

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет: Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра: Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
перший (бакалаврський) / другий (магістерський)
Віртуальні вимірювальні системи
(тема)

Виконала:
здобувач 2 року навчання
групи ЕПШм-23-1
Дудник О.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Електронні прилади
та пристрої
(повна назва освітньої програми)

Керівник зав. кафедри Бондаренко І.М.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. Кафедри _____
(підпис)

Бондаренко І.М.
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	<u>Електронної та біомедичної інженерії</u>
Кафедра	<u>Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв</u>
рівень вищої освіти	<u>другий (магістерський)</u> перший (бакалаврський) / другий (магістерський)
Спеціальність	<u>171 Електроніка</u> (код і повна назва спеціальності)
Тип програми	<u>освітньо-професійна</u>
Освітня програма	<u>Електронні прилади та пристрої</u> (повна назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Дудник Олена Вікторівна
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи Віртуальні вимірювальні системизатверджена наказом по університету від 06 12 20 24 р. № 1283 Ст2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 05 01 20 25 р.3. Вхідні дані до роботи: Сучасний стан розвитку та застосування віртуальних вимірювальних систем

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Напрямки розвитку віртуальних вимірювальних систем4.2 Основні принципи побудови4.3 Вимоги до складових частин та програмного забезпечення4.4 Перелік та опис існуючих реалізацій4.5 Порівняння характеристик віртуальних приладів та віртуально вимірювальних систем4.6 Осцилографи4.7 Аналізатори спектра4.8 Оцінка можливостей самостійного створення5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів): Додаток А

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання технічно завдання	19.09.2024	Виконано
2	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел	20.09.2024 – 10.11.2024р	Виконано
3	Написання основної частини	30.11.2024 – 23.12.2024	Виконано
4	Оформлення пояснювальної записки	28.12.2024	Виконано
5	Оформлення графічних та демонстраційних матеріалів	29.12.2024 – 03.01.2025	Виконано
6	Проходження нормоконтролю та отримання рецензії	05.01.2025	Виконано
7	Підготовка та захист кваліфікаційної роботи	05.01.2025	Виконано

Дата видачі завдання 19 вересня 20 24 р.

Здобувач



(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

зав. кафедри Бондаренко І.М.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 67 с., 4 формули, 13 рис., 3 таб., 21 джерел, 1 додаток.

ВІРТУАЛЬНО ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА, ПЛАТА ЗБОРУ ДАНИХ, ПЕРСОНАЛЬНИЙ КОМП'ЮТЕР, LABVIEW, ПЕРЕТВОРЮВАЧІ, ПРОГРАМА

Об'єкт дослідження – віртуально вимірювальні системи (ВВС) котрі інтегруються із персонального комп'ютера

Мета роботи – дослідження існуючих рішень віртуально-вимірювальних систем, аналіз їх переваг, недоліків і практичного застосування, а також визначення перспектив розвитку в цій галузі.

Предмет дослідження – програмне забезпечення LabVIEW, плати збору даних типів USB, PCI, PCI Express, PXI, PXI Express, Ethernet, їх роль та особливості функціонування у складі ВВС.

Було розглянуто основні принципи побудови віртуально вимірювальних систем, вимоги до складових частин та програмного забезпечення. Була проведена оцінка самостійного створення ВВС. Були розглянуті та проведе порівняння метрологічних характеристик сучасних вимірювальних приладів та ВВС.

Отримані результати корисні для подальшого створення власної віртуально вимірювальної системи

Галузь використання – наукові дослідження, автоматизація виробничих процесів, інформаційні технології, промисловість, створення інноваційних вимірювальних приладів.

ABSTRACT

Explanatory note of qualification work: 67 p. 13 illustrations, 4 formulas, 3 table, 21 reference sources, 1 annexes.

VIRTUAL MEASUREMENT SYSTEM, DATA ACQUISITION BOARD, PERSONAL COMPUTER, LABVIEW, CONVERTERS, PROGRAM

Object of study – Virtual Measurement Systems (VMS) integrated with a personal computer.

The purpose of the work – To study existing solutions for virtual measurement systems, analyze their advantages, disadvantages, and practical applications, and determine prospects for development in this field.

Subject of study – Software such as LabVIEW, data acquisition boards (USB, PCI, PCI Express, PXI, PXI Express, Ethernet), their roles, and specific features within VMS.

The study covered the fundamental principles of designing virtual measurement systems, the requirements for their components and software. An assessment of the feasibility of creating custom VMS was conducted. A comparison of the metrological characteristics of modern measurement devices and VMS was made.

The obtained results are valuable for developing proprietary virtual measurement systems.

Field of use – Scientific research, industrial process automation, information technologies, manufacturing, and the creation of innovative measurement devices.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ADC	— аналогові цифрові перетворювачі
DAQ	— плата збору даних
DAS	— аналогові системи збору
DSP	— цифрові сигнальні процесори
RTD	— детектор електричного опору
VI _s	— virtual instrument
АЦП	— аналоговий цифровий перетворювач
ВВП	— віртуально вимірювальний прилад
ВВС	— віртуальні вимірювальні системи
ВІ	— віртуальний інструмент
ВОК	— вимірювально-обчислювальний комплекс
ВП	— віртуальний прилад
ВП	— вимірювальний пристрій
ГВС	— гнучка вимірювальна система
ІВС	— інформаційно вимірювальні системи
КВС	— комп'ютерно вимірювальна система
ОС	— оперативна система
ПЗ	— програмне забезпечення
ПЗД	— плата збору даних
ПК	— персональний комп'ютер

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	8
1 НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ВІРТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	9
1.1 Основні принципи побудови.....	9
1.2 Вимоги до складових та програмного забезпечення.	16
1.3 Перелік та опис існуючих реалізацій.	27
2 ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ТА ВІРТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	32
2.1 Осцилографи.....	32
2.2 Аналізатори спектра.....	37
3 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ САМОСТІЙНОГО СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНО ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	43
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	65
ДОДАТОК А.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Сучасні технології віртуального вимірювання в галузях науки та виробництва забезпечують високий рівень точності, надійності та ефективності обробки даних. Один з прогресивних напрямків розвитку вимірювальних технологій є віртуальні вимірювальні системи (ВВС). ВВС - це поєднання апаратних засобів та програмного забезпечення з програмними алгоритмами для автоматизації процесів вимірювання, збору та обробки інформації.

Віртуальні вимірювальні системи - це еволюційне продовження інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), котрі забезпечують автоматизацію вимірювань, обробку отриманих даних та інтеграцію різних технічних засобів і програмного забезпечення. Впровадження таких систем було зумовлено стрімким розвитком обчислювальної техніки, зокрема персональних комп'ютерів (ПК), які, завдяки доступності та потужності, перетворилися на ефективний інструмент для управління вимірювальними процесами. Важливим кроком у цьому напрямі стало впровадження ПК з платами аналого-цифрового перетворення (АЦП) та цифрового введення-виведення інформації, що дозволяє використовувати ПК як платформу для створення гнучких, налаштовуваних систем управління вимірюваннями.

Компанія «National Instruments» стала лідером у розробці віртуальних пристроїв, що, використовуючи ПК, імітують функціонування традиційних вимірювальних приладів та дозволяють інтегрувати збір, обробку і контроль даних в єдиний технологічний цикл. Завдяки цьому персональні комп'ютери виконують функції спеціалізованого обладнання, зберігаючи гнучкість і зручність використання, що є важливим для сучасних технологічних процесів.

Метою цієї дипломної роботи є дослідження принципів побудови та функціонування віртуальних вимірювальних систем. Основна увага буде приділена поєднанню технічних і програмних засобів у ВВС, а також використанню ПК для створення інтегрованих систем, які забезпечують високу точність, автоматизацію та оптимізацію вимірювальних процесів.

1 НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ВІРТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

1.1 Основні принципи побудови.

Сучасний стрімкий розвиток технологій та зростання кількості можливостей обумовлюють потребу у швидких, точних і надійних вимірюваннях, розрахунках та аналізі. Це стає особливо важливим для науковців, оскільки великі обсяги даних потребують ефективних інструментів для їх обробки та аналізу. Автоматизація вимірювань і впровадження віртуальних вимірювальних систем значно прискорюють науково-дослідні процеси, підвищуючи їх точність, зручність і адаптивність. Такі системи не лише спрощують рутинні завдання, але й відкривають нові горизонти для складних експериментів і досліджень. Тому на фоні цього значно зросла роль автоматизованих засобів вимірювань, котрі мають широку сферу застосування, та мають перевагу в універсальності, сумісності з іншими технологіями моніторингу та управління, а також своєю швидкістю та точністю роботи. Автоматизовані вимірювальні системи розв'язують проблему в складності для оператора в обробці великих обсягів інформації. Використання автоматизованих вимірювальних систем з мікропроцесорами дозволяють збільшити точність та швидкість приладів та розробляти «розумні» прилади вимірювань. Ці прилади здатні виконувати автокалібрування, обирати межі вимірювань, та обробляти результати вимірів та презентувати зручному упорядкованому форматові.

Автоматизованими засобами вимірювання вважаються автономні непрограмовані прилади та гнучкі вимірювальні системи (ГВС) побудовані на базі цифрової техніки. Автономні непрограмовані прилади працюють по жорсткій програмі та призначені для вимірювання конкретних параметрів сигналів. Своєю чергою ГВС дозволяють програмним методом переналаштовувати систему для вимірювання різноманітних фізичних величин та змінювати режим вимірювань. При чому гарним плюсом є те що апаратна частина вимірювальної системи не змінюється.

Самим потужним типом ГВС заведено вважати вимірювально-обчислювальні комплекси (ВОК) створюються шляхом поєднання в одну вимірювальну систему комп'ютера, вимірювальних приладів та приладів відображення інформації. Зв'язок та сумісність між комп'ютером та всіма іншими вузлами забезпечується апаратними, програмними засобами.

Інтерфейсом називають засіб зв'язку між комп'ютером та засобами вимірювання чи будь-якими іншими зовнішніми системами. Зазвичай в ВОК використовуються стандартні модулі котрі підключаються до спільної магістралі та стандартних інтерфейсів. При цьому для розв'язування нової метрологічної задачі потрібно лише замінити частину модулів котрі використовуються в якості джерела чи приймача інформації, та програмне забезпечення.

Всі прилади підключаються безпосередньо до магістралі мікропроцесора ГВС. Вбудовані мікропроцесори виконують сервісні операції, та надують різноманітні режими вимірювань та виконують визначення параметрів сигналів або ланцюга. Робота цих приладів виконується в відповідно до програмами завантаженими в вбудовану пам'ять мікроконтролера.

Один з перспективних напрямків метрології та електровимірювальної техніки є комп'ютерні вимірювальні системи (КВС) в особливості один з різновидів «віртуальні прилади». КВС обов'язково містять в собі ПК що працює в режимі on-line. Така система здатна замінити стандартні вимірювальні прилади як генератори, вольтметри, осцилографи та інші на віртуальні прилади. При цьому велика перевага в тому, що велика кількість приладів може бути виведена на екран одночасно.

Переваги КВС з мікропроцесорними приладами:

- широка база доступних комп'ютерних програм котрі дозволяють виконувати велику кількість задач з дослідження та обробки сигналу, збір даних з датчиків та інше;
- швидка передача даних через Internet;
- зручний користувацький інтерфейс;

- використання внутрішньої(RAM, Flash) та зовнішньої(SSD, HDD) пам'яті великої ємності;
- написання власної програми для розв'язування конкретної вимірювальної задачі.

У сучасних комп'ютеризованих інформаційних системах (КВС) взаємодія між їх компонентами відбувається через внутрішню шину персонального комп'ютера. До цієї шини підключаються як зовнішні пристрої комп'ютера (наприклад, монітор, зовнішня пам'ять чи принтер), так і обладнання для вимірювань. До складу такого вимірювального обладнання входять комутатор, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та блок програмно керованих пристроїв, які забезпечують точні вимірювання напруги та частоти.

За допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) можна виробляти керовані аналогові сигнали; інтерфейсний модуль підключає вимірювальний прилад до магістралі інтерфейсу приладу. Комутатор приладу забезпечує подачу аналогової напруги з зовнішніх датчиків на вузли системи.

Сучасні системи можуть враховувати вплив температури на роботу своїх компонентів за допомогою програм. Наприклад, у стабілітронах встановлюють температурний датчик (наприклад, термістор), щоб визначити, як змінюється опорна напруга через зміни температури. Ці дані зберігають у пам'яті комп'ютера. Під час роботи система автоматично вимірює температуру і вносить корекцію в значення напруги, що дозволяє забезпечити стабільність навіть без додаткового підігріву. Постійний контроль температури дозволяє автоматично виправляти похибки, що виникають, і забезпечувати високу точність вимірювань.

Аналогічно коригують частоту кварцового генератора, який відповідає за точність сигналу. Дані з температурного датчика впливають на варикап — компонент, що налаштовує частоту генератора. Завдяки цьому похибка частоти зменшується до дуже малих значень (приблизно 10^{-8}).

В свою чергу віртуальний прилад (ВП) складається з ПК та одної чи двох плат збору даних (ПЗД). Сучасні плати встановлюються в материнську плату

персонального комп'ютера в слот PCI або при підтримці ПЗД в більш сучасний стандарт PCIE.

Користувацький віртуальний прилад має вигляд графічної панелі управління котрої виконується за допомогою клавіатури або комп'ютерної миші. Віртуальні прилади виконують задачі аналізу амплітудних, частотних, тимчасових характеристик різноманітних вимірювальних ланцюгів, визначають параметри сигналів з точністю залучених АЦП та ЦАП, та проводить формування сигналу як для процесу вимірювання, так і для автоматизації вимірювальної системи.

Віртуальна панель приладу імітує на екрані дисплея передню панель управління стаціонарного вимірювального приладу. Ця панель має віртуальні кнопки, ручки, перемикачі котрі реагують по запиту оператора. Залежно від ПЗД та програмного забезпечення (ПО) користувач отримує вимірювальний прилад під потрібну метрологічну задачу.

Віртуальні прилади потрібні для спостереження, відновлення, довгострокового зберігання, аналізу, вимірювання та обробки амплітудних, частотних, фазових, тимчасових характеристик різноманітних видів періодичних та випадкових процесів. Та за допомогою ПК можна легко вивести на екран результати та порівняти їх з еталонними.

Переваги віртуальних вимірювальних приладів:

- висока точність вимірювань параметрів сигналів та ланцюгів;
- широка смуга пропускання;
- можливість зберігання графіку залежності в будь-який час;
- автоматичне вимірювання параметрів сигналу;
- статистична обробка результатів вимірювань;
- самодіагностика;
- можливість дослідження перехідних процесів в електричних ланцюгах;
- просте зберігання великих об'ємів отриманих даних.

Віртуально вимірювальні системи є передовою технологією котра логічно продовжує розвиток віртуальних вимірювальних приладів та являється

результатом прогресу комп'ютерних систем вимірювань. ВВС значно розширює ідею віртуальних вимірювальних приладів (ВВП) та охоплює значно більшу функціональність, інтеграцію та масштабованість, роблячи їх ідеальним рішенням для складних технічних задач. Віртуально вимірювальна система об'єднує апаратне забезпечення та програмні засоби для вирішення широкого спектра вимірювальних завдань. На відміну від традиційних вимірювальних приладів, де кожен пристрій виконує певну функцію, ВВС надають можливість створювати універсальні системи, які можуть адаптуватися до різних вимірювальних потреб завдяки гнучкості програмного забезпечення. Це дозволяє швидко конфігурувати та модифікувати систему під конкретні вимоги.

Основний принцип побудови ВВС є комплексна інтеграція програмного забезпечення та апаратних засобів, що надає можливість збору даних, обробку, аналіз та відображення результатів в режимі онлайн віддалено. У цих системах центральним елементом є персональний комп'ютер, який виконує функції керування вимірювальним процесом, обробки та збереження даних. Комп'ютер з'єднується з вимірювальними пристроями через спеціальні плати збору даних (ПЗД), які дозволяють перетворювати фізичні сигнали в цифрові (через аналого-цифрові перетворювачі - АЦП) або формувати управлінські сигнали для зовнішніх пристроїв (через цифро-аналогові перетворювачі - ЦАП). Система може бути адаптована для виконання різноманітних вимірювальних завдань, що робить її надзвичайно гнучкою. Наприклад, для вимірювання різних параметрів, таких як температура, напруга, частота, не потрібно змінювати апаратну частину системи – достатньо змінити програмне забезпечення, що значно знижує витрати і час на налаштування.

Програмне забезпечення, як правило, імітує роботу фізичних приладів та надає користувачеві інтерфейс для управління вимірюваннями. Апаратна частина ВВС зазвичай включає універсальні пристрої, такі як багатофункціональні датчики, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) та інтерфейси зв'язку, що дозволяють збирати та передавати дані для подальшої обробки в комп'ютерній системі. Програмні середовища, такі як LabVIEW, MATLAB, NI TestStand, Agilent VEE,

DAQFactory та інші, надають можливість побудови віртуальних інтерфейсів (вольтметри, осцилографи, генератори сигналів тощо.), що значно спрощує процес управління вимірюваннями.

Програмне забезпечення може бути налаштоване таким чином, щоб забезпечити не лише стандартні вимірювання, а й більш складні операції, наприклад, аналіз сигналів, статистичну обробку даних, а також автоматичне калібрування системи.

Серед ключових переваг ВВС виділяється їх масштабованість і здатність до модернізації. Завдяки використанню стандартного апаратного обладнання та відкритих платформ. Це дає можливість окрім легкого додавання та замінювання компонентів в системі залежно від потреб ще і масштабувати систему відповідно до обсягу або складності завдання або пристосовуватися до нових технологій, що дозволяє уникати потреби у купівлі нового обладнання.

Іншою важливою особливістю є можливість інтеграції ВВС з іншими інформаційними системами, такими як бази даних, системи управління процесами та наукові інструменти. Це дозволяє забезпечити комплексний підхід до збору, обробки та аналізу даних. Завдяки можливості виконувати складні математичні операції в реальному часі, включаючи аналіз, фільтрацію та прогнозування результатів, ВВС дозволяють покращити точність і оперативність вимірювань.

Для ефективної роботи ВВС використовують різноманітні інтерфейси для підключення сенсорів та вимірювальних приладів. Вибір інтерфейсу залежить від вимог до швидкості обміну даними, точності вимірювань та специфіки завдань. Найпоширеніші інтерфейси включають USB, Ethernet, RS-232, а також бездротові (Wi-Fi 802.11; Bluetooth, 3G/4G/5G) технології, які дозволяють отримувати дані з віддалених сенсорів у реальному часі.

Важливою характеристикою ВВС є висока точність вимірювань завдяки використанню цифрових алгоритмів обробки даних та сучасних апаратних компонентів. Автоматизовані алгоритми корекції та калібрування дозволяють підвищити правдивість отриманих результатів. Наприклад, використання нейронних мереж дає змогу автоматично налаштовувати вимірювальні системи для

підтримки стабільної точності протягом тривалого періоду. Самонавчальні системи здатні самостійно виконувати калібрування, ґрунтуючись на аналізі зібраних даних, що робить процес вимірювання ще більш надійним.

З огляду на стрімкий розвиток технологій, віртуальні вимірювальні системи продовжують удосконалюватися у таких напрямках, як підвищення точності, зменшення часу обробки даних, покращення інтерфейсів користувача, а також впровадження інтелектуальних алгоритмів. Одним із ключових напрямків є застосування штучного інтелекту (ШІ) для аналізу даних та оптимізації процесів вимірювання. Це дозволяє автоматизувати більшість рутинних операцій, таких як налаштування, калібрування та виявлення помилок.

Також слід зазначити розвиток хмарних технологій, які відкривають нові можливості для дистанційного контролю та керування вимірювальними процесами. Хмарні платформи (AWS, Azure, GCP та інші.) забезпечують централізоване зберігання та обробку даних, що дозволяє виконувати складні аналізи безпосередньо на сервері, звільняючи локальні ресурси для інших завдань.

Завдяки використанню технологій Internet, вимірювальні системи можуть інтегруватися у глобальні мережі датчиків, що значно розширює їх можливості. Впровадження Internet у ВВС дозволяє здійснювати моніторинг процесів у віддалених регіонах та отримувати доступ до даних з будь-якої точки світу.

1.2 Вимоги до складових та програмного забезпечення

Відповідно до сучасних вимог, віртуальні вимірювальні системи (ВВС) мають забезпечувати можливість швидкого введення, обробки, зберігання та аналізу даних. Такі системи повинні бути високопродуктивними, надійними та забезпечувати точність вимірювань.

Ефективність віртуально вимірювальної системи залежить від правильної взаємодії апаратних та програмних складових що охоплює наступні компоненти:

- графічний віртуальний інтерфейс;
- персональний комп'ютер;
- плата збору даних;
- вимірювальні перетворювачі.

Віртуальний інструментарій — це найпопулярніший спосіб об'єднання інженерних розробок, таких як мови програмування C, з обладнанням для вимірювань і контролю. Це дозволяє створювати системи, які відповідають вимогам інженерних і наукових застосувань. Стандартна система, що будується на основі потужного програмного забезпечення та економічно вигідного обладнання, такого як модульні плати, називається віртуальним інструментом (virtual instrument).

На відмінну від традиційних інструментів вимірювання таких як осцилографи та генератори хвиль котрі створенні для виконання конкретних завдань визначених виробником, віртуальні інструменти працюють на основі комп'ютерів, які використовують передові технології, вже вбудовані в сучасні операційні системи, такі як Windows, Mac OS тощо. У порівнянні з традиційними інструментами, які мають ручки та перемикачі, віртуальні інструменти оснащуються потужними процесорами, а також мають доступ до Internet.

У традиційних інструментах функціональність забезпечується за допомогою інтегрованих схем, що обмежують їхні можливості. У випадку віртуальних інструментів функції виконуються програмами, що дозволяє розширювати функціонал за необхідності без значних витрат на апаратне оснащення.

Традиційні інструменти мають обмежений функціонал у плані підключення до інших мереж та зовнішніх периферійних пристроїв. Віртуальні інструменти натомість забезпечують повний доступ до мереж, програм, додатків та периферійних пристроїв.

Традиційні інструменти мають фіксовані функції, які неможливо змінити. У віртуальних інструментах функціональність значно розширюється завдяки комп'ютерним технологіям та програмуванню.

Віртуальні інструменти мають сучасні дисплеї з високою кольоровою глибиною та кращим дозволом пікселів у порівнянні з традиційними інструментами. Це дозволяє більш зручно аналізувати інформацію та здійснювати візуалізацію даних.

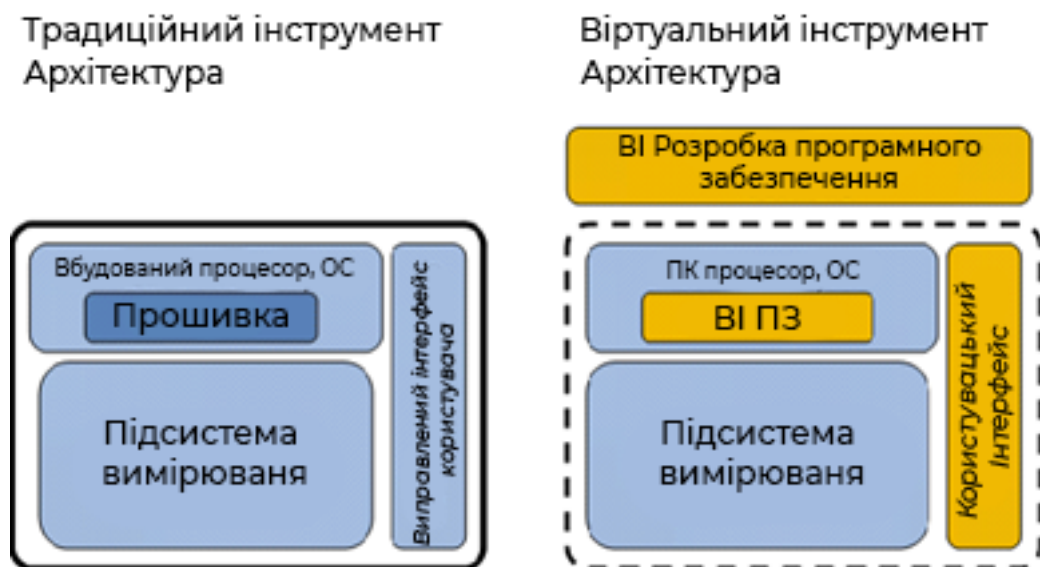


Рисунок 1.1 – Порівняння традиційних та віртуальних інструментів

Ключовою частиною віртуального інструменту є програмне забезпечення. Завдяки відповідному програмному забезпеченню інженери можуть налаштовувати, розробляти застосунки та інтегрувати програми, необхідні для певних процесів. Програмне забезпечення дозволяє створювати інтерфейс, що відповідає потребам як додатку, так і користувача.

Програмне забезпечення (ПЗ) є ключовим елементом віртуальних вимірювальних систем, яке забезпечує їхню ефективну роботу шляхом обробки,

аналізу та візуалізації даних, а також управління процесами збору інформації від датчиків та вимірювальних модулів. Однією з основних вимог до ПЗ є його функціональність, яка передбачає здатність виконувати збір, обробку, зберігання та аналіз даних, а також їхнє зручне візуальне відображення. Надійність і стабільність роботи програмного забезпечення є критично важливою, особливо для систем з високим навантаженням, де збої можуть призвести до серйозних наслідків. ПЗ має бути розроблене на основі модульної архітектури, що дозволяє легко підтримувати і оновлювати систему, а також використовувати окремі частини коду в різних проєктах.

Програмне забезпечення повинно забезпечувати інтеграцію з апаратною частиною системи, підтримуючи різноманітні протоколи зв'язку і стандарти обміну даними. Важливим аспектом є безпека даних, що включає шифрування, контроль доступу і захист від несанкціонованого втручання. Крім того, ПЗ має бути легко оновлюваним, щоб оперативно впроваджувати нові функції та виправляти помилки.

Програмне забезпечення для ВВС повинно бути адаптивним, забезпечувати гнучке налаштування параметрів та можливість оновлення. Воно має підтримувати інтеграцію з різними платформами та надавати користувачу зрозумілий інтерфейс. Важливою характеристикою є наявність вбудованих модулів для обробки та візуалізації даних. Використання стандартних інтерфейсів, таких як USB, PCI, PCIe або Ethernet, дозволяє інтегрувати вимірювальні системи в локальні мережі та глобальну мережу Інтернет. Це забезпечує можливість віддаленого доступу, управління та моніторингу системи.

Програмне забезпечення пояснює, як застосунок отримує дані з пристроїв, як ці дані обробляються, контролюються, зберігаються та як вони потім повертаються до користувача в зручному вигляді.

Завдяки програмному забезпеченню можна вбудовувати функції аналітики та адаптації до змін сигналу, а також визначати, коли потрібно збільшити обчислювальну потужність для виконання задачі. Програмне забезпечення також додає специфічність до роботи. Коли інженери працюють над великим проєктом,

вони можуть розбити задачу на менші підзадачі. Віртуальний інструмент дозволяє працювати з цими окремими підзадачами в ізольованому режимі та потім об'єднувати їх, щоб досягти основної мети.

LabVIEW пропонує графічне середовище програмування, що дозволяє інженерам легко створювати власні віртуальні інструменти через інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс (рис. 1.2). Завдяки цьому, користувачі можуть розробляти та налаштовувати інструменти відповідно до специфічних потреб проєктів.

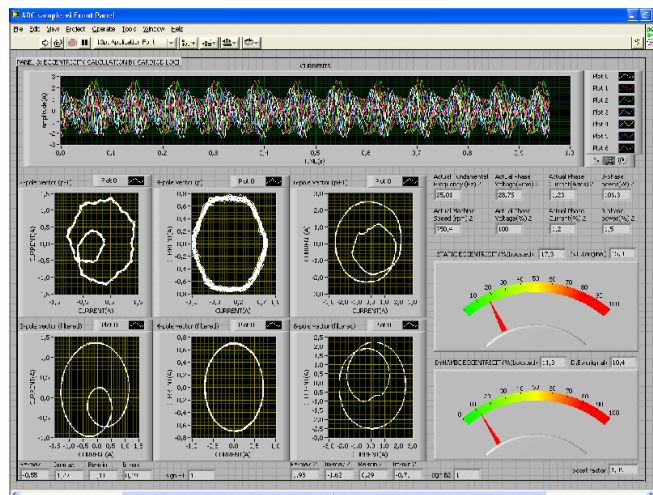


Рисунок 1.2 – LabVIEW Virtual instruments

Мова програмування, що використовується в LabVIEW, називається "G", і вона є мовою на основі концепції потоку даних. Виконання програми контролюється структурою графічної блок-схеми (рис. 1.3) (вхідний код LabVIEW), де розробник з'єднує різні вузли функцій за допомогою проводів. Ці дроти передають змінні, а будь-який вузол може виконуватися, коли всі його вхідні дані стають доступні. Мультипроцесінг і багатопотокові можливості апаратного забезпечення використовуються завдяки вбудованому планувальнику, що мультиплексує багато потоків операційної системи на вузли, які готові до виконання.

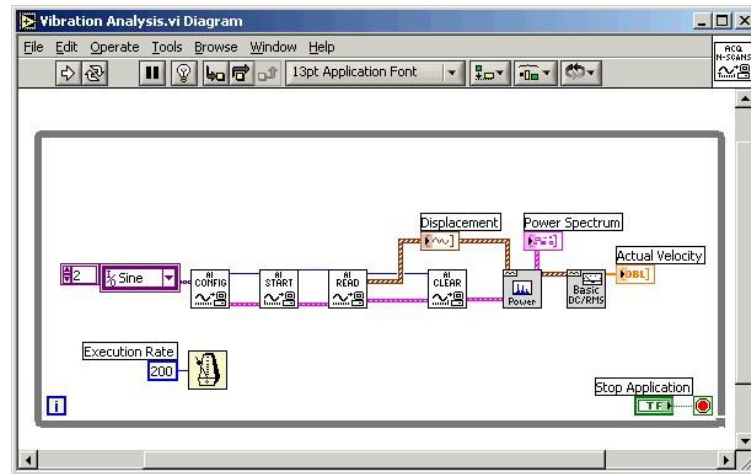


Рисунок 1.3 – LabVIEW Virtual Instrument блок-схема

Потік даних (dataflow), що застосовується в LabVIEW, повністю визначає послідовність виконання, і цю послідовність можна повністю контролювати розробником. Це означає, що LabVIEW дозволяє чітко керувати порядком виконання, аналогічно до класичних текстових мов програмування, таких як C, Visual BASIC, Python тощо. Крім того, LabVIEW не вимагає явного визначення типів змінних. Тип змінної визначається автоматично на основі вузла, який постачає дані. LabVIEW підтримує поліморфізм, оскільки дроти адаптуються до різних типів даних автоматично, що значно спрощує роботу з різноманітними даними.

LabVIEW поєднує створення користувацьких інтерфейсів (які називаються передніми панелями) з процесом розробки. Програми або підпрограми LabVIEW називаються віртуальними інструментами (VIs). Кожен віртуальний інструмент має три основні компоненти: блок-схему, передню панель та з'єднувальну плату. Останній елемент дозволяє представляти віртуальний інструмент як підпрограму (subVI) в блок-схемах інших віртуальних інструментів.

Елементи керування та індикатори на передній панелі дозволяють оператору вводити дані до віртуального інструмента або отримувати інформацію від нього. Передня панель також може служити автоматичним інтерфейсом. Таким чином, віртуальний інструмент можна запускати як окрему програму, де передня панель буде служити графічним інтерфейсом, або, коли інструмент використовується як

вузол в блок-схемі, передня панель буде представляти вхідні та вихідні дані через з'єднувальну плату. Це дозволяє кожен віртуальний інструмент легко перевіряти перед тим, як використовувати його як підпрограму в більш складному додатку.

Інженери можуть створювати графічні програми, керувати обраним програмним забезпеченням, аналізувати дані та відображати результати. Вони можуть налаштовувати та інтегрувати елементи управління, такі як ручки, кнопки, шкали та графіки, що імітують панелі управління. Також вони можуть представляти процеси та операції за допомогою графічного представлення (блок-схем). LabVIEW пропонує вбудовані бібліотеки для інтеграції автономних приладів, пристроїв збору даних, систем комп'ютерного зору, механічних контролерів тощо.

Одна з головних переваг LabVIEW у порівнянні з іншими середовищами розробки — це розширена підтримка роботи з апаратним забезпеченням. Інтегровані драйвери та абстракційні рівні для різних типів приладів і шин відображаються у вигляді графічних вузлів. Абстракційні рівні пропонують стандартний інтерфейс для взаємодії з апаратними пристроями, а драйвери зменшують час на розробку програм.

Архітектура драйверів апаратного забезпечення (DAQmxBase), що містить переважно компоненти на основі G-коду з декількома викликами реєстрів через NI Measurement Hardware DDK, забезпечує апаратну сумісність із різними пристроями збору даних та інструментаріями. Драйвер DAQmxBase доступний для LabVIEW на платформах Windows, MacOSX та Linux.

Що стосується продуктивності, LabVIEW включає компілятор, який генерує машинний код для процесора. Графічний код перекладається в машинний за допомогою інтерпретації синтаксису та компіляції. Синтаксис LabVIEW перевіряється під час редагування та компілюється у виконуваний код під час запуску або після збереження. У результаті виконавчий файл і початковий код об'єднуються в один файл.

LabVIEW надає численні бібліотеки функцій для збору даних, генерації сигналів, аналізу, обробки сигналів та іншого. LabVIEW Professional Development

System дозволяє створювати автономні виконувачі файли, які можна поширювати без обмежень.

У складі ВВС повинні використовуватися апаратні складові, які відповідають стандартам якості, зокрема високоточні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), цифрові блоки введення-виведення і синхронізатори сигналів. Важливим елементом є наявність цифрових сигнальних процесорів (DSP), які дозволяють виконувати обробку даних у реальному часі. Застосування таких процесорів забезпечує високу швидкодію та зменшує навантаження на центральний процесор системи. Для виконання точних вимірювань необхідно використовувати фільтри перешкод, підсилювачі сигналів та інші блоки, які забезпечують корекцію та стабільність характеристик вимірювань.

Вбудовані системи є ключовим компонентом ВВС, оскільки вони забезпечують обробку даних, отриманих від датчиків, та виконання контролю у режимі реального часу. Основні вимоги до таких систем включають:

- продуктивність. Вбудована система має мати достатню обчислювальну потужність для обробки даних у режимі реального часу;
- інтерфейс. Важливо, щоб система мала достатню кількість інтерфейсів для підключення датчиків та інших зовнішніх пристроїв;
- енергоспоживання. Залежно від завдань, важливо враховувати енергоспоживання вбудованої системи;
- сумісність з периферією: Вбудовані системи повинні підтримувати різні типи периферійних пристроїв, таких як датчики, екрани, клавіатури тощо;
- масштабованість та гнучкість: Важливим аспектом є можливість розширення системи внаслідок додавання нових компонентів.

Основою віртуально вимірювальної системи є системи з інтерфейсом плати збору даних (DAQ), що забезпечує обмін інформацією між сенсорами, контролерами та програмним забезпеченням. Вони поділяються на два типи системи збору даних :

- аналогові DAQ;
- цифрові DAQ.

Аналогові системи збору даних має можливість перетворювати аналогові сигнали з реального світу в цифрові дані для обробки та аналізу робить аналогові системи збору даних (DAS) корисними в різних галузях. Ці системи складаються з ланцюгів обробки сигналу, які підсилюють, фільтрують та попередньо обробляють сигнали, а також із сенсорів, що фіксують аналогові дані, такі як напруга або струм. Аналого-цифрові перетворювачі (ADC) використовуються для перетворення цих аналогових сигналів у формат, який можуть використовувати комп'ютери та мікроконтролери для зберігання та аналізу.

Аналогова система збору даних дозволяє підприємствам контролювати процеси, відстежувати важливі параметри та приймати обґрунтовані рішення, забезпечуючи точність, прецизійність та надійність даних. Ці системи є універсальними інструментами, які допомагають у прогресі багатьох сфер, з'єднуючи цифрову обробку даних із реальним середовищем. Наукові дослідження, медична діагностика, промислова автоматизація та моніторинг довкілля — це лише кілька галузей, які використовують аналогові DAS.

Цифрові системи збору даних (DAS) необхідні для збору та аналізу даних із сенсорів, приладів та джерел у цифровому форматі. Ці системи забезпечують точність, оцифровуючи аналогові сигнали, та зменшують втрати даних під час їх зберігання та передачі. Цифрові DAS зазвичай складаються з таких компонентів, як ADC, мікроконтролери та блоки зберігання даних, і надають дані в реальному часі для управління та аналізу. Це значно підвищує надійність і ефективність процесів.

Цифрова система збору даних легко інтегрується в комп'ютерні системи управління та моніторингу, забезпечуючи гнучкість у роботі з різними типами сенсорів. Таким чином, вони зараз використовуються як інструменти у різних сферах, включаючи екологічні дослідження, медичний моніторинг, промислову автоматизацію та дослідження. Їхня здатність ефективно збирати, обробляти та розповсюджувати інформацію важлива для вдосконалення процесів у різних галузях та допомагає людям приймати обґрунтовані рішення.

Монтування систем збору даних здійснюється у стійки для вимірювання кількох параметрів із сотень сенсорів у лабораторії або на тестовому стенді, кілька карт збору даних монтуються в шасі, яке встановлюється в 19-дюймовий стійковий корпус. У такому складному середовищі стійкове монтування DAS забезпечує належний розподіл кабелів і фізичний захист системи. Прикладом (рис. 1.4) стійкової системи збору даних є Logic Fruit Technologies AQUILA Data Acquisition System.



Рисунок 1.4 – Logic Fruit Technologies AQUILA Data Acquisition System

Застосування таких процесорів забезпечує високу швидкодію та зменшує навантаження на центральний процесор системи. Для виконання точних вимірювань необхідно використовувати фільтри перешкод, підсилювачі сигналів та інші блоки, які забезпечують корекцію та стабільність характеристик вимірювань.

Вимірювальний перетворювач (ВП) – це пристрій з нормованими метрологічними характеристиками, що перетворює одну вимірювану величину в іншу величину або у вимірювальний сигнал, зручний для опрацювання, зберігання, перетворення, індикації або передавання. За характером перетворення розрізняють:

- аналоговий ВП, що перетворює одну аналогову величину (вимірюваний сигнал) в іншу аналогову величину (вимірюваний сигнал);
- аналого-цифровий ВП призначений для перетворення аналогового вимірювального сигналу в цифровий код;
- цифро-аналоговий ВП призначений для перетворення цифрового коду в аналогову величину.

Датчики та вимірювальні модулі є ключовими елементами віртуальних вимірювальних систем, оскільки вони забезпечують збір інформації з фізичного середовища для подальшої обробки та аналізу. Для забезпечення коректної та надійної роботи таких систем існують певні вимоги до датчиків та вимірювальних модулів. Датчики повинні мати високу точність і чутливість, щоб зменшити похибки вимірювань та забезпечити правильне реагування на найменші зміни параметрів, що вимірюються. Це критично важливо для отримання правдивих даних, особливо в точних наукових або промислових додатках. Велике значення має швидкість модулів. Вони повинні оперативно реагувати на зміни вимірюваних величин, оскільки в багатьох випадках необхідно в режимі реального часу отримувати дані про стан середовища або об'єкта. Наступним важливим критерієм є стабільність і надійність. Датчики мають зберігати свої робочі характеристики протягом тривалого часу, навіть в умовах дії несприятливих факторів, таких як зміни температури, вологість чи механічні впливи.

Також важливою є сумісність з іншими компонентами системи. Вимірювальні модулі повинні легко інтегруватися з програмним забезпеченням і апаратною частиною віртуальної вимірювальної системи, забезпечуючи безперебійний обмін даними та функціонування.

Крім того, датчики та модулі повинні бути масштабованими, тобто підтримувати можливість розширення системи, підключення нових сенсорів або додаткових вимірювань без потреби у значних змінах архітектури.

Останнім, але не менш важливим, є питання енергетичної ефективності. Оскільки багато датчиків працюють у вбудованих або автономних системах з обмеженими енергетичними ресурсами, вони повинні бути спроектовані таким чином, щоб споживати мінімальну кількість енергії, зберігаючи при цьому свою функціональність.

Також важливим аспектом для ефективного функціонування віртуальних вимірювальних систем є технічні характеристики ПК. Комп'ютер для підтримки ВВС має бути достатньо продуктивним для обробки та візуалізації даних, а також мати необхідні порти для підключення вимірювальних приладів. Щоб забезпечити

обробку та візуалізацію даних у режимі реального часу, а також підтримку взаємодії з різними пристроями. ПК має мати наступні мінімальні характеристики для гарної продуктивності:

- мінімум двоядерний процесор (Intel Core i3 або AMD Ryzen 3), але для складних задач із великою кількістю вимірювань або обробки даних краще використовувати процесори не нижче Intel Core i5 або AMD Ryzen 5;
- мінімум 8 ГБ оперативної пам'яті для невеликих проєктів. Для більш складних систем або при роботі з великими обсягами даних (наприклад, високошвидкісна обробка сигналів) бажано мати 16 ГБ і більше;
- для базових задач графічна карта може бути інтегрованою (наприклад, Intel UHD Graphics). Проте, якщо потрібно працювати з візуалізацією 3D-графіки або графічними інтерфейсами (як в LabVIEW), краще мати дискретну відеокарту на рівні Nvidia GTX 1050 або вище;
- SSD-диск на 256 ГБ або більше для зберігання системних файлів і програмного забезпечення. Якщо обробляються великі обсяги даних, рекомендується мати додатковий накопичувач (HDD або SSD) для зберігання експериментальних даних;
- Windows 10/11 або Linux (Ubuntu, Raspbian) залежно від вибраного програмного забезпечення. Деякі системи, як LabVIEW, краще працюють на Windows, але Python і Matlab підтримують різні операційні системи.

Такі характеристики обумовлені тим що більшість програмного забезпечення для ВВС (LabVIEW, Matlab) вимагає обчислювальних потужностей для аналізу та обробки даних. Також програми для аналізу, такі як Matlab чи Python з великими наборами даних, можуть вимагати значного обсягу оперативної пам'яті для швидкої обробки та багатозадачності. Відеокарта потрібна для високої якості візуалізації та графічного аналізу обробки великої кількості графічних даних. SSD-диски значно підвищують швидкість завантаження операційної системи і програм, а також покращують продуктивність при роботі з великими файлами.

1.3 Перелік та опис існуючих реалізацій

Умовно плати збору даних можна поділити на велику кількість категорій, наприклад:

- за типом сигналів(аналогові ПЗД, цифрові ПЗД, змішані (або гібридні));
- за призначенням (універсальні, спеціалізовані);
- за кількістю каналів (одноканальні, багатоканальні);
- за швидкістю збору даних (повільні, швидкі);
- за інтерфейсом підключення (PCI/PCIe, USB, LAN, Wi-Fi, DAQMX);
- за принципом роботи (автономні, підключені до ПК).

Та відповідно вибір плати відбувається вже згідно з галуззю дослідження, технічного завдання що стоїть перед інженерами та вченими-дослідниками, даних котрі будуть використовуватися дослідженням та інших факторів з котрими дозволяє справитися модульність віртуально вимірювальних систем.

Наприклад в роботі розглянуто різні системи від простого до професійного рішення для високоточних і складних вимірювань, що потребує значних обчислювальних ресурсів та спеціалізованого програмного забезпечення.

Arduino Uno (рис. 1.5.) належить до універсальних мікроконтролерних ПЗД, який забезпечує управління різноманітними сенсорами, виконуючи прості обчислення. Arduino підходить для задач, де потрібно збирати дані з декількох датчиків та виконувати операції в режимі реального часу. Arduino Uno має тактову частоту 16 МГц здатний швидко виконувати прості операції з аналоговими та цифровими сигналами. Arduino Uno має 14 цифрових портів та 6 аналогових, що дозволяє підключати різноманітні сенсори. Arduino Uno відомий своїм низьким енергоспоживанням, що робить його ідеальним для автономних проєктів з живленням від батарей. Недоліком цієї ПЗД слугує обмежена точність АЦП в 10 біт та низькою швидкістю збору даних що робить його не придатним для складних високоточних вимірювань. Однак для навчальних, аматорських і прототипних проєктів він є чудовим вибором.



Рисунок 1.5 – Мікроконтролер Arduino Uno

Raspberry Pi 5 (рис. 1.6) належать до типу універсальних одноплатних комп'ютерів які також використовують як ВВС. Здатна виконувати обчислювальні завдання та взаємодіяти з сенсорами. Raspberry Pi підтримує підключення різних модулів і датчиків через GPIO порти, що робить його універсальним інструментом для побудови ВВС. Raspberry Pi 5 пропонує набагато вищу продуктивність за Arduino Uno завдяки процесору ARM Cortex-A76 із тактовою частотою до 2.4 ГГц, що дозволяє виконувати складніші обчислювальні задачі. Raspberry Pi 5 пропонує 40-піновий GPIO, який забезпечує більше можливостей для підключення пристроїв та взаємодії з мережею (Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet). Raspberry Pi 5 потребує більше енергії, проте це виправдано його високою продуктивністю.



Рисунок 1.6 – Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 5

PCI-6221 (рис. 1.7) це багатофункціональна карта вводу/виводу (I/O), розроблена компанією National Instruments, яка використовується для збору та обробки даних в різних експериментальних і вимірювальних системах. Ця карта є частиною серії NI M, яка відома своєю високою точністю, продуктивністю і гнучкістю. Призначений для точних вимірювань і швидкої обробки сигналів, підходить для високоточних експериментів і наукових досліджень. Карта забезпечує швидкість вибірки до 250 кСемплів/с і 16-бітну роздільність для точного вимірювання сигналів. Працює від живлення ПК через слот PCI, енергоспоживання залежить від вимірювань і навантаження системи.

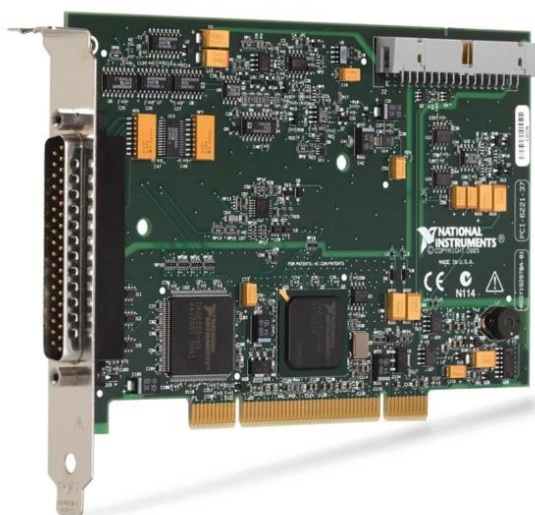


Рисунок 1.7 – Багатофункціональна карта вводу/виводу (I/O) PCI-6221

NI PCIe-6321(рис. 1.8) це високопродуктивна плата збору даних від National Instruments, яка належить до серії X і забезпечує широкий спектр функцій для застосування в різних галузях, включаючи наукові дослідження, промислову автоматизацію та тестування обладнання. Ця плата спеціально розроблена для інтеграції у віртуальні вимірювальні системи, забезпечуючи точний збір, обробку та аналіз даних. Підключення до ПК здійснюється через PCI Express (PCIe), що забезпечує високу швидкість передачі даних і стабільність роботи. Має 16-бітний аналого-цифровий перетворювач (ADC), що забезпечує високу точність і деталізацію сигналів. Карта забезпечує швидкість вибірки до 1 МСемплів/с для одночасного вимірювання сигналів це дозволяє обробляти високочастотні процеси

з високою точністю. Карта встановлюється у слот PCIe без потреби у зовнішньому джерелі живлення, що спрощує її інтеграцію в наявні системи.



Рисунок 1.8 – Багатофункціональна карта вводу/виводу (I/O) NI PCIe-6321

В таблиці 1.1. були порівняти різні типи пристроїв для віртуально-вимірювальних систем, визначити їхні переваги, недоліки, щоб визначити їх відповідність до різних задач. Метою такої порівняльної таблиці є допомогти інженерам, розробникам та дослідникам обрати оптимальний пристрій для реалізації своїх проєктів. Ґрунтуючись на цій таблиці можна зробити висновок що Arduino Uno — простий та дешевий, але обмежений у ресурсах він чудово підійде для навчальних або невеликих аматорських проєктів. Raspberry Pi 5 — потужний і гнучкий, але вимагає більше знань і підходить не для всіх задач. Підходить для більш складних завдань, таких як обробка даних чи створення IoT-систем. PCI-6221 має висока точність і функціональність, але залежність від характеристик ПК. Чудово підходить для лабораторних вимірювань і задач, які вимагають високої точності. NI PCIe-6321 — професійний інструмент для складних задач, але дорогий і складний у налаштуванні тому його обирають для промислових проєктів із високими вимогами до обробки сигналів і синхронізації пристроїв

Таблиця 1.1 – Порівняння вбудованих систем

Параметр	Arduino Uno	Raspberry Pi 5	PCI-6221	NI PCIe-6321
Тип пристрою	Мікроконтролер	Мінікомп'ютер з ОС	Багатофункціональна плата вводу/виводу	Багатофункціональна плата вводу/виводу
Процесор	ATmega328P, 16 МГц	ARM Cortex-A76, 2.4 ГГц	Без власного CPU, управляється через ПК	Використовує процесор ПК для обробки даних.
Оперативна пам'ять	2 КБ SRAM	4-16 ГБ LPDDR4	Використовує оперативну пам'ять комп'ютера	Не має вбудованої оперативної пам'яті, працює через системну пам'ять ПК
Пам'ять для програм	32 КБ Flash	Зовнішній накопичувач (MicroSD, SSD, NVMe)	Використовує пам'ять і накопичувач ПК	Використовує пам'ять і накопичувач ПК
Інтерфейси	GPIO, SPI, I2C, UART	USB, HDMI, Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, GPIO	PCI	PCI Express x1
Операційна система	Без ОС	Linux, Windows	Працює через ПК	Сумісна з Windows, Linux, та іншими ОС
Мережеві можливості	Відсутні (можна додати зовнішні модулі)	Wi-Fi 6, Gigabit Ethernet, Bluetooth 5.2	Залежить від ПК, підтримка через Ethernet/PCI	Залежить від ПК
Порти GPIO	14 цифрових, 6 аналогових	40 пінів	Відсутні (цифровий і аналоговий ввід/вивід через шину)	Підтримує цифрові та аналогові входи/виходи (16 аналогових входів, 2 аналогових виходи, 24 цифрових входи/виходи).
Частота вибірки/виведення	16 МГц для простих обчислень	2.4 ГГц для обробки даних	До 250 кГц для аналогового вводу/833 кГц для виводу	До 250 кСемплів/с (аналоговий ввід).
Програмування	C/C++ (Arduino IDE)	Python, C, C++, Scratch, Java та ін.	LabVIEW, Matlab, Python, C	LabVIEW, C, Python, .NET
Основні завдання	Прості проекти автоматизації, DIY-проекти	Обробка даних, робота з ОС, мультимедіа, IoT	Точні вимірювання, збір та обробка даних, управління процесами	Точні вимірювання, управління процесами

2 ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ТА ВІРТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

2.1 Осцилографи

Осцилограф є одним із найпоширеніших контрольно-вимірювальних пристроїв, необхідних майже у кожній радіотехнічній лабораторії. Основною функцією цього приладу є спостереження, аналіз і дослідження амплітудно-частотних характеристик електричних сигналів. Завдяки розширенню завдань, які ставляться перед науковцями, осцилографи постійно вдосконалюються, зокрема завдяки можливостям апаратної і цифрової обробки сигналів.

Осцилографи класифікують за призначенням, принципами роботи, конструктивними особливостями, точністю та умовами експлуатації. Розглянемо основні їх види.

Осцилографи загального призначення – універсальні пристрої, що застосовуються для осцилографування й вимірювання параметрів сигналів у широкому діапазоні частот, амплітуд та тривалостей. Вони здатні ефективно працювати як у лабораторних умовах, так і в складніших середовищах.

Багатоканальні осцилографи – прилади, здатні відобразити на екрані кілька сигналів одночасно завдяки використанню кількох каналів або спеціальних багатопроменевих трубок.

Запам'ятовуючі осцилографи – осцилографи, які зберігають досліджуваний сигнал у пам'яті з можливістю подальшого його аналізу. Ці прилади часто використовуються для вивчення одноразових процесів і оснащені спеціальними трубками пам'яті, або цифровими пристроями збереження й обробки сигналів.

Широкосмугові осцилографи – пристрої для аналізу коротких імпульсів тривалістю менше 10–15 нс у реальному масштабі часу. У таких осцилографах використовуються відхиляючі системи типу "біжуча хвиля" з пропускнуою спроможністю понад 5000 МГц.

Стробоскопічні осцилографи – застосовуються для роботи з імпульсами у наносекундному та пікосекундному діапазонах. Вони досягають розширення в часовій області досліджуваних сигналів без їх спотворення. Такі осцилографи відзначаються високою чутливістю, але придатні лише для аналізу повторюваних сигналів і не можуть використовуватися для разових процесів.

Спеціалізовані осцилографи – призначені для конкретних завдань, таких як аналіз телевізійних, радіолокаційних чи медичних пристроїв, а також вимірювань у системах автоматичного контролю й управління.

Залежно від застосування цифрової обробки сигналів, осцилографи поділяються на три основні типи:

- аналогові осцилографи;
- цифрові осцилографи;
- аналізатори змішаних сигналів.

Кожен із цих видів має свої переваги та недоліки. Аналогові осцилографи забезпечують відображення сигналу без спотворень, які можуть виникнути через особливості цифрової обробки. Водночас цифрові осцилографи мають певні слабкі сторони. Наприклад під час процесу семплування деякі характеристики сигналу можуть усереднюватися або навіть не враховуватися. Це обумовлено тим, що в середньому цифровий осцилограф реєструє сигнал лише 0,5% від усього часу роботи, тоді як 99,5% часу займає обробка отриманих даних. Або під час дискретизації аналогового сигналу виникає проблема «квантування» – амплітудні зміни, менші за певний мінімальний рівень, не фіксуються приладом. Через це стає важче виявляти слабкі високочастотні сигнали, що накладаються на сигнали із нижчою частотою і більшою амплітудою.

Попри зазначені недоліки цифрові осцилографи є найпоширенішими завдяки широким можливостям для обробки й аналізу сигналів. Серед них можна виділити такі функції, як демодуляція сигналів, виконання швидкого перетворення Фур'є (БПФ), запуск за заданими умовами, виявлення рідкісних імпульсів, використання масок сигналу або післясвітіння.

Осцилографи також класифікують за критерієм типу живлення на:

- стаціонарні осцилографи;
- портативні осцилографи.

Портативні моделі, як правило, мають менше можливостей і обмежену смугу частот. Вони призначені для польових робіт, де важливими є мобільність і автономність приладу.

Окремо виділяють USB-осцилографи, які є компактними пристроями і використовуються для нескладних задач, що не потребують високої точності або чутливості.

Додатково осцилографи можна класифікувати за смугою пропускання чи наявністю специфічних функцій. Однак такі характеристики важливі для будь-якого типу осцилографів і підбираються індивідуально відповідно до конкретного завдання.

Основні технічні характеристики осцилографів можна поділити на параметри, пов'язані з роботою каналів Y, X, Z, параметри електронно-променевої трубки, а також характеристики калібраторів амплітуди та часу.

Параметрами каналу вертикального відхилення Y є коефіцієнт відхилення K_d , час наростання напруги τ_ϕ та смуга пропускання.

Коефіцієнт відхилення K_d визначається з рівняння:

$$U_{\text{вх}} = K_d \cdot h, \quad (2.1)$$

де $U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга, В;

h – відхилення променя, мм.

Коефіцієнт відхилення K_d є каліброваним і зазвичай змінюється з кратністю 1, 2 або 5. Плавне налаштування дає можливість встановлювати некалібровані значення K_d між сусідніми каліброваними значеннями.

Час наростання напруги τ_ϕ визначає перехідну характеристику каналу Y осцилографа. Зв'язок між верхньою граничною частотою пропускання f_B (МГц) і часом наростання (перехідною характеристикою) τ_ϕ описується співвідношенням

$$\tau_\phi = \frac{350}{f_B}, \text{ нс} \quad (2.2)$$

Нижня гранична частота f_B у більшості осцилографів досягає 0 Гц, оскільки як підсилювачі в каналі Y використовують підсилювачі постійного струму.

Основним параметром каналу горизонтального відхилення X є коефіцієнт розгортки K_B , який визначається рівнянням

$$K_B = \frac{T_n}{l_t}, \quad (2.3)$$

де T_n - тривалість прямого ходу розгортки, с;

l_t - довжина відрізка горизонтальної осі трубки, яка відповідає тривалості прямого ходу променя, мм.

Коефіцієнт розгортки є масштабним коефіцієнтом для вимірювання часових інтервалів. За його допомогою визначають час, за який промінь проходить відстань, що дорівнює одній поділці по горизонталі. Коефіцієнт розгортки є каліброваним коефіцієнтом. У більшості осцилографів він може змінюватись із кратністю 1; 2; 5. Канал Z характеризується діапазоном напруг і частот, які застосовуються для модуляції яскравості променя. Вхідні параметри каналу включають опір і ємність.

Характеристики, які визначаються електронно-променевою трубкою: робоча площа екрана, діаметр світлової плями, геометричні спотворення, чутливість до зовнішніх електричних та магнітних полів, рівень рентгенівського випромінювання, час післясвічення тощо.

Короткі технічні характеристики осцилографів наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння технічних характеристик осцилографів

Модель	Тип осцилографа	Кількість каналів	Смуга пропускання, МГц	Частота дискретизації, ГГц	Роздільна здатність, біт	Макс. потужність, Вт	Об'єм пам'яті, МБ
RTH1002	портативний	2	60-500	1,25-5	10	10	0,5
DHO802	стаціонарний	4	70-350	1,25	8	5	0,07
RTA4004	стаціонарний	4	200-1000	2,5-5	10	8	200
TO1112D	портативний	2	110	2,5	8	8	0,04
DSO2D10	стаціонарний	2	100	1	8	10	0,08
RTH1022	портативний	2	200	1	8	10	50
UTD4202C	стаціонарний	2	200	1	8	9	40
SDS1202X+	стаціонарний	2	200	1	8	8	56

2.2 Аналізатори спектра

Аналізатор спектру є ключовим приладом для тестування та аналізу сигналів у частотній області, зокрема в задачах електромагнітної сумісності (ЕМС) сучасних пристроїв. Його використання дозволяє детально досліджувати розподіл сигналів за частотами, вимірювати їх потужність і визначати характеристики випромінювання систем, що стає вирішальним відповідно до стандартів ЕМС.

Висока точність аналізаторів спектра в оцінці параметрів сигналів зробила їх базовим інструментом для дослідження характеристик сучасних бездротових технологій, таких як Wi-Fi, стільникові мережі та інші радіочастотні системи. Аналіз сигналу в частотній області також є основним методом дослідження гармонік, паразитних сигналів та ширини модуляції. Для забезпечення максимальної точності і чутливості таких вимірювань потрібна оптимізація інструмента відповідно до вимог задачі.

Розвиток математичних методів, зокрема перетворення Фур'є, забезпечив нові можливості для аналізу сигналів як в частотній, так і в часовій області, що дозволяє детально досліджувати структуру сигналів. Однак для багатьох застосувань пріоритетними залишаються частотні характеристики сигналів. Зокрема, спектральні щільності й рівні гармонік сигналу є визначальними для забезпечення якості роботи радіочастотного обладнання та запобігти небажаному випромінюванню.

Таким чином, аналізатори спектру залишаються незамінними інструментами для сучасної інженерії, значно розширюючи можливості досліджень у високочастотній галузі. Це сприяє ефективному розв'язуванню задач, пов'язаних з випромінюванням, сумісністю та якістю сигналів у сучасних комунікаційних системах.

Проглядаючи частотний спектр, аналізатор спектру забезпечує детальний аналіз потужності сигналу на кожному рівні частоти. Ця інформація визначає, які частоти відповідають за загальну потужність сигналу, і усуває будь-які проблеми, які спричиняють зниження потужності сигналу. Крім того, аналізатори спектру

контролюють працездатність системи, відстежуючи зміни сили різних сигналів з часом. Аналізатор спектра це потужний інструмент котрий використовується в :

- телекомунікації для налагодження бездротового зв'язку та вимірювання продуктивності стільникових мереж;
- оборонній галузі для тестування систем радіолокації та виявлення ворожих випромінювань;
- оцінка якості зв'язку для супутникового зв'язку;
- трансляція для забезпечення відповідності нормам і оптимізації роботи передавача;
- аерокосмічна промисловість для випробування авіоніки літаків і наземних радіолокаційних систем;
- медичні дослідження для вивчення мозкових хвиль і впливу електромагнітного випромінювання.

Активний аналізатор спектру здатний обробляти та аналізувати сигнал в реальному часі , завдяки потужним процесорам, які забезпечують безперервну обробку даних. Це дозволяє фіксувати миттєві зміни параметрів сигналу і проводити аналіз динаміки сигналу з високою точністю.

Векторні аналізатори спектру призначені для дослідження різноманітними видами модуляції. Вони розділяють компоненти сигналу за амплітудою, частотою та фазою, що забезпечує можливість виконувати складний аналіз радіочастотних сигналів.

Програмовані аналізатори спектру - Забезпечують гнучкість у налаштуванні та адаптації під різні вимірювальні завдання завдяки можливості програмного налаштування. Це дозволяє розширити функціонал приладу під конкретні умови експлуатації.

Визначники частоти. Деякі аналізатори спеціалізуються на вузьких частотних діапазонах. Наприклад, мікрохвильові аналізатори спектру орієнтовані на високочастотні діапазони і забезпечують точний аналіз сигналів у межах цих частот.

Портативні аналізатори спектра, розповсюджені моделі котрі мають велику перевагу в їх не великому розмірі. Що надає велику мобільність в використання та зручність при транспортуванні.

Призначені для розв'язування специфічних задач, таких як аналіз сигналів для радіо- або телевізійних трансляцій.

Аналізатор спектру використовується для розділення сигналів за частотами, що дозволяє досліджувати їх властивості та виявляти аномалії. Його робота базується на скануванні визначеного частотного діапазону, фіксації електромагнітних хвиль і їхньому подальшому графічному відображенні. На графіку горизонтальна вісь (абсциса) представляє частоту, а вертикальна вісь (ордината) — амплітуду сигналу. Завдяки цьому можна оцінити інтенсивність сигналів у певному діапазоні частот, а також виявити перешкоди, гармоніки або інші порушення.

Існує кілька основних типів аналізаторів спектру, кожен з яких має свої особливості:

- аналогові - це ранні моделі, що використовують аналогові методи вимірювання та відображення сигналів. Вони були популярними до появи цифрових моделей і все ще можуть використовуватись для деяких простих завдань;
- цифрові. Цей тип аналізаторів використовує цифрові технології для аналізу сигналів. Вони забезпечують точніші результати, вищу роздільну здатність і більшу функціональність порівняно з аналоговими моделями. Такі пристрої можуть працювати на ширших частотних діапазонах і надавати дані у зручному для користувача форматі;
- реального часу. Це сучасні моделі, які забезпечують аналіз сигналів безпосередньо під час їх надходження. Такі пристрої забезпечують миттєвий зворотний зв'язок про стан спектру, що є особливо корисним для виявлення швидких або випадкових перешкод, які можуть виникати лише протягом коротких проміжків часу;

Амплітудні аналізатори спектра за принципом своєї роботи поділяються на два основні типи: аналізатори спектра послідовного типу та аналізатори спектра паралельного типу.

Аналізатори спектра послідовного типу побудовані на основі супергетеродинів з автоматичною перебудовою частоти. Такі пристрої працюють за принципом перетворення вхідного сигналу у сигнал фіксованої проміжної частоти, який потім підсилюється. Використовуючи супергетеродинний метод, частоти спектральних компонентів сигналу поступово зсуваються до частоти налаштування вузькосмугової системи.

Ці аналізатори є відносно простими в реалізації та забезпечують широкий динамічний діапазон. Проте вони мають суттєвий недолік — у кожен момент часу вимірюється амплітуда лише на одній частоті. Раніше такі пристрої використовували лише аналогові компоненти, але згодом були оснащені цифровими елементами, такими як аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) та мікропроцесори. Основний принцип дії залишився незмінним, і цей тип аналізаторів найкраще підходить для стаціонарних сигналів.

Для отримання амплітудно-частотної характеристики в супергетеродинному аналізаторі частота сигналу двічі або більше разів перетворюється, після чого сигнал фільтрується смуговим фільтром. Ширина смуги фільтра визначає роздільну здатність аналізатора. Після фільтрації амплітуда сигналу на кожній частоті визначається за допомогою амплітудного детектора.

Цей метод забезпечує широкий динамічний діапазон частот, але для аналізу всього діапазону потрібна перебудова частоти, що займає певний час (до кількох секунд). Такий підхід потребує стабільності вхідного сигналу, адже швидкі зміни можуть бути пропущені. Окрім того, аналізатори з послідовною перебудовою не зберігають повний запис сигналу у часі та не синхронізуються з нестаціонарними сигналами.

Згодом з'явилися векторні аналізатори спектра, які виконують аналіз цифрових модульованих сигналів, вимірюючи не лише амплітуду, а й фазу. Векторні аналізатори здатні знімати миттєві характеристики сигналу, але зазвичай

не забезпечують довготривалий запис послідовних вибірок, що ускладнює дослідження змін сигналу у часі.

Аналізатори спектра також класифікуються за частотним діапазоном: широкосмугові радіочастотні, оптичні та акустичні (низькочастотні).

Сучасні задачі вимірювання радіосигналів потребують вивчення змін частоти, амплітуди та параметрів модуляції сигналів у реальному часі. Для цього використовуються аналізатори спектра з обробкою в реальному масштабі часу.

Вони враховують час як важливий параметр досліджень, що дозволяє:

- аналізувати нестационарні та динамічні сигнали;
- фіксувати пакетну передачу, перехідні процеси, короткочасні перешкоди;
- вимірювати час встановлення параметрів системи та дрейф частоти;
- виявляти сигнали зі стрибкоподібною перебудовою частоти;
- проводити моніторинг спектра та діагностику електромагнітних завад.

Таким чином, сучасні аналізатори спектра є важливим інструментом для дослідження та діагностики радіосигналів у різних умовах.

Таблиця 2.2 – Основні технічні характеристики аналізаторів спектру реального часу

	Робоча частота	Ширина смуги захоплення	Рівень власних шумів	Крок перебудови частот	Роздільна здатність	Амплітуда	Інтерфейси
Aaronia SPECTRAN V6 ECO	9 кГц... 18 ГГц	44 МГц, 60 МГц	-170 дБм/Гц	-	62 МГц до 200 МГц	від +23 дБм до -170 дБм	-
Rigol RSA3045	9 кГц ... 4,5 ГГц	10 МГц (25 МГц, 40 МГц опц.)	-161 дБм/Гц	10, 25, 40 МГц	200 Гц, 9 кГц, 120 кГц, 1 МГц	від +30 дБм до -141 дБм.	USB, LAN, HDMI
Anritsu MS2850A	9 кГц ... 32 ГГц	255 МГц, (510 МГц, 1 000 МГц)	-142 дБм/Гц	до 30 МГц	1 Гц ... 10 МГц.	від +30 дБм до -166 дБм.	USB, Ethernet, IEEE-488 (GPIB)
Tektronix RSA513A	9 кГц ... 7,5 ГГц	10, 20, 40 МГц	-160 дБм/Гц	10, 20, 40 МГц	-	від +30 дБм до -160 дБм	USB

3 ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ САМОСТІЙНОГО СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНО ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Важливо розуміти, що для створення власної віртуальної вимірювальної системи, яка відповідатиме майбутнім потребам, недостатньо просто вибрати плату збору даних DAQ. Ви повинні враховувати кожен частину вашої системи: фізичні компоненти, такі як датчики, пристрої збору даних (DAQ) та комп'ютери, а також програмні компоненти, включаючи драйвери, програмне забезпечення та інструменти для створення звітів. Можна виділити наступні ключових аспектів котрі варто врахувати, щоб максимально використати вашу інвестицію в DAQ, забезпечуючи готовність вашої системи до вимірювань сьогодення та майбутнього.

Перед тим, як проєктувати вимірювальну систему, вам необхідні відповідні датчики (або перетворювачі). Сучасний ринок пропонує безліч датчиків, що вимірюють різні фізичні явища.

Розглянемо наступні класифікації датчиків для вимірювальних систем, щоб мати краще уявлення які варіанти найкраще підходять.

Температура. Найпопулярніші датчики для вимірювання температури включають термопари, термістори та детектори електричного опору (RTD).

Термопари є найпопулярнішими датчиками для вимірювання температури. Вони ефективні у випадках, коли потрібен великий діапазон вимірювань. Перевагою є відносно не дорога вартість що сягає від \$1 до \$50 USD, також досить витривалі навіть в складних умовах експлуатації. Мають великий діапазон вимірювання температури та високу швидкість часу відгуку. Проте з ними складно досягти високої точності (менше 1 °C) через властивості матеріалу.

Детектори електричного опору (RTD) є майже такими ж популярними, як термопари, і можуть підтримувати стабільні вимірювання температури протягом багатьох років. На відміну від термопар, RTD мають менший діапазон вимірювання температури (від -200 до 500 °C), потребують поточного живлення та мають повільніший час відгуку (від 2,5 до 10 секунд). RTD в основному використовуються для точних вимірювань температури (точність $\pm 1,9\%$) у застосуваннях, де

швидкість реакції не є критично важливою. Вартість RTD коливається від \$25 до \$1,000 USD

Термістори мають менший діапазон вимірювання температури (-90 до 130 °C), порівняно з попередніми датчиками. Вони мають найкращу точність серед усіх згаданих датчиків ($\pm 0,05$ °C), але є більш крихкими у порівнянні з термопарами або RTD. Термістори вимагають живлення аналогічно до RTD, проте, на відміну від них, працюють від напруги, а не від струму. Вартість термісторів зазвичай коливається від \$2 до \$10 USD.

Деформація. Деформація зазвичай вимірюється за допомогою резистивних датчиків деформації (strain gages). Це плоскі резистори, які зазвичай кріпляться до поверхні, що схильна до згинання або деформації. Датчики деформації можуть вимірювати дуже незначні повороти, згинання та розтяжки поверхні. З'єднання кількох резистивних датчиків деформації разом створює місткову схему (bridge). Використання більшої кількості датчиків допомагає досягти більш чутливих вимірювань.

Звук. Конденсаторні мікрофони є найпопулярнішими серед усіх мікрофонів. Вони поділяються на поляризовані (вбудоване джерело живлення всередині самого мікрофона) та зовнішньо поляризовані (потребують додаткового джерела живлення, що збільшує витрати). Поляризовані мікрофони найкраще працюють у вологих середовищах, де компоненти джерела живлення можуть пошкодитися. Натомість зовнішньо поляризовані мікрофони найкраще підходять для середовищ із високою температурою.

П'єзoeлектричні мікрофони відрізняються високою міцністю та використовуються у випадках пов'язаних з вимірюванням ударів або тиску при вибухах. Вони можуть вимірювати високі діапазони тиску в децибелах, але їхній основний недолік — високі рівні шуму, які вони також реєструють.

Динамічні/магнітні мікрофони працюють у складних умовах середовища завдяки магнітному принципу роботи. Вони стійкі до впливу вологи, проте погано функціонують у сильно магнітному середовищі.

Електретні мікрофони є компактними, ефективними та використовуються в багатьох сучасних комп'ютерах та електронних пристроях по всьому світу. Вони ефективні для високочастотного звуку, проте мають один недолік: не забезпечують добре відтворення басів.

Вуглецеві мікрофони менш поширені, мають низьку якість звуку, проте можуть використовуватися в додатках, де якість звуку не є критично важливою.

Вібрація. Керамічні п'єзоелектричні сенсори або акселерометр найчастіше використовуються для вимірювання вібрації або прискорення. Три основні фактори, які відрізняють сенсори вібрації: частота коливань, коефіцієнт демпфування та коефіцієнт шкали. Коефіцієнт шкали визначає відношення вихідного сигналу до прискорення та пов'язаний із чутливістю сенсора. Разом з частотою коливань та коефіцієнтом демпфування визначаються точність вимірювання сенсора.

У системі, що складається зі спірального елемента та прикріпленої до нього маси, якщо віддалити масу від рівноважного положення та відпустити, маса буде коливатися вперед (переміщаючись через рівноважне положення) та назад, поки не зупиниться. Фрикція, що призводить до зупинки коливань, визначається коефіцієнтом демпфування, а частота коливань вперед і назад — це природна частота.

Керамічні п'єзоелектричні сенсори вібрації є найпопулярнішими, оскільки вони універсальні. Ці сенсори можна використовувати для вимірювання ударів (вибухи, тести на пошкодження), високочастотних вимірювань та сповільненої вібрації з низькою частотою. Вони мають вищу природну частоту порівняно з іншими сенсорами. Однак їхній вихід зазвичай знаходиться в діапазоні мілівольтів і потребує високосприйнятливого, низькошумного детектора для аналізу сигналу, що надходить від п'єзоелектричного кристала.

Датчики наближення та LVDT схожі між собою: обидва обмежені вимірюванням сталевих прискорень або вібрації з низькою частотою. Однак LVDT має трохи вищу природну частоту, що дозволяє йому реєструвати більше вібрацій.

Датчик наближення працює як пружинно-масивний механізм, що прикріплений до потенціометра.

Перемінна релаксація вимірює вібрацію та рух через взаємодію постійних магнітів із рухомими катушками. Цей тип сенсора дає вихідний сигнал лише тоді, коли маса, що вимірюється, перебуває в русі. Саме через це перемінна релаксація є корисною у вивченні землетрусів та нафтовій розвідці, де необхідно виявляти вібрації, що відбиваються від підземних порід.

Тиск. Існує п'ять основних типів вимірювання тиску: абсолютний, манометричний, вакуумний, диференціальний і запечатаний. Розгляньмо приклад вимірювання тиску в шині та зазначимо, як кожен тип вимірювання є відносним до різного контрольного тиску:

- абсолютний тиск включає стандартний тиск від ваги атмосфери (101,325 кПа) і додатковий тиск у шині. Звичайний тиск у шині становить 34 PSI, або приблизно 234 кПа. Абсолютний тиск дорівнює 234 кПа плюс 101,325 кПа, тобто 331,325 кПа;
- манометричний тиск є відносним до місцевого атмосферного тиску й дорівнює 234 кПа або 34 PSI;
- вакуумний тиск є відносним до абсолютного вакууму або місцевого атмосферного тиску. Спущена шина може мати такий самий тиск, як і місцева атмосфера, тобто 0 кПа (відносно атмосферного тиску). Той самий вакуумний тиск може дорівнювати 234 кПа (відносно абсолютного вакууму);
- диференціальний тиск — це просто різниця між будь-якими двома рівнями тиску. У прикладі з шиною це означає різницю між тиском у двох шинах. Також це може бути різниця між атмосферним тиском і тиском у середині однієї шини;
- запечатаний тиск — це диференціальний тиск, виміряний щодо відомого контрольного тиску. Зазвичай цей тиск відповідає рівню моря, але це може бути будь-який тиск залежно від застосування.

Кожен із цих типів вимірювання може змінювати ваші показники тиску, тому важливо знати, який саме тип вимірюють ваші датчики.

Датчики на основі мостових схем (тензодатчики) або п'єзорезистивні датчики є найпоширенішими для вимірювання тиску завдяки їх простій конструкції та міцності. Ці характеристики знижують вартість і роблять їх ідеальними для систем із великою кількістю каналів.

Ці звичайні датчики тиску можуть бути як із вбудованою обробкою сигналу, так і без неї. Зазвичай датчики з обробкою сигналу дорожчі, оскільки вони містять компоненти для фільтрації та посилення сигналу, а також провідники для збудження та стандартні вимірювальні схеми. Якщо ви працюєте з датчиками тиску на основі мостових схем без вбудованої обробки сигналу, ваше обладнання потребуватиме обробки сигналу.

Сила. Для вимірювання сили переважно використовували механічні ваги важільного типу. Сьогодні найпоширенішими є тензометричні датчики навантаження, оскільки вони не потребують стільки калібрування та обслуговування, як ваги.

Датчики навантаження можуть бути як із вбудованою обробкою сигналу, так і без неї. Зазвичай датчики з обробкою сигналу дорожчі, оскільки вони містять компоненти для фільтрації, посилення сигналу, провідники для збудження, а також стандартні вимірювальні схеми. Якщо ви працюєте з мостовими датчиками без вбудованої обробки сигналу, ваше обладнання потребуватиме обробки сигналу. Перевірте документацію до датчика, щоб дізнатися, чи потрібні вам додаткові компоненти для посилення або фільтрації сигналу.

Датчики навантаження типу "балка" корисні, коли очікується лінійна сила. Їх зазвичай використовують для зважування як малих, так і великих предметів (від 10 до 5000 фунтів). Вони мають середню чутливість, але є дуже точними. Ці датчики характеризуються простою конструкцією та низькою вартістю.

Датчик навантаження типу "S-балка" схожий на тип "балка", але відрізняється дизайном. Через характерну S-подібну форму цей датчик ефективний для відхилення великих бокових навантажень і вимірювання ваги навантаження, яке не знаходиться в центрі. Цей недорогий датчик також має просту конструкцію.

Циліндричний датчик навантаження може витримувати більші навантаження, ніж обидва попередні типи (S-балка та балка). Він також легко справляється з рухом навантаження та є високочутливим; однак датчик потребує захисту від горизонтальних навантажень.

Плоскі або низькопрофільні датчики навантаження спроектовані таким чином, що для точного вимірювання не потрібен жодний рух. Якщо ваша програма має обмеження часу або потребує швидких вимірювань, розгляньте можливість використання циліндричного датчика навантаження.

Кнопкові та шайбові датчики навантаження зазвичай вимірюють вагу менших об'єктів (до 200 фунтів). Як і плоскі або низькопрофільні датчики, об'єкт, який зважується, має залишатися нерухомим для отримання точного результату. Навантаження також має бути зосереджене зазвичай на невеликій площі. Перевагою цих датчиків є їхня низька вартість.

З огляду на велику кількість пристроїв збору даних (DAQ), вибір відповідного для вашого застосування може бути складним завданням. Однак, зрозумівши сигнал, який ви хочете захопити, ви можете скласти список вимог, що гарантують відповідність обраної системи DAQ вашим потребам щодо точності та прецизійності.

Щоб переконатися, що система DAQ відповідає вашим вимогам до швидкості вибірки та точності варто відповісти на наступні питання:

- які типи сигналів мені потрібно вимірювати або генерувати?
- чи потрібна мені обробка сигналу?
- з якою швидкістю мені потрібно захоплювати або генерувати вибірки сигналу?
- яка найменша зміна сигналу, яку мені потрібно виявити?
- який рівень похибки вимірювань допустимий?

Деякі пристрої DAQ виконують лише одну функцію, наприклад, вимірювання та генерування аналогових сигналів напруги, інші працюють виключно з цифровими сигналами, а деякі мають багатофункціональні можливості.

Застосування системи збору даних зазвичай базується на різноманітності сигналів, тому важливо розуміти, які функції вам потрібні для вашого завдання.

Функції пристроїв DAQ:

- аналогові входи вимірюють аналогові сигнали;
- аналогові виходи генерують аналогові сигнали;
- цифрові входи/виходи вимірюють і генерують цифрові сигнали;
- лічильники/таймери рахують цифрові події або генерують цифрові імпульси/сигнали.

Пристрій DAQ, який виконує кілька функцій, зазвичай називають багатофункціональним пристроєм введення/виведення (I/O). Як пристрої DAQ із однією функцією, так і багатофункціональні пристрої мають фіксовану кількість каналів. Ваше завдання визначає, який пристрій підходить найкраще. Проте доцільно врахувати можливість масштабування системи в майбутньому. Якщо це передбачено, вигідніше вибрати пристрій із більшою кількістю каналів, ніж потрібно зараз. Це особливо актуально, якщо ви плануєте використовувати пристрій DAQ протягом обмеженого часу для одного застосування, а потім перейти до іншого завдання, використовуючи той самий пристрій.

Інший варіант – це модульна платформа, яку можна налаштувати відповідно до ваших точних вимог. Модульна система складається з шасі для управління таймінгом і синхронізацією та різноманітних модулів введення/виведення (I/O).

Переваги модульної системи:

- ви можете вибрати різні модулі, які виконують унікальні функції, що забезпечує більшу кількість конфігурацій;
- ви можете знайти модулі, які виконують одну функцію точніше, ніж багатофункціональний пристрій;
- ви можете вибрати кількість слотів для свого шасі. Хоча шасі має фіксовану кількість слотів, можна придбати шасі з більшою кількістю слотів, ніж потрібно зараз, щоб мати можливість розширювати систему в майбутньому.

Типовий універсальний пристрій збору даних (DAQ) може вимірювати або генерувати сигнали в межах ± 5 В або ± 10 В. Деякі датчики генерують сигнали, які

надто складно або небезпечно вимірювати безпосередньо за допомогою такого типу пристрою DAQ. Більшість датчиків вимагають обробки сигналу (наприклад, підсилення або фільтрації) до того, як пристрій DAQ зможе ефективно й точно виміряти сигнал.

Наприклад, термопари видають сигнали в діапазоні мілівольт, які потребують підсилення для оптимізації меж аналогово-цифрових перетворювачів (ADC). Крім того, вимірювання термопар виграють від використання низькочастотної фільтрації для усунення високочастотного шуму. Обробка сигналу забезпечує значну перевагу порівняно з використанням лише пристрою DAQ, оскільки покращує як продуктивність, так і точність вимірювань.

Однією з найважливіших характеристик пристрою DAQ є швидкість вибірки, яка визначає швидкість, з якою аналогово-цифровий перетворювач (ADC) пристрою DAQ знімає вибірки сигналу. Типові швидкості вибірки можуть бути апаратно- або програмно-керованими і досягати до 14 MS/s (мільйонів вибірок за секунду). Швидкість вибірки для вашого застосування залежить від максимальної частоти сигналу, який ви плануєте вимірювати або генерувати.

Теорема Найквіста стверджує, що сигнал можна точно реконструювати, якщо здійснювати вибірки вдвічі швидше, ніж максимальна частота сигналу. Однак на практиці слід вибирати швидкість вибірки принаймні у 10 разів вищу за максимальну частоту сигналу, щоб точно відтворити форму сигналу.

Вибір пристрою DAQ із частотою вибірки, яка щонайменше в 10 разів перевищує частоту сигналу, забезпечить більш точне вимірювання або генерацію сигналу.

Наприклад, якщо ви хочете виміряти синусоїдальний сигнал із частотою 1 кГц, то, згідно з теоремою Найквіста, потрібно здійснювати вибірки щонайменше на частоті 2 кГц. Однак для більш точного представлення сигналу рекомендується вибірка на частоті 10 кГц.

Після того, як ви визначите максимальну частотну складову сигналу, який потрібно вимірювати або генерувати, ви зможете вибрати пристрій DAQ із відповідною швидкістю вибірки.

Найменша зміна сигналу, яку можна виявити, визначає роздільну здатність вашого пристрою DAQ. Роздільна здатність належить до кількості бінарних рівнів, які АЦП (аналогово-цифровий перетворювач) може використовувати для представлення сигналу.

Типові пристрої DAQ мають діапазони напруги +/-5 В або +/-10 В. Представлені рівні напруги рівномірно розподіляються в межах вибраного діапазону, щоб повністю використовувати роздільну здатність. Наприклад, пристрій DAQ із діапазоном +/-10 В і роздільною здатністю 12 біт (2^{12} або 4 096 рівномірно розподілених рівнів) може виявити зміну в 5 мВ, тоді як пристрій із роздільною здатністю 16 біт (2^{16} або 65 536 рівномірно розподілених рівнів) може виявити зміну в 300 мкВ.

Багато вимог додатків задовольняються пристроями з роздільною здатністю 12, 16 або 18 біт. Однак якщо ви вимірюєте датчики з малими та великими діапазонами напруги, ви, ймовірно, можете отримати користь від динамічного діапазону даних, доступного на пристроях із роздільною здатністю 24 біти. Діапазон напруги та роздільна здатність, необхідні для вашого застосування, є основними факторами у виборі правильного пристрою.

Точність визначається як міра здатності приладу точно відображати значення вимірюваного сигналу. Цей термін не пов'язаний із роздільною здатністю; однак точність ніколи не може бути кращою за роздільну здатність приладу. Те, як ви визначаєте точність ваших вимірювань, залежить від типу вимірювального пристрою. Ідеальний прилад завжди вимірював би справжнє значення з 100-відсотковою впевненістю, але в реальному світі прилади повідомляють значення з невизначеністю, зазначеною виробником. Ця невизначеність може залежати від багатьох факторів, таких як шум системи, похибка підсилення, зміщення і нелінійність.

Звичайною специфікацією для невизначеності, заявленої виробником, є абсолютна точність. Ця специфікація надає максимальну похибку пристрою DAQ у визначеному діапазоні. Приклад розрахунку абсолютної точності багатофункціонального пристрою від National Instruments:

$$A = (V \cdot G) + (R \cdot O) + N, \quad (3.1)$$

де A - абсолютна точність;

V - показання (виміряне значення);

G - помилка підсилення;

R - діапазон напруги;

O - помилка зміщення;

N - невизначеність шуму.

Зверніть увагу, що точність приладу залежить не тільки від самого приладу, але й від типу сигналу, що вимірюється. Якщо сигнал, що вимірюється, має шум, точність вимірювань погіршується. Існує багато пристроїв DAQ із різним рівнем точності та ціновими категоріями. Деякі пристрої забезпечують самокалібрування, ізоляцію та інші схеми для покращення точності. У той час як базовий пристрій DAQ може мати абсолютну точність понад 100 мВ, високопродуктивний пристрій із такими функціями може мати абсолютну точність близько 1 мВ.

Вибір DAQ-пристрою включає більше, ніж просто підбір правильних технічних характеристик для якісних вимірювань. Ваше середовище та обладнання повинні впливати на вибір DAQ-пристрою. Вибраний формфактор і міцність пристрою визначають, де ви зможете використовувати систему — у контрольованій лабораторії чи в непередбачуваних польових умовах. Шина, яку ви обираєте, впливає не лише на пропускну здатність і затримку DAQ-системи, але й на портативність вашого вимірювального пристрою.

Усі шини ПК мають обмеження на кількість даних, які можуть бути передані за певний проміжок часу. Це обмеження, відоме як пропускну здатність шини, часто вказується в мегабайтах за секунду (MB/s). Якщо для вашого застосування важливі динамічні вимірювання хвильових форм, переконайтеся, що вибрана шина має достатню пропускну здатність.

Залежно від вибраної шини загальна пропускну здатність може розподілятися між кількома пристроями або бути виділеною для певних пристроїв. Наприклад, шина PCI має теоретичну пропускну здатність 132 MB/s, яка розподіляється між усіма платами PCI в комп'ютері. Gigabit Ethernet забезпечує 125 MB/s,

розподілених між пристроями в підмережі або мережі. Шини, які пропонують виділену пропускну здатність, такі як PCI Express і PXI Express, забезпечують максимальну пропускну здатність для кожного пристрою.

Під час вимірювання хвильових форм вам необхідно досягти певної швидкості вибірки та роздільної здатності, залежно від того, наскільки швидко змінюється сигнал. Ви можете обчислити мінімально необхідну пропускну здатність, помноживши кількість байтів на вибірку (заокруглену вгору до наступного байта) на швидкість вибірки та кількість каналів.

Вашій шині потрібна пропускну здатність, яка підтримує швидкість збору даних, але важливо зазначити, що фактична пропускну здатність системи буде нижчою за теоретичні межі шини. Це залежить від кількості пристроїв у системі та додаткового трафіку шини.

Якщо вам потрібно передавати великий обсяг даних високої роздільної здатності з кількох каналів, пропускну здатність може бути найважливішим фактором під час вибору шини DAQ.

Застосунки, які вимагають однопозиційного (single-point) читання та запису, часто залежать від того, наскільки швидко й послідовно оновлюються значення вводу/виводу.

Затримка шини (bus latency) — це часова затримка між викликом функції драйвера програмного забезпечення та фактичним оновленням апаратного значення вводу/виводу. Ця затримка може становити від мікросекунди до кількох мілісекунд залежно від вибраної шини.

Для таких застосувань важлива також детермінованість, яка вимірює, наскільки послідовно ввід/вивід виконується вчасно. Це критично для застосунків керування, де відхилення від очікуваної швидкості циклу керування знижує ефективність і надійність системи.

Для таких застосунків краще уникати шин, як-от бездротових, Ethernet або USB, які мають високу затримку та низьку детермінованість. Внутрішні шини, такі як PXI Express, або FPGA у CompactRIO зазвичай є кращими для застосунків із низькою затримкою.

Портативність відкриває нові можливості для інновацій у системах збору даних на основі ПК. Для портативних DAQ-систем зовнішні шини, такі як USB та Ethernet, особливо зручні завдяки швидкому встановленню апаратного забезпечення та сумісності з ноутбуками.

Відстань між місцем вимірювань і комп'ютером може суттєво змінюватися залежно від застосування. Щоб досягти найкращої точності, DAQ-обладнання слід розташовувати якнайближче до джерела сигналу. Це може бути викликом для розподілених систем вимірювань, наприклад, у моніторингу стану конструкцій чи моніторингу довкілля. Прокладання довгих кабелів через міст або заводський цех є витратним і може призводити до шумових сигналів. Одне з розв'язків цієї проблеми — використання портативної обчислювальної платформи для переміщення всієї системи ближче до джерела сигналу. Завдяки бездротовим технологіям фізичне з'єднання між комп'ютером і вимірювальним обладнанням можна повністю усунути, що дозволяє здійснювати розподілені вимірювання та передавати дані до центрального вузла.

Все більше тестів проводяться поза ідеальними лабораторними умовами, наприклад, у польових умовах, де виникають проблеми з вологістю, ударами та вібрацією, або в тестових камерах із високими температурами та ризиком впливу води.

Враховуйте середовища, в які ви можете помістити вашу DAQ-систему, і переконайтеся, що вона зможе витримати такі умови. Шукайте характеристики, що включають:

- робочий діапазон температур;
- рейтинги ударостійкості та вібрації;
- рейтинг захисту від проникнення (IP), який визначає рівень стійкості пристрою до пилу та води.

Наприклад, пристрої FieldDAQ мають рейтинг IP65 і IP67, що означає їхню повну пилонепроникність, стійкість до водяних струменів та занурення у воду.

Багато систем вимірювання мають складні вимоги до синхронізації, будь то синхронізація сотень каналів вводу або кількох типів інструментів. Наприклад,

система стимул-реакції може вимагати, щоб вихідні канали використовували ті ж самі часові сигнали та тригери, що й вхідні, для кореляції між ввід/виводом і кращого аналізу результатів.

DAQ-пристрої на різних шинах пропонують різні способи досягнення цього. Техніки синхронізації зазвичай поділяють на сигнал-орієнтовані або час-орієнтовані.

Сигнал-орієнтовані техніки забезпечують найточнішу синхронізацію між пристроями, але можуть ускладнити кабельне з'єднання. Таймінгові сигнали, включаючи сигнали годинника та імпульси тригерів, передаються напряму через фізичний кабель.

Час-орієнтовані техніки спрощують синхронізацію між пристроями, забезпечуючи точну синхронізацію без додаткового обладнання чи кабелів. У такій системі кілька пристроїв у мережі, наприклад, Ethernet, синхронізують свої годинники з одним загальним джерелом часу.

Одна з популярних технологій час-орієнтованої синхронізації — Time Sensitive Networking (TSN). TSN — це оновлення стандарту Ethernet для потреб вимірювальних і керувальних систем. Деякі DAQ-пристрої підтримують підмножину стандарту TSN, відому як 802.1AS, яка забезпечує точну синхронізацію (<1 мкс) через стандартний Ethernet-кабель на відстані до 100 метрів.

Пристрої, які підтримують TSN або його підмножину, включають певні моделі CompactDAQ та інші.

Серед багатьох варіантів шин та формфакторів, найпоширеніші для систем на основі ПК включають:

- PCI та PCI Express;
- USB;
- PXI та PXI Express;
- Ethernet.

USB забезпечує недороге та просте підключення між DAQ-пристроями та ПК. USB 2.0 має максимальну теоретичну пропускну здатність 60 МБ/с, яку ділять усі пристрої, підключені до одного контролера USB. USB-пристрої є латентними та недетермінованими. Це означає, що передача однопозиційних даних може не відбуватися точно у потрібний момент, і тому USB не рекомендується для застосувань із замкненим контуром, таких як PID-контроль. Однак USB має кілька характеристик, які роблять його зручнішим, ніж внутрішні шини ПК. USB-пристрої можна гарячо замінювати, а також вони підтримують функцію plug-and-play, завдяки якій ПК автоматично розпізнає новий пристрій і, якщо є відповідний драйвер, встановить його.

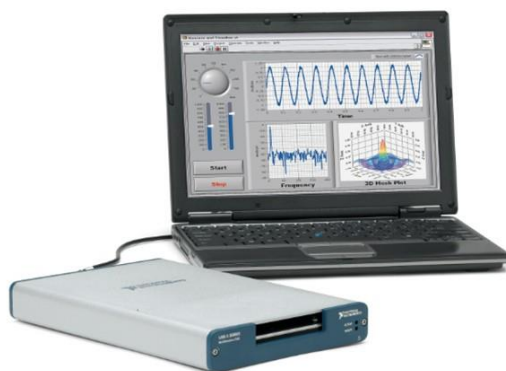


Рисунок 3.3 – USB DAQ

PXI об'єднує настільні ПК-системи та висококласні системи VXI і GPIB. PXI Systems Alliance, до якої входить понад 200 учасників, підтримує цей відкритий стандарт і в 2006 році затвердила специфікацію PXI Express для впровадження технології передачі даних PCI Express на платформу PXI. На основі CompactPCI, PXI включає розширення для приладів та суворіші специфікації на рівні системи, що забезпечують відкритий і високопродуктивний стандарт для вимірювань та автоматизації. Переваги систем DAQ на основі PXI включають міцний корпус, який витримує жорсткі промислові умови, модульну архітектуру, що дозволяє вміщувати кілька пристроїв у тому ж просторі, що й один автономний інструмент, та можливість розширення системи.

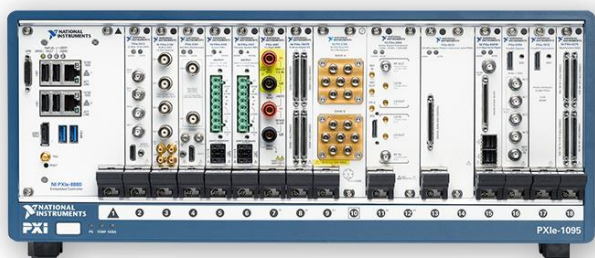


Рисунок 3.4 – PXI DAQ

Ethernet є основою майже всіх корпоративних мереж у світі, а отже, є широко доступною. Як шина DAQ, Ethernet ідеально підходить для портативних або розподілених вимірювань на відстанях, що перевищують 5 м, які обмежені для USB-кабелю. Один кабель Ethernet може простягатися на 100 м без необхідності використання концентратора, комутатора або повторювача. Деякі пристрої DAQ на основі Ethernet використовують стандарт TSN (802.1AS) для простої синхронізації на основі часу між пристроями за допомогою звичайного Ethernet-кабелю.



Рисунок 3.5 – Ethernet DAQ

Після вибору DAQ-пристрою важливо підібрати правильний комп'ютер для вашого застосування. Комп'ютер може бути найважливішою частиною вашої системи збору даних. Він забезпечує гнучкість у порівнянні з традиційними автономними системами, оскільки містить DAQ-пристрій, запускає програмне забезпечення для керування пристроєм, аналізує вимірювання та зберігає результати.

Майже кожен комп'ютер має три основні компоненти, які впливають на можливості управління даними: процесор, оперативну пам'ять (RAM) та жорсткий диск.

Процесор — це частина комп'ютера, яка інтерпретує та виконує інструкції; його можна вважати "мозком". У більшості нових комп'ютерів процесори є двоядерними або чотирядерними, що означає, що комп'ютер може використовувати два або більше незалежних процесорів (так званих "ядер") для читання та виконання програмних інструкцій.

Обчислювальна потужність комп'ютера також залежить від оперативної пам'яті (RAM), розміру жорсткого диска та швидкості процесора. Більше оперативної пам'яті підвищує швидкість комп'ютера та дозволяє запускати більше програм одночасно. Більший обсяг жорсткого диска дає можливість зберігати більше даних. Нарешті, швидші процесори забезпечують швидшу роботу додатків.

Загалом, чим швидше, тим краще, але швидкість процесорів різних брендів може бути не еквівалентною. Якщо вам потрібно аналізувати або зберігати дані, отримані вашим застосунком, обчислювальна потужність є ключовою характеристикою, яку слід враховувати при виборі комп'ютера.

Портативність є надзвичайно важливою, якщо ви часто переміщуєтеся між різними застосунками або локаціями. Наприклад, портативний комп'ютер є необхідним для проведення вимірювань у польових умовах та повернення до лабораторії для аналізу даних. Портативність також важлива, якщо вам потрібно моніторити застосунки в різних місцях.

Два фактори, які слід враховувати при оцінці портативності, — це розмір і вага пристрою (при цьому слід пам'ятати, що легші ПК можуть мати нижчу продуктивність). Якщо вам потрібен потужний комп'ютер, але ви повинні проводити віддалені вимірювання, розгляньте можливість побудови розподіленої системи збору даних (DAQ). У цьому випадку вимірювальна система може бути розміщена в польових умовах через Ethernet, а ваш комп'ютер залишатиметься в безпеці у контрольній кімнаті або лабораторії.

Міцність може бути вирішальним фактором, якщо ви моніторите свій застосунок в екстремальних умовах. Робочі умови, такі як температура під час роботи та зберігання, відносна вологість і максимальна висота роботи та зберігання, визначають міцність комп'ютера. Звичайні ПК із серійного виробництва не призначені для витримування умов промислового середовища.

Типові характеристики включають робочу температуру від 50 °F до 95 °F (10 °C до 35 °C), температуру зберігання від -13 °F до 113 °F (-25 °C до 45 °C), висоту роботи до 10,000 футів (3,048 м) і висоту зберігання до 15,000 футів (4,572 м). Комп'ютери зі специфікаціями, що перевищують ці значення, вважаються міцними.

При проектуванні системи враховуйте навколишнє середовище. Якщо сильні вібрації або коливання температури можуть призвести до втрати критичних даних, можливо, варто інвестувати в міцний або промисловий ПК.

Модульність комп'ютера є важливим фактором, якщо ви розглядаєте майбутні застосунки або працюєте над кількома проектами. Модульність описує ступінь, до якого можна розділяти й комбінувати компоненти системи. Це дозволяє змінювати та адаптувати систему до поточних потреб, планувати майбутнє розширення, а також оновлювати окремі компоненти без необхідності купувати всю систему заново.

Наприклад, у модульному настільному ПК із слотами PCIe можна встановити новий жорсткий диск, якщо потрібно більше місця, або додати пристрій збору даних із швидшим аналого-цифровим перетворювачем, якщо потрібна більша швидкість вибірки. Ноутбуки й планшети забезпечують портативність, але вони більш інтегровані, що ускладнює їхнє оновлення.

Операційна система (ОС) є важливим фактором при виборі комп'ютера для збору даних (DAQ). Найпоширенішою загальнопризначеною ОС є Windows, але для застосунків збору даних і управління може знадобитися більш спеціалізована ОС.

RTOS (операційна система реального часу) здатна працювати детерміновано, забезпечуючи виконання застосунків відповідно до точних вимог щодо часу. RTOS

є детермінованою, оскільки вона не визначає, який процес відбувається і коли; натомість, ви задаєте порядок і час виконання процесів, що дає вам більше контролю над вашим застосунком і дозволяє виконувати операції швидше, ніж у недетермінованій ОС. Це особливо важливо в застосунках управління, де необхідно віддавати пріоритет критично важливим завданням над іншими.

Хоча вам може здаватися, що програмне забезпечення драйвера не варте уваги при виборі пристрою збору даних (DAQ), драйвер може стати одним із найважливіших факторів, які впливають на час розробки та продуктивність пристрою.

Драйвер забезпечує комунікаційний шар між апаратними пристроями та програмним забезпеченням застосунків, надаючи доступ як до високорівневих функцій для швидких вимірювань, так і до низькорівневого контролю для точного налаштування складних завдань.

Ви можете обрати будь-яку операційну систему (ОС), Windows, macOS або Linux, проте кожна з яких має свої переваги для різних завдань, операцій і впроваджень. Кожна з цих ОС може мати різні версії, дистрибутиви або розробки для специфічних процесорів. Наприклад, Windows пропонує версії для 32-розрядних і 64-розрядних процесорів, а відкриті Linux-дистрибутиви включають сотні варіантів.

Кожен тип, реліз і версія ОС працюють по-різному і можуть бути або не бути взаємно сумісними. У результаті драйвери DAQ зазвичай не підтримують усі типи та версії ОС. Більшість драйверів DAQ працюють з версіями Windows, оскільки вони є найпоширенішими. Драйвер DAQ від NI, NI-DAQmx, підтримує більшість версій Windows і кілька варіантів Linux.

Якщо ви використовуєте іншу ОС, переконайтеся, що драйвер DAQ-системи підтримує її, перш ніж обирати пристрій DAQ. Як правило, інформацію про підтримку ОС і версій можна знайти у файлах README драйвера.

Ступінь інтеграції драйвера із програмним забезпеченням може бути різною. У центрі кожного драйвера знаходиться бібліотека (часто DLL), яка керує взаємодією з апаратним забезпеченням DAQ. Зазвичай, бібліотека постачається з

документацією та обгортками для різних мов програмування. Ці обгортки є тонкими шарами коду, які перетворюють функції бібліотеки на сумісний інтерфейс для певної мови програмування.

У ідеальному сценарії драйвер забезпечує рідну інтеграцію з вашим програмним забезпеченням. У такому випадку драйвер переписаний під рідну мову, що покращує продуктивність і забезпечує більш безшовний досвід, адже функції та документація інтегровані безпосередньо у програмне забезпечення.

Іноді для вашої мови може не бути готової обгортки, або вона може взагалі бути відсутньою, тому вам доведеться писати її самостійно. Під час оцінки DAQ-системи перевірте, які мови підтримує драйвер, і, якщо можливо, ознайомтеся з документацією для цієї мови. Ідеально, якщо драйвер забезпечує повну функціональність для різноманітного програмного забезпечення.

Можливо, у майбутньому вам знадобиться оновити пристрій до більш високих технічних характеристик або додати нові вимірювання. Деякі драйвери DAQ створені для роботи лише з одним пристроєм, тоді як інші розроблені для підтримки широкого спектра пристроїв.

Драйвери, орієнтовані на один пристрій, зазвичай легші та простіші за драйвери, які працюють із багатьма пристроями. Хоча такі драйвери спочатку виконують поставлені завдання, додавання нового пристрою або заміна існуючого може вимагати значного програмування для інтеграції нового драйвера. Інтерфейс програмування нового драйвера може бути організований інакше, що призведе до значних змін у коді.

Натомість драйвери, які підтримують широкий спектр пристроїв, легше масштабуються для додаткової функціональності або нових пристроїв. Інтерфейс програмування в таких драйверах є послідовним для всіх пристроїв, тому додавання нового пристрою стає майже "замінною операцією", яка потребує мінімальних або взагалі жодних змін у коді. Такі драйвери також можуть підтримувати додаткові функції, які спрощують синхронізацію та комбінування вимірювань із декількох пристроїв.

ВИСНОВКИ

Віртуальні вимірювальні системи (ВВС) стали невід'ємною частиною сучасних технологій завдяки їхній універсальності, адаптивності та високій ефективності. У порівнянні з традиційними приладами, ВВС дозволяють значно підвищити продуктивність і точність вимірювань, зменшити витрати на обладнання та інтегрувати різні пристрої у єдину систему. Розвиток таких систем особливо важливий в умовах стрімкого зростання обсягів даних і складності технічних завдань. Актуальність теми обумовлена необхідністю забезпечення високих стандартів якості вимірювань у науці, промисловості та інших сферах.

Основою ВВС є комбінація апаратних і програмних компонентів. Апаратна частина зазвичай представлена платами збору даних (DAQ), які можуть бути аналоговими, цифровими чи комбінованими, а також вимірювальними перетворювачами (АЦП, ЦАП). Такі компоненти забезпечують точність збирання даних, їх цифрову обробку та формування керуючих сигналів. Окремо варто виділити роль вбудованих процесорів та інших апаратних модулів для обробки сигналів, які дозволяють досягати високої продуктивності та знижувати навантаження на основний процесор системи.

Програмна частина є центральним елементом ВВС, оскільки вона забезпечує не лише обробку, аналіз і візуалізацію даних, але й повноцінну інтеграцію апаратної складової. Серед найбільш відомих інструментів для розробки та візуалізації віртуальних вимірювальних інструментів можна виділити LabVIEW, яке дозволяє легко налаштовувати інтерфейс користувача, інтегрувати алгоритми аналізу даних та управляти пристроями в режимі реального часу. Програмне забезпечення також забезпечує автоматичне калібрування системи, усуває вплив зовнішніх факторів на точність вимірювань і підтримує стандарти обміну даними.

Технічні характеристики комп'ютерів, що використовуються у ВВС, мають відповідати потребам роботи з великими обсягами даних і забезпечувати можливість паралельної обробки.

Інтеграція ВВС із базами даних та глобальними мережами, такими як Інтернет, значно розширює функціонал цих систем. Використання хмарних технологій дозволяє виконувати складний аналіз та зберігати дані централізовано, звільняючи ресурси локальних комп'ютерів. Крім того, це сприяє віддаленому доступу до вимірювальних систем і управління ними з будь-якої точки світу.

Розвиток штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові можливості для вдосконалення ВВС. Застосування ШІ дозволяє системам автоматично виконувати калібрування, знаходити похибки і адаптуватися до нових умов роботи, підвищуючи точність і ефективність вимірювань. Інтелектуальні алгоритми аналізу даних у реальному часі стають стандартом для сучасних ВВС, що дозволяє досягати значно більш високих результатів навіть у складних технічних задачах.

ВВС продовжують активно розвиватися, демонструючи перспективи у збільшенні точності, швидкості обробки даних, інтеграції нових технологій і вдосконаленні зручності використання. Це робить їх незамінними в багатьох галузях, забезпечуючи оптимальне співвідношення між функціональністю, зручністю і вартістю систем.

Віртуальні вимірювальні системи є інноваційним рішенням у сфері метрології, яке розширює можливості застосування комп'ютеризованих технологій. Їх інтеграція з ПК потребує врахування ряду технічних і метрологічних аспектів, які забезпечують надійність і точність вимірювань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Data acquisition system – the complete guide. *logic-fruit*. URL: <https://www.logic-fruit.com/blog/daq/data-acquisition-system-daq-guide/> (date of access: 05.07.2024).
2. Development of virtual measuring equipment for control systems. *journals*. URL: https://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech/article/view/226190/226336 (date of access: 05.11.2024).
3. NI whitepaper – the complete guide to building a measurement system. *yottavolt*. URL: <https://www.yottavolt.com/solutions/test-and-measurement-solutions/resources/the-complete-guide-to-building-a-measurement-system/> (date of access: 07.11.2024).
4. The complete guide to building a measurement system. *yottavolt*. URL: <https://www.yottavolt.com/solutions/test-and-measurement-solutions/resources/the-complete-guide-to-building-a-measurement-system/> (date of access: 05.07.2024).
5. Virtual instrumentation using labview. *mindmajix*. URL: <https://mindmajix.com/labview/virtual-instrumentation-using-labview> (date of access: 05.11.2024).
6. Virtual instrumentation. *ni*. URL: <https://www.ni.com/en/shop/labview/virtual-instrumentation.html> (date of access: 05.11.2024).
7. Осцилографи та методи вимірювання радіотехнічних величин: навч. посібник / Ю. Я. Бобало, Л. А. Недоступ, М. Д. Кіселичник, О. В. Надобко. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 88 с.
8. Програмне забезпечення інформаційно-вимірювальних технологій : навчально-методичні рекомендації до проведення практичних та лабораторних занять / упоряд. К. О. Черноіваненко ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 64 с.
9. Проєктування комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем. Конспект лекцій / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Г. Здоренко, Н. М. Защепкіна, С. В. Барилко, Г. І. Войченко, С. М. Лісовець, О. М. Маркіна. – Електронні текстові дані– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 262 с.

10. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Єременко та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / 2-е вид., перероб. і доп. – К.: Ун-т новітніх технологій; НАУ, 2017. – 496 с.
11. Створення віртуальних приладів в середовищі labview. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/9b30c2bd-db73-47b4-8f3e-ccf4eefe37fc/content> (дата звернення: 05.07.2024).
12. Аналізатори спектру і сигналів. Який обрати?. inkotel. URL: https://inkotel.com.ua/ua/analizatory-spektra-i-signalov-kakoj-vybrat/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 29.12.2024).
13. Аналізатори спектру sea. URL: https://www.sea.com.ua/ua/izmeritelnye_pribory/analizatori-spektru/?srsltid=AfmBOorJNenH7dLSEpvJnZFEIeWz9oyrpNvGZp7z9FDbAzwY-etRkLdg (дата звернення: 29.12.2024).
14. Види і типи осцилографів, їх призначення та застосування. inkotel. URL: <https://inkotel.com.ua/ua/vidy-i-tipy-ostsillografov-ih-naznachenie-i-primenenie/> (дата звернення: 29.12.2024).
15. ВІРТУАЛЬНИЙ ОСЦИЛОГРАФ ЯК ЗАСІБ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ МЕТРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ. pednauk. URL: <https://pednauk.cusu.edu.ua/index.php/pednauk/article/view/1602/1557> (дата звернення: 29.12.2024).
16. Віртуальні контрольні-вимірювальні прилади і системи. *magnolia*. URL: [https://magnolia.lviv.ua/wp-content/uploads/2024/04/Virtualno kont vymiriur. _zmist.pdf](https://magnolia.lviv.ua/wp-content/uploads/2024/04/Virtualno_kont_vymiriur._zmist.pdf) (дата звернення: 05.11.2024).
17. Особливості метрологічного забезпечення віртуальних засобів вимірювань. media. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/310918-metrological-assurance-features-of-virtual-measuring-instruments.pdf>?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 29.12.2024).
18. Порівняння і вибір цифрового осцилографа. inkotel. URL: <https://inkotel.com.ua/ua/sravnenie-i-vybor-tsifrovogo-ostsillografa/> (дата звернення: 29.12.2024).
19. Пропозиції з удосконалення технічних характеристик аналізаторів спектру сигналів. URL: <https://sit.nuou.org.ua/article/view/306969/301700> (дата звернення: 29.12.2024).

20. Різновиди аналізаторів спектру: поради щодо вибору. zolochiv. URL: https://zolochiv.net/riznovydy_analizatoriv_spektru_porady_shchodo_vyboru/ (дата звернення: 29.12.2024).
21. Термінологія аналітичного вимірювання. Вступ до VIM 3: за ред. В. Барвік та Е. Прічард: переклад першого видання настанови Eurachem 2011 р. – К.: ТОВ "Юрка Любченка", 2015. – 82 с.