

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра
**Аналого-цифрова система контролю руху системи зі складною
динамікою**

студента гр. ЕІз-71к

Д.В. Луцика

Науковий керівник,
ст. викладач, к.т.н.

В.І.Васильєв

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є аналіз відомих методів контролю інформації о параметрах руху систем зі складною динамікою і перетворення її в зручну для комп'ютеризованої обробки форму.

Мета роботи полягає у дослідженнях сучасних методів перетворення природно аналогової інформації стану системи, наприклад, параметрів температури, положення у просторі, швидкості руху, тиску тощо, перетворення її для обробки комп'ютеризованими методами для забезпечення автоматизованих технологій виробництва.

У результаті проведених досліджень розроблені рекомендації по вибору типу аналого-цифрового перетворення, у відповідності з вимогами технології по швидкості, точності перетворення. Серед сучасних технічних рішень в області способів і алгоритмів аналого-цифрового перетворення існує ряд рішень і їх промислових реалізацій електронної промисловості, що дає проектувальникам можливість застосовувати їх або безпосередньо в проектуємих системах, або із простими пристроями узгодження і сполучення, наприклад із стандартними сигналами комп'ютерними інтерфейсами. Також в деяких випадках виникають вимоги застосування деяких сигналів в аналоговому форматі. Наприклад, в сучасних системах керування електроприводами використовуються методи підпорядкованого, багатоканального, багатогоординатного керування. В таких випадках виникає потреба визначення похідних і безпосередній їх вплив на природно аналогову систему.

Робота викладена на 32 сторінках, у тому числі включає 12 рисунків, ___ таблиць, список цитованої літератури із 22 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АНАЛОГОВІ І ЦИФРОВІ СИГНАЛИ, АЦП І ЦАП, ЧАС ВИБІРКИ, БІТОВО РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ, АЛГОРИТМ АЦ-ПЕРЕТВОРЕННЯ.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 ПРИНЦИПИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ	4
1.1 Рекомендації по настройці частоти вибірки	4
1.2 Фільтрація-згладжування	7
1.3 Бітова роздільна здатність	8
1.4 Мультиплексування або один АЦП на канал.....	10
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ АЦП	11
2.1 АЦП послідовного наближення (РПП)	12
2.2 Дельта-сигма АЦП ($\Delta\Sigma$)	13
2.3 АЦП подвійного інтегрування	15
2.4 Паралельні АЦП.....	16
2.5 Конвеєрні АЦП	18
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ АЦП	20
3.1 Прецизійні АЦП.....	20
ВИСНОВКИ	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	29

ВСТУП

Сучасний контроль параметрів стану автоматизованих систем використовує різні типи сенсорних приладів, які в більшості є аналоговими приладами, що перетворюють фізичну величину в електричну. Сучасні автоматизовані системи побудовані на основі мікроконтролерних мікрокомп'ютерних систем. Тому для узгодження сигналів отриманих з датчиків з цифровою електронікою засобів обробки використовуються аналого-цифрові перетворювачі, які моделюють аналогові моделі контролюємих параметрів цифровими паралельними або послідовними кодами, у вигляді двійкових змін струмів, напруг, часових параметрів, частот, тощо. Цифрова передача і обробка інформації має переваги над традиційними аналоговими системами по точності, завадостійкості, а саме головне – комп'ютеризовані системи гнучкі і більш зручні до удосконалень в процесі експлуатації. В якості датчиків в залежності від умов і параметрів використовуються різні типи перетворювачів будь яких фізичних величин в сигнали-моделі електричної природі. Наприклад, напруга, струм, опір, частота змінного струму тощо. Деякі сигнали безпосередньо приймають участь в керуванні системою, інші потребують перетворення з аналогової в іншу, наприклад, цифрову двійкову форму у вигляді паралельних (сукупність двійкових розрядів) або послідовних (по струмової петлі) кодів, в залежності від інтерфейса, якій використовує комп'ютеризована система.

При використанні цифрових датчиків переміщення, наприклад, фрикційних, фотоелектричних або магнітних перетворення здійснюється безпосередньо в цифровому форматі, на інтерфейс або безпосередньо на лічильник. Ще зручніше здійснюється АЦ перетворення інформації із застосуванням кодових шкал або дисків (з використанням спеціального коду Грея).

Впровадження сучасних цифрових і комп'ютеризованих технологій керування такими об'єктами вимагає від фахівців освоєння цієї області знань. Зокрема, навичок проектування систем з аналого-цифровим перетворенням і подальшою обробкою комп'ютерними методами.

РОЗДІЛ 1

ПРИНЦИПИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) є одним з основних елементів сучасних систем збору даних. Основне призначення АЦП в системі збору даних полягає в перетворенні підготовлених аналогових сигналів в потік цифрових даних, які обробляються системою збору даних для відображення, зберігання і аналізу.

1.1 Основні функції, технології, характеристики і призначення АЦП

Різні технології мають свої особливості, якими визначається їх сфера застосування. У разі АЦП характеризують:

1 Частота вибірки свідчить як швидко АЦП може перетворювати аналоговий сигнал в цифровий?

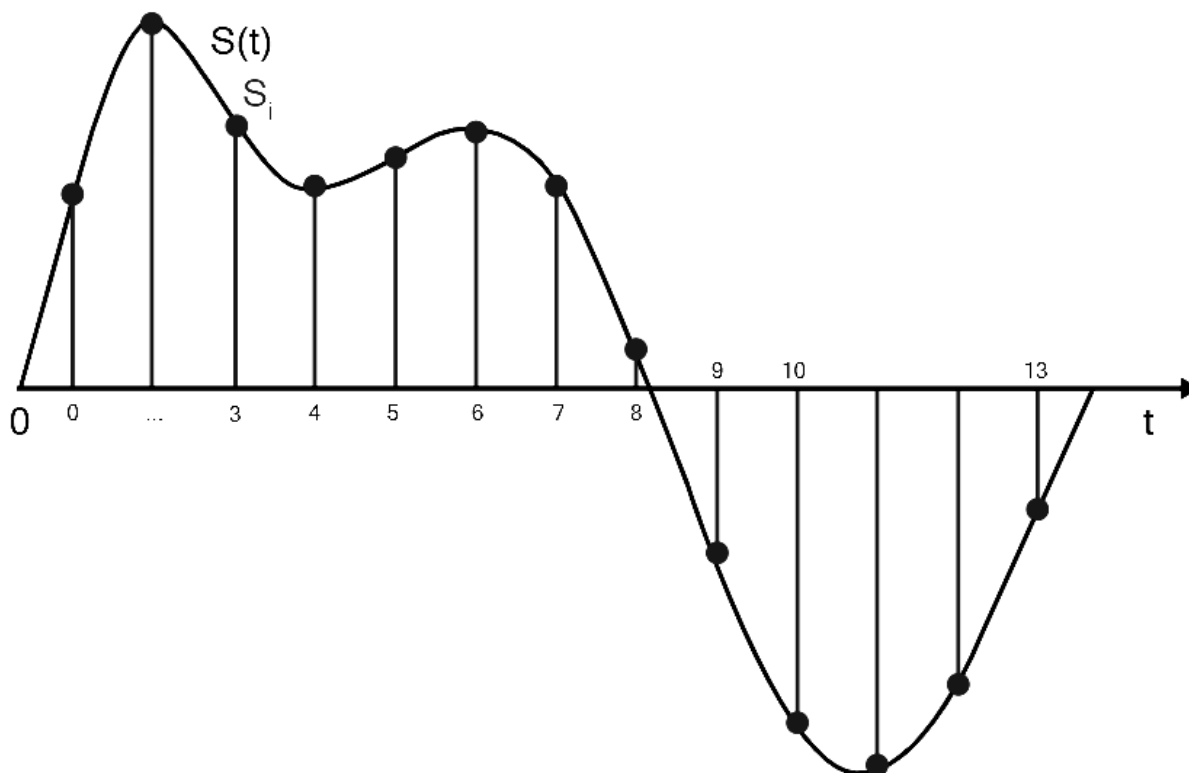
2 Бітова роздільна здатність свідчить з якою точністю АЦП може перетворювати аналоговий сигнал в цифровий?

Розглянемо кожен з цих базових характеристик докладніше.

Частота вибірки або частота дискретизації - це швидкість, з якою сигнали перетворюються з аналогових на цифрові. Вона не буває поганим чи гарним – все визначає сфера застосування. Наприклад, атмосферний тиск за кілька хвилин або годин майже не змінюється, а значить немає і необхідності вимірювати його більш ніж один раз в секунду. З іншого боку, якщо ви намагаєтеся виміряти радіолокаційну помітність, ваша частота вибірки – сотні мільйонів або навіть мільярдів вибірок в секунду.

Системи збору даних служать для вимірювання різних параметрів, наприклад, напруги і сили змінного струму, ударів і вібрації, температури, деформації, тиску і тому подібного. Сигналам і датчикам в діапазоні постійного струму потрібна частота вибірки в середньому до 200 тисяч в секунду (200 Квиб./С), а іноді і до мільйона (1 Мвиб./С).

Частота вибірки зазвичай називається віссю вимірювання T (час) або X .



Розуміння характеру сигналів і їх максимально можливих частот є важливою частиною точних вимірювань. Припустимо, ми вимірюємо вихідний сигнал акселерометра.

Якщо ми очікуємо, що він буде відчувати коливання з максимальною частотою 100 Гц, то згідно з принципом Найквіста-Котельникова необхідно, для запобігання втрат інформації, частоту вибірки обирати як мінімум в два рази більше. Але на практиці для отримання якісного сигналу краще встановлювати частоту вибірки в 10 разів більше. Тому в цьому випадку ми встановлюємо частоту вибірки 1000 Гц і виконуємо вимір. При цьому, досягнення точності приводить до втрат перетворення в часі.

Теоретично все як треба, але що, якщо частота сигналу при високій амплітуді не збільшилася? Якщо це так, то наша система не зможе точно виміряти або перетворити сигнал. Крім того, виміряні значення можуть виявитися зовсім невірними.

Щоб уявити собі спотворення через недостатню частоти вибірки, подивіться старий фільм про проїжджаючий вагон, або лопаті вертольоту коли камери ще знімали зі швидкістю 24 кадри в секунду: при різних швидкостях це може

виглядати так, як ніби колеса обертаються назад або ж взагалі не рухаються. Це несуттєво для кінематографії, але з точки зору науки, неможливо вважати, що колеса автомобіля обертаються назад, а швидко обертіві лопаті вертольота не рухаються.

При АЦП сигналів напруги важлива точна установка частоти вибірки (шагу квантування ΔT). Якщо прийняти занадто високе значення частоти, ми витратимо даремно обчислювальну потужність і в кінцевому підсумку отримаємо файли даних, які занадто великі і незручні для аналізу. Занадто низька частота вибірки, в свою чергу, породжує дві проблеми:

1. втрата інформації, тобто важливих компонентів динамічного сигналу при перетворенні;
2. отримання помилкових сигналів («паразитні шуми» якщо в системі не застосовується фільтрація-згладжування).

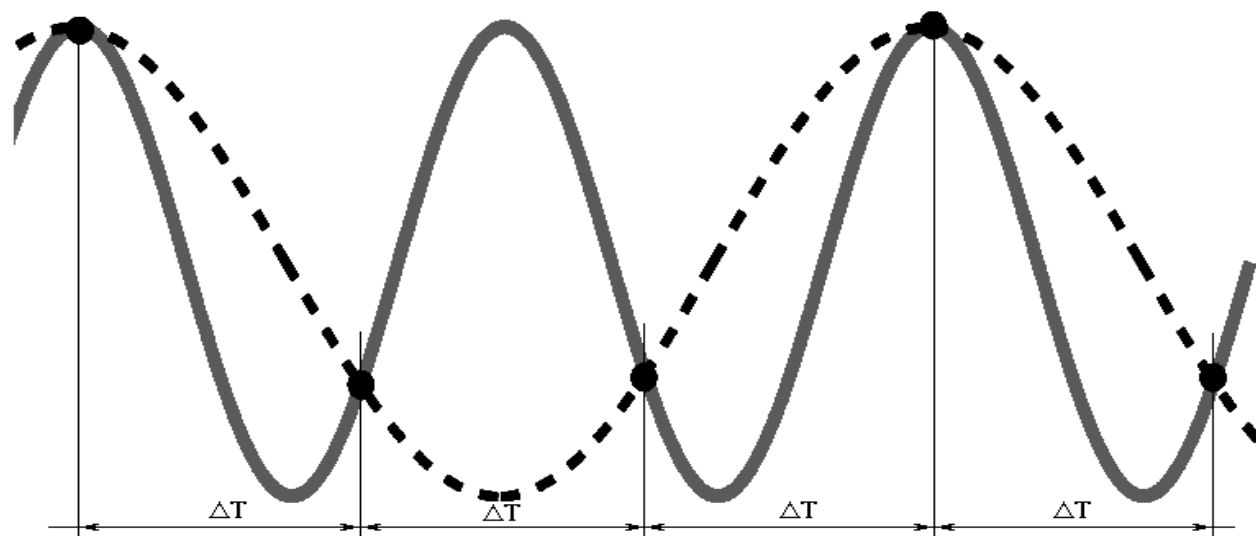


Рис. 1.1 Наочний приклад занадто низької частоти вибірки: вихідний сигнал і результат (в чорному кольорі) - помилковий сигнал (шум).

Також, по представлених нижче результатах експериментальних досліджень використання АЦП проведених при випробуваннях дослідного зразка системи автоматично регульованого запобіжного гальмування розробленої інститутом АУРП і виготовленої на НВО “Червоний металіст”. Система була призначена для

контролю руху врівноваженої багатоканатної ШПУ ЦШ4-4Д скіпового підйому при впливах 8-мі-ступеневого дискового гальма на ш.ім. 9-ї П'ятирічки ВО “Радянськвугілля” (Донбас), на рис. 1.2. Встановлені залежності між часом виміру сповільнення, квантування вимірів, спрацьовування гальм і заданою точністю АРЗГ ШПУ при визначеній кількості ступіней гальмування.

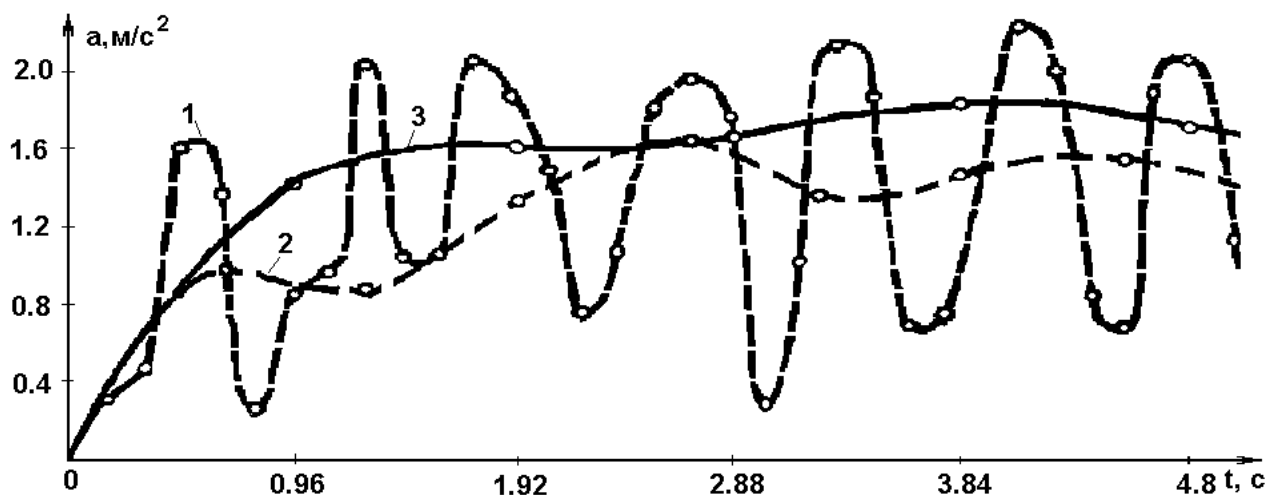


Рис. 1.2 Сімейство перехідних характеристик сповільнення $a_{\partial} = f(t)$, ШПУ ЦШ-4x4Д ш. ім. 9-ї П'ятирічки, при ступінчастому накладенні гальмового зусилля і різних інтервалах виміру (квантування). Відповідно для інтервалів квантування: 1- 0,16 с; 2 - 0,64 с; 3 - 0,96 с

1.2 Рекомендації по настройці частоти вибірки

Може здатися, що оптимальним рішенням буде збільшення частоти вибірки щодо сигналу, нехай навіть в десятки разів. Чи вирішить це проблему недостатньої вибірки? Чи вирішить, але створить іншу проблему - труднощі обробки, зберігання та аналізу різко збільшених обсягів даних. Можливо, ваші системи навіть не зможуть обробляти такі високі частоти.

Завдяки фільтрації-згладжування відпадає необхідність реєстрації величезної кількості непотрібних даних.

1.3 Фільтрація-згладжування

Можна в принципі уникнути спотворень через недостатню частоти вибірки шляхом фільтрації аналогових сигналів до передачі їх в АЦП. Зверніть увагу, що для захоплення цікавить частотного діапазону і раніше важливо встановити досить високу частоту вибірки, однак фільтрація-згладжування дозволяє виключити помилкові сигнали, не порушуючи цілісності вимірювань.

В ідеалі фільтрація-згладжування дає дуже плоску смугу пропускання і дуже різке зниження частоти Найквіста (близько половини частоти вибірки).

У згладжуючому фільтрі аналоговий фільтр нижніх частот зазвичай встановлюється перед АЦП. Це відсікає проходження сигналів, що перевищують половину максимальної смуги пропускання АЦП. Промислові 16-бітові АЦП послідовного наближення деяких виробників засновані на цьому принципі.

У 24-бітних дельта-сигма АЦП систем Dewesoft є додатковий фільтр, який автоматично перенастраивається в залежності від частоти вибірки, заданої користувачем. Такий всебічний підхід забезпечує найнадійніший на даний момент фільтрацію-згладжування в системах збору даних.

1.3 Бітова роздільна здатність

Частота вибірки, що розглянута в вище, відображається віссю часу (Т або Х) цифрового потоку даних, а бітова роздільна здатність - віссю амплітуди (Y).

В епоху початку збору даних 8-бітові АЦП були звичайним явищем. В наш час вже 24-бітові АЦП є стандартом для більшості систем збору даних, призначених для проведення динамічних вимірювань, а 16 біт вважаються мінімальною роздільною здатністю для сигналів в цілому. Існує ряд бюджетних систем, що використовують 12-бітові АЦП.

Оскільки кожен біт дозволу ефективно подвоює роздільну здатність перетворення, системи з 24-бітними АЦП забезпечують $2^{24} = 16777216$. Таким чином вхідний одновольтний сигнал можна розділити на більш ніж 16 мільйонів кроків по осі Y.

16 777 216 кроків для 24-бітного АЦП значно краще, ніж максимальні теоретичні 65 656 кроків для 16-бітного АЦП. Таким чином, чим вище роздільна

здатність, тим краще форма і точність хвильових функцій. Те ж саме стосується і до осі часу.

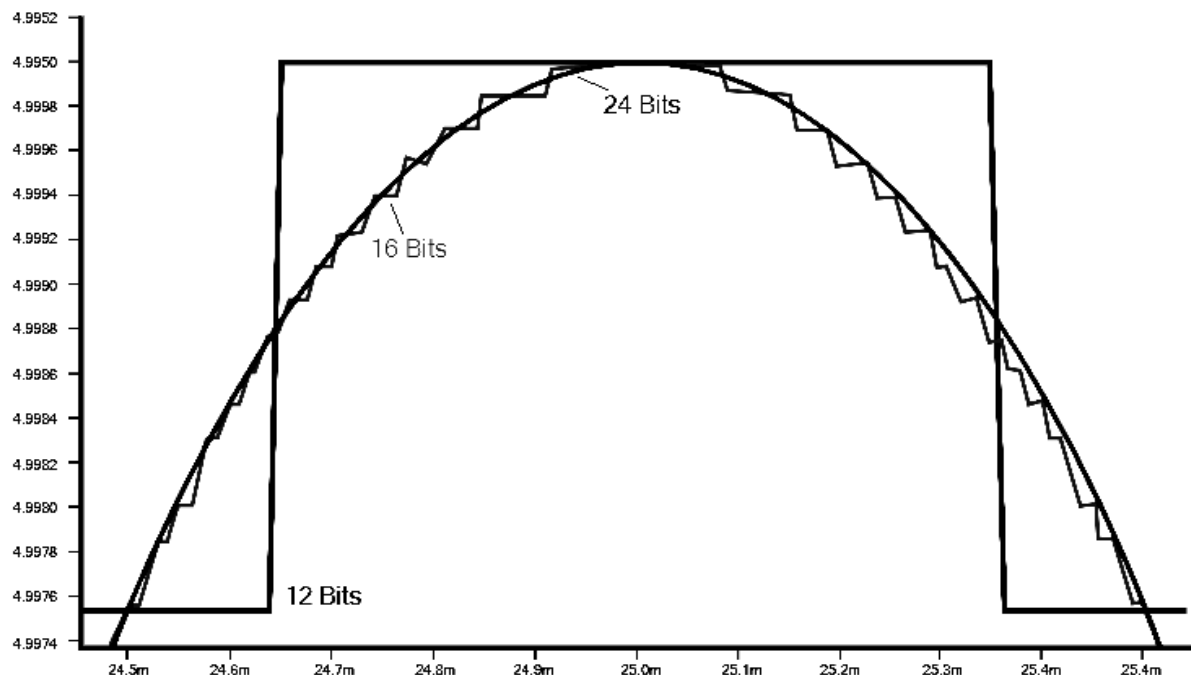


Рис.1.3 Порівняння: 24-бітова роздільна здатність і 16-бітове (східчаста траєкторія)

Технологія DualCoreADC®

Однією з давніх інженерних проблем з амплітудною віссю є динамічний діапазон. Наприклад: що робити, якщо у нас є сигнал, який зазвичай становить менше 5 вольт, але іноді може різко коливатися вгору? Якщо ми встановимо роздільну здатність АЦП в розрахунку на 0-5 В, то система буде повністю перевантажена, якщо сигнал перевищить цей рівень.

Одним з рішень було б задіяти два канали, налаштованих на різні коефіцієнти підсилення; і на один з них направляти дані 0-5 В, а на іншій - з більш високою амплітудою. Але це дуже неефективно: ми не можемо використовувати два канали для кожного вхідного сигналу - це вдвічі знизить продуктивність системи збору даних. Також ускладниться і затягнеться аналіз даних після кожного вимірювання.

Технологія DualCoreADC® від компанії Dewesoft вирішує цю проблему шляхом використання двох окремих 24-бітних АЦП на канал, а також автоматичного перемикання між ними в режимі реального часу і створення єдиного

безперервного каналу. Ці два АЦП завжди вимірюють високий і низький коефіцієнт посилення вхідного сигналу. Завдяки цьому досягається повне вимір діапазону датчика і запобігає відсікання сигналу.

Завдяки технології DualCoreADC® системам збору даних SIRIUS вдається досягти співвідношення «сигнал-шум» 130 дБ і більше 160 дБ в динамічному діапазоні. Це в 20 разів краще, ніж можуть забезпечити типові 24-бітові системи.

1.4 Мультиплексування або один АЦП на канал

Дуже часто в недорогих системах збору даних, таких як реєстратори даних або промислові системи управління, використовуються мультиплексні АЦ-плати, оскільки вони дешевші, ніж реалізація окремих чіпів АЦП на кожен вхідний канал.

У мультиплексній системі АЦП один аналого-цифровий перетворювач оцифровує відразу кілька аналогових сигналів. Це досягається шляхом мультиплексування аналогових сигналів по одному в АЦП.

Це більш економічний підхід, однак неможливо точно вирівняти сигнали по осі часу, оскільки тільки один сигнал може бути перетворений за один раз. Тому між каналами завжди існує часовий перекид. Якщо невеликі спотворення не критичні в даній сфері застосування, то це не обов'язково погано. Те ж саме відноситься і до аналогових пристроїв, що використовуються в системі: важливий вибір оптимального рішення з урахуванням функціональності і терміну служби.

Крім того, оскільки максимальна частота вибірки завжди ділиться на кількість зчитувальних каналів, максимальна частота вибірки на канал в мультиплексних системах зазвичай нижче, за винятком випадків, коли реєструється тільки один або невелике число каналів.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ АЦП

В даний час використовуються п'ять основних типів АЦП. Кожен займає свою нішу відповідно двійковому вирішенню і частоті вибірки. Розглянемо кожен тип докладніше, зокрема щодо принципів роботи і застосування. Кожен з них має свої переваги і недоліки і, отже, придатний для вирішення певних завдань.

Порівняльна таблиця основних типів АЦП

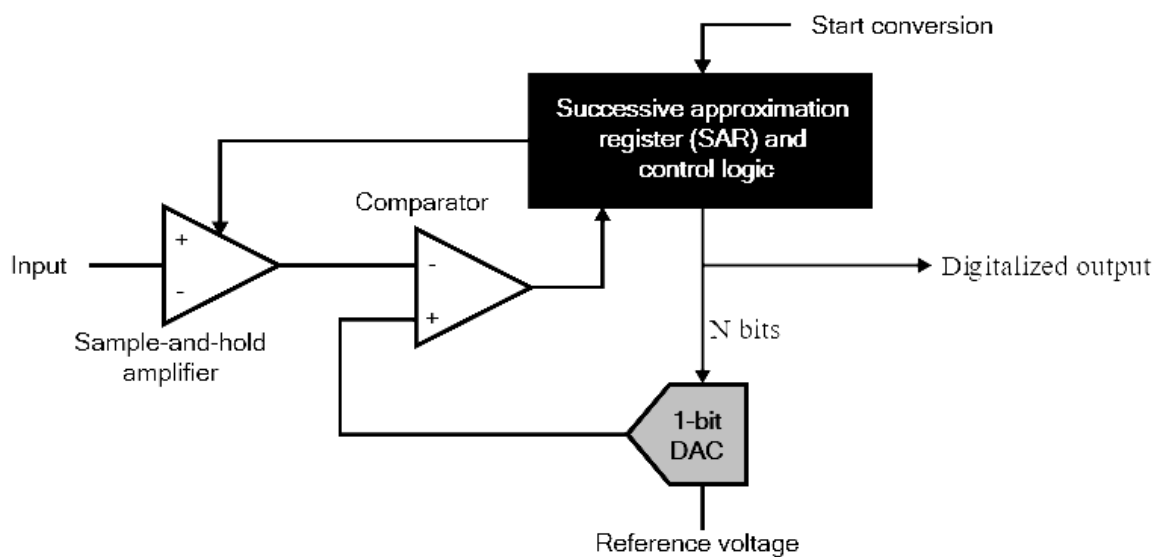
Спосіб АЦП	Переваги	Недоліки	Макс. розрешення	Макс. частота вибірки	Сфери застосування
1.Послідовне наближення (РПП)	Гарне співвідношення швидкості і роздільної здатності	Відсутність внутрішнього захисту від спотворення	18 біт	10 МГц	Збір даних
2. Дельта-сигма ($\Delta\Sigma$)	Висока динамічна продуктивність, вбудований захист від спотворення	Відставання на штучних сигналах	32 біта	1 МГц	Збір даних, шум і вібрація, аудіо
3. Подвійне інтегрування	Точний, недорогий	Низька швидкість	20 біт	100 Гц	Цифрові вимірювальні прилади
4.Конвеєрний	Дуже швидкий	обмежена роздільна здатність	16 біт	1 ГГц	Осцилоскопи
5.Паралельне	Найшвидший	Низька бітова роздільна здатність	12 біт	10 ГГц	Осцилоскопи

Розглянемо характеристики і призначення:

2.1 АЦП послідовного наближення (РПП)

Найпоширеніший в сфері обробки даних – це АЦП послідовного наближення (РПП). Він забезпечує чудовий баланс швидкості і дозволу і обробляє широкий спектр сигналів з відмінною точністю.

Цей перетворювач існує вже давно, тому моделі РПП стабільні і надійні, а чіпи відносно недорогі. Вони можуть бути налаштовані як для простих АЦП-карт, де один АЦП-чіп «спільно використовується» кількома вхідними каналами (мультиплексні АЦП-плати), так і для моделей, де кожен вхідний канал має свій власний АЦП для одночасної вибірки.



2.1 Блок-схема типового РПП

Аналоговий вхід більшості АЦП становить 5 В, тому майже всі інтерфейси формування сигналу перетворюють його однаково. Типовий АЦП послідовного наближення використовує схему вибірки і зберігання, яка приймає перетворене аналогове напруга від інтерфейсу перетворення сигналу.

Вбудована система обробки даних створює аналогове опорна напруга, рівне вихідному сигналу цифрового коду пристрою вибірки-зберігання. Обидва сигнали передаються в компаратор, який відправляє результат порівняння в РПП. Цей процес триває протягом n послідовних раз, причому n є бітовим дозволом самого АЦП, поки не буде знайдено значення, найближче до фактичного сигналу.

АЦП послідовного наближення не мають внутрішнього механізму фільтрації-згладжування, тому, якщо в системі збору даних такий компонент не передбачений

перед АЦП, при виборі занадто низької частоти вибірки помилкові сигнали (вони ж «перешкоди») будуть оцифровані АЦП РПП. Спотворення особливо проблематично, оскільки його неможливо виправити після оцифровки.

Немає способу виправити його за допомогою програмного забезпечення. Воно повинно бути припинено шляхом постійної вибірки на частоті, що перевищує частоту Найквіста всіх вхідних сигналів, або шляхом фільтрації сигналів перед і всередині АЦП.

Переваги:

- проста схема з одним компаратором;
- можлива більш висока частота вибірки в порівнянні з дельта-сигма АЦП;
- добре перетворює складні сигнали з природними і штучними формами.

Недоліки:

- необхідність зовнішньої фільтрації-згладжування;
- бітова роздільна здатність і динамічний діапазон обмежені в порівнянні з дельта-сигма АЦП.

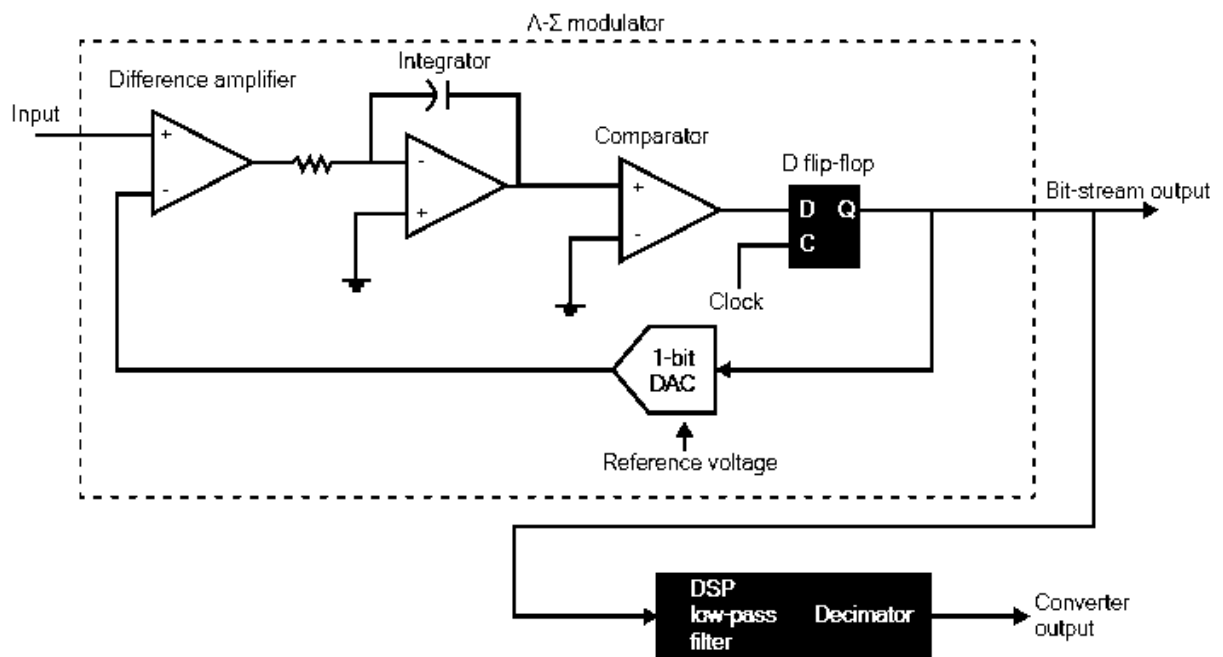
Застосування

Сфери застосування АЦП послідовного наближення, включають системи збору даних від недорогих мультиплексних до високошвидкісних систем з одним АЦП на канал, промислові системи контролю та вимірювання, візуалізацію КМОП-структур.

2.2 Дельта-сигма АЦП ($\Delta\Sigma$)

Більш нова технологія - це дельта-сигма АЦП, що використовують переваги технології ЦГЗ для підвищення дозволу амплітудної осі і зменшення високочастотного шуму квантування, властивого РПП.

Складні і потужні дельта-сигма АЦП ідеальні для динамічних вимірювань, які потребують якомога більшої дозволу амплітудної осі. Саме їх застосовують при роботі зі звуком і вібраціями, а також у багатьох передових системах збору даних. Також вони широко використовуються для високоточних промислових вимірювань.



2.2 Блок-схема типового дельта-сигма АЦП

Фільтр нижніх частот, реалізований в процесорі ЦГЗ, практично виключає шуми квантування, що забезпечує ставлення «сигнал-шум», близьке до ідеального.

Дельта-сигма АЦП працюють з багаторазовим перевищенням частоти вибірки. Потім ЦОС-процесор на основі обраної користувачем швидкості створює з цієї величезної вибірки потік даних з високою роздільною здатністю. Перевищення частоти вибірки може бути в сотні разів більше заданої. Так виходить потік даних дуже високою роздільною здатністю (зазвичай 24 біта), що дозволяє використовувати багатоступінчасту фільтрацію-згладжування, що практично виключає оцифровку хибних сигналів. Проте з тієї ж причини дельта-сигма АЦП зазвичай повільніше АЦП РПП.

Переваги:

- висока роздільна здатність вихідних даних (24 біта);
- перевищення частоти вибірки зменшує шум квантування;
- вбудована фільтрація-згладжування.

Недоліки:

- Обмеження до 200 тисяч вибірок/с;
- Ефективність обробки штучних сигналів нижче, ніж в РПП.

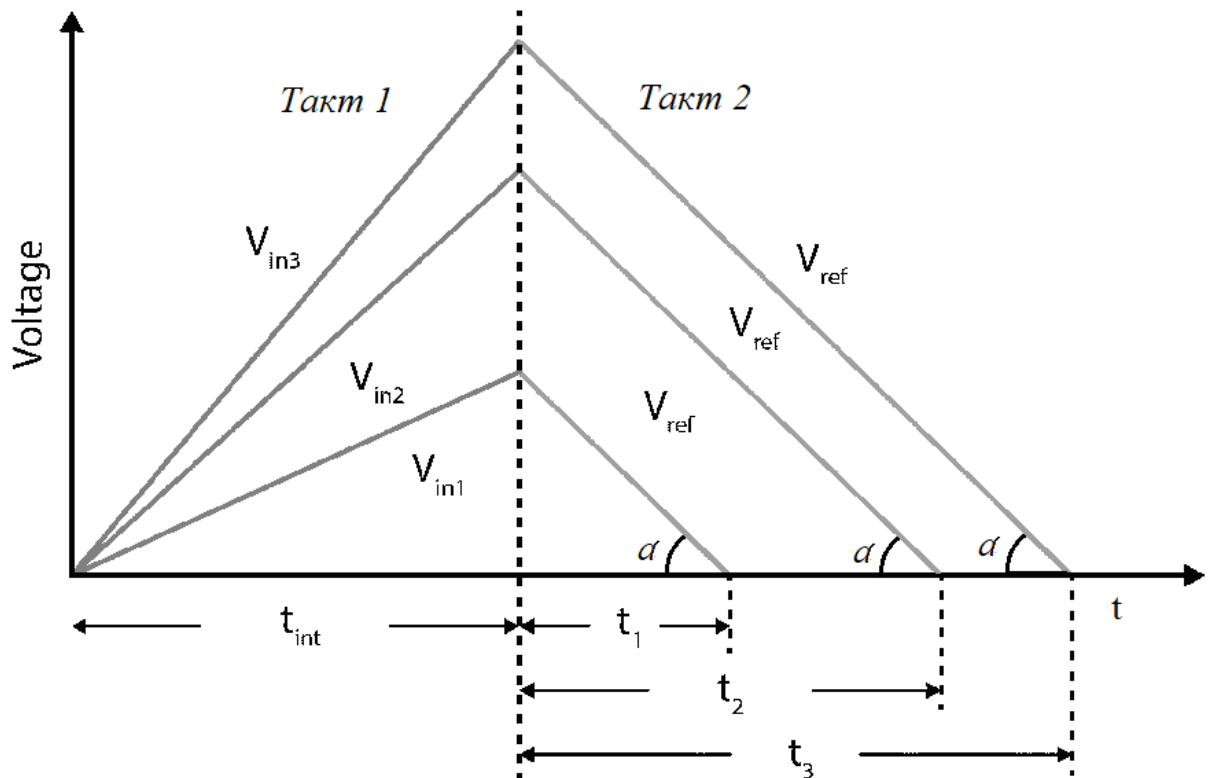
Застосування

Дельта-сигма АЦП застосовуються в системах збору даних, особливо шуму і вібрації; промислової балансуванню, аналізу вібрації крутіння і обертання, контролі якості електроенергії, точних промислових вимірах, аудіо- та голосового зв'язку і різних комунікаціях.

2.3 АЦП подвійного інтегрування (здвоєні)

Здвоєні АЦП точні, але повільні. Вони перетворюють аналогові дані в цифрові за допомогою інтегратора. Напруга що вимірюється підключається на вхід інтегратору де протягом якогось часу (перший такт) воно зростає. Потім вхід інтегратору переключають на еталонну напругу протилежної полярності і накопичений інтеграл считується до нуля (другій такт), при цьому за час зчитування заповнюється лічильник імпульсами часу. Після кінця считування система фіксує, яким була вхідна напруга, перетворена в кількість імпульсів на лічильнікі. Час зростання і спаду напруги - дві половини цілого, що і дало назву цій технології.

Процес послідовних наближень надійний, але повільний, так що доводиться шукати компроміс між дозволом і швидкістю, на відміну від РПП або дельта-сигма АЦП. В результаті здвоєні (або «інтеграторніе») АЦП застосовуються в ручних багатоцільових приладах, але не в системах збору даних.



2.3 Типовий інтегруючий підсилювач з компаратором, таймером і контролером

Переваги:

- Дуже точне вимірювання.

Недоліки:

- Довгий час перетворення через ітерацій підвищення і зниження.

Застосування

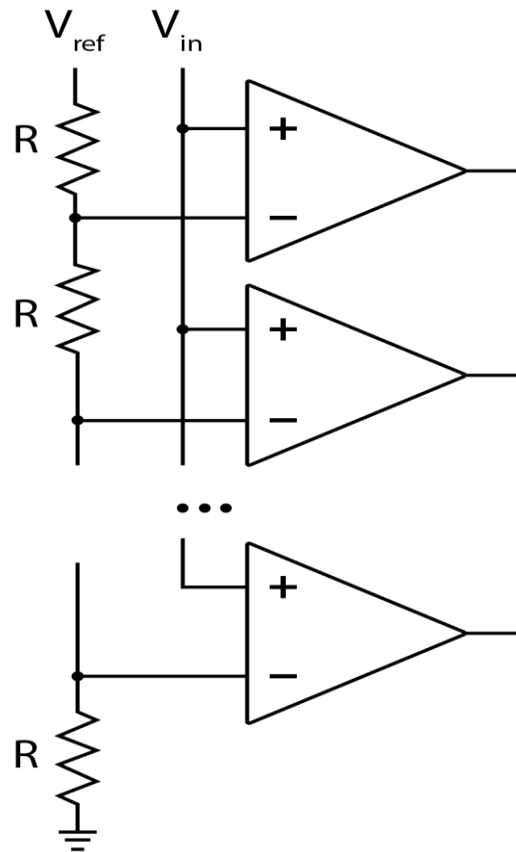
Здвоєні АЦП застосовуються в ручних і настільних багатоцільових приладах.

2.4 Паралельні АЦП

Паралельні АЦП дуже швидкі, тому їх зазвичай використовують, якщо потрібні максимально високі частоти вибірки. Вони перетворюють аналогові сигнали в цифрові, порівнюючи їх з еталонними значеннями. Більше еталонних значень - вище точність. Наприклад, якщо використовується паралельний АЦП з 10-бітовим дозволом, доведеться порівнювати вхідний аналоговий сигнал з 1024 еталонними значеннями. У разі 8-бітного дозволу - з 256 і так далі.

Для більш високої роздільної здатності потрібні більш енергоємні паралельні АЦП при одночасному зниженні частоти вибірки.

Серединою в цьому випадку є 8-бітова роздільна здатність. Паралельні АЦП можуть оперувати Гвиб./С зі збереженням 8-бітного дозволу.



2.4 Схема паралельного АЦП

переваги:

- Найшвидші з АЦП;
- Швидке перетворення без затримок.

недоліки:

- Енергоємність схеми зростає з кожним бітом;
- роздільна здатність фактично обмежена 8-бітовим.

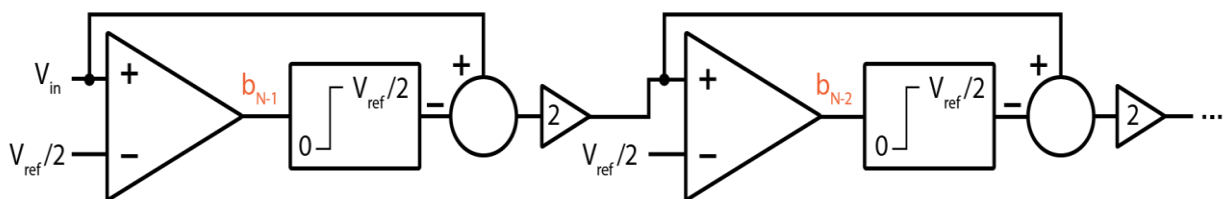
· застосування

Паралельні АЦП застосовуються в найшвидших цифрових осцилографах, надвисокочастотних вимірах, оптоволоконних технологіях, радіолокаційному виявленні цілі і в широкосмуговому радіо.

2.5 Конвеєрні АЦП

Якщо по умовами застосування потрібні частоти вибірки більше, ніж здатні забезпечити РПП і дельта-сигма АЦП, але менше, ніж надшвидкі паралельні, виходом будуть конвеєрні АЦП.

У попередньому розділі про паралельних АЦП пояснювалася причина роботи без затримок: компаратори фіксуються одночасно. Але для цього потрібно багато енергії, особливо коли для досягнення високого дозволу використовуються все більше і більше компараторів. У конвеєрному АЦП аналоговий сигнал не фіксується всіма компараторами одночасно, що розподіляє енергію, яка витрачається на перетворення аналогового значення в цифрове. Таким чином, флеш-компаратори «конвейерізуються» в квазіпоследовательний процес з 2-3 циклів. Перевага в тому, що при низькій енергоємності досягаються високі дозволу, але є два нюанси: а) частота вибірки не може бути такою ж високою, як у паралельних АЦП; б) з'являється затримка близько 3 циклів. Ці нюанси можна пом'якшити, але неможливо виключити.



2.5 Приклад конвейєрного АЦП

Цей вид АЦП часто використовується для випробувань з частотою вибірки в межах від 2-3 до 100 Мвіб./С (до 1 Гвіб./С). Якщо потрібні більш високі частоти вибірки, звертаються до паралельних АЦП. Роздільна здатність конвеєрних АЦП може досягати 16 біт при низьких частотах вибірки; при максимальних частотах

вибірки - 8 біт. Завжди завершуються компромісом між швидкістю і роздільною здатністю.

Переваги:

- Швидкість порівнянна з паралельним АЦП (і швидше РПП і дельта-сигма).

Недоліки:

- Затримка через послідовного «конвеєрного» перетворення;
- Максимальна частота вибірки обмежена двійковою роздільною здатністю.

Застосування

Конвеєрні АЦП використовуються в цифрових осцилографах, радіолокації, програмних радіостанціях, аналізатори спектра, для HD-відео, ультразвукової візуалізації, в цифрових приймачах, кабельних модемах і локальних мережах.

РОЗДІЛ 3.

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ АЦП У ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

В даному розділі розглянемо деякі застосування АЦП, виробництва ведучих в області електронної техніки компаній “Texas Instruments”, “Analog Devices”, “Linear Technologies”. Зокрема для деяких точних систем обробки даних.

3.1 Прецизійні аналого-цифрові перетворювачі.

Аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі є дуже поширеними функціональними вузлами в сучасній електроніці. Вони широко використовуються в побутовій електроніці (цифрові фотоапарати, контролер пральної машини), в промисловій електроніці, у військовій електроніці і в приладобудуванні.

У переважній більшості додатків досить перетворювачів низької (8-10 біт) або середньої (12-14 біт) роздільної здатності. Провідні виробники мікросхем поставляють на ринок багато десятків моделей як мікросхем відповідної розрядності, так і мікроконтролерів з АЦП І/АБО ЦАП на кристалі. Відповідно, провідні виробники промислової електроніки поставляють на ринок широку гамму недорогих аналого-цифрових і цифроаналогових приладів, виконаних як у вигляді модуля (зазвичай в стандарті cPCI), так і у вигляді модулів з будь-яким популярним інтерфейсом (RS-232, RS-485, Ethernet). Таким чином, розробник електронної системи має широкий вибір при необхідності введення або виведення аналогових величин в системі. Він може використовувати як готові прилади, так і вбудовувати в свої схеми відповідні мікросхеми.

Однак, існують додатки вимагають більш високого дозволу (16-20 біт) І/АБО точності. Електронна промисловість випускає мікросхеми перетворювачів високої розрядності, а провідні приладобудівні фірми, такі як National Instruments поставляють на ринок готові пристрої як аналого-цифрових, так і цифроаналогових перетворювачів (зазвичай в стандарті VXI або в переобранім оформленні). На жаль, у багатьох додатках використання готових приладів перетворювачів є досить проблематичним. Можна навести два приклади. У разі малогабаритного

хроматографа обсяг всієї електроніки менше єдиного АЦП в стандарті VXI (або приладового варіанти). У разі сучасного прискорювального комплексу кількість прецизійних аналого-цифрових і цифроаналогових каналів таке, що при використанні готових приладів вони внесуть помітний внесок у вартість всієї установки.

В обох наведених прикладах представляється доцільним не використовувати готові пристрої, а вбудовувати відповідні мікросхеми безпосередньо в розроблювану електроніку. Однак, реалізація високої роздільної здатності та, особливо, високої точності часто викликає у розробників електроніки труднощі не дивлячись на детальну документацію виробників мікросхем і наведені ними приклади включення. У статті розглядаються деякі типові проблеми, що виникають при побудові прецизійних перетворювачів, пропонується ряд схемотехнічних рішень і даються практичні рекомендації щодо реалізації аналого-цифрових перетворювачів з високою роздільною здатністю і високої точності.

Джерела живлення повинні забезпечувати короткочасну стабільність струму від 10^{-5} (основне поле і квадрупольні лінзи) до $10^{-3} \div 10^{-4}$ (коригувальні обмотки). Кількість таких джерел складає $300 \div 1000$, у залежності від установки. Таким чином, для управління магнітною системою потрібно кілька сотень прецизійних цифроаналогових перетворювачів і подвійну кількість аналого-цифрових каналів (для вимірювання струму в магнітному елементі і напруги на ньому).

Розглянемо побудову аналого-цифрового перетворювача, що забезпечує необхідні параметри.

Вимірювання з високою роздільною здатністю як на прискорювальних комплексах, так і в індустріальних системах, вимагають високого рівня придушення перешкод у вимірювачі. Спектр перешкод і наведень на сигнальні траси простягається від частот мережі живлення (50 Гц) до мегагерцових частот (перешкоди і наведення від різних імпульсних пристроїв). Для вимірювання постійних або квазіпостійні напружень з високою роздільною здатністю в умовах великих перешкод найбільш адекватними є мікросхеми дельта-сигма

перетворювачів. Вони забезпечують високу роздільну здатність, чудову лінійність, гарантовану точність (при відповідній схемотехніці), високий рівень придушення перешкод при невисокій ціні. Провідні виробники таких перетворювачів (Texas Instruments, Analog Devices, Linear Technologies) пропонують широку гамму перетворювачів, оптимізованих для різних додатків, але основні параметри цих мікросхем у всіх виробників цілком порівнянні. Автор вважає за краще моделі від Texas Instruments, але все сказане цілком можна віднести і до моделям інших виробників.

Для зменшення вартості вимірювальної системи розумно проектувати її багатоканальною. Крім того, практично всі сучасні мікросхеми АЦП обробляють сигнали в діапазоні $0 \div 5\text{В}$, а сигнали, які потрібно вимірювати, як більше вхідного діапазону мікросхеми, так і менше.

Отже, вимірювальний тракт крім власне мікросхеми АЦП, повинен включати в себе мультиплексор вхідних каналів і норміровач рівня сигналів. Нижче наводиться найпростіша схема вимірювального тракту, задовольняє описаним умовам. Це фрагмент схеми серійно виробленого вимірювача [3] з деякими спрощеннями, про які буде розказано пізніше.

Вимірювальний тракт включає в себе комутатор вхідних сигналів (MPC507), підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення (PGA204), аналого-цифровий перетворювач (ADS1210) і джерело опорного напруги (AD780). Вхідний сигнал в діапазоні $\pm 10\text{В}$ перетвориться в сигнал діапазону $0 \div 5\text{В}$, що потребується для мікросхеми АЦП, за допомогою резистивного дільника і входу Ref мікросхеми програмованого підсилювача. Ця ж мікросхема дозволяє підсилити слабкі сигнали (можливі коефіцієнти посилення 1, 10, 100 і 1000). Чого ж нам не вистачає в схемі

крім розв'язок в ланцюгах харчування, які, як правило, не малюються на схемі, щоб її не захащувати?

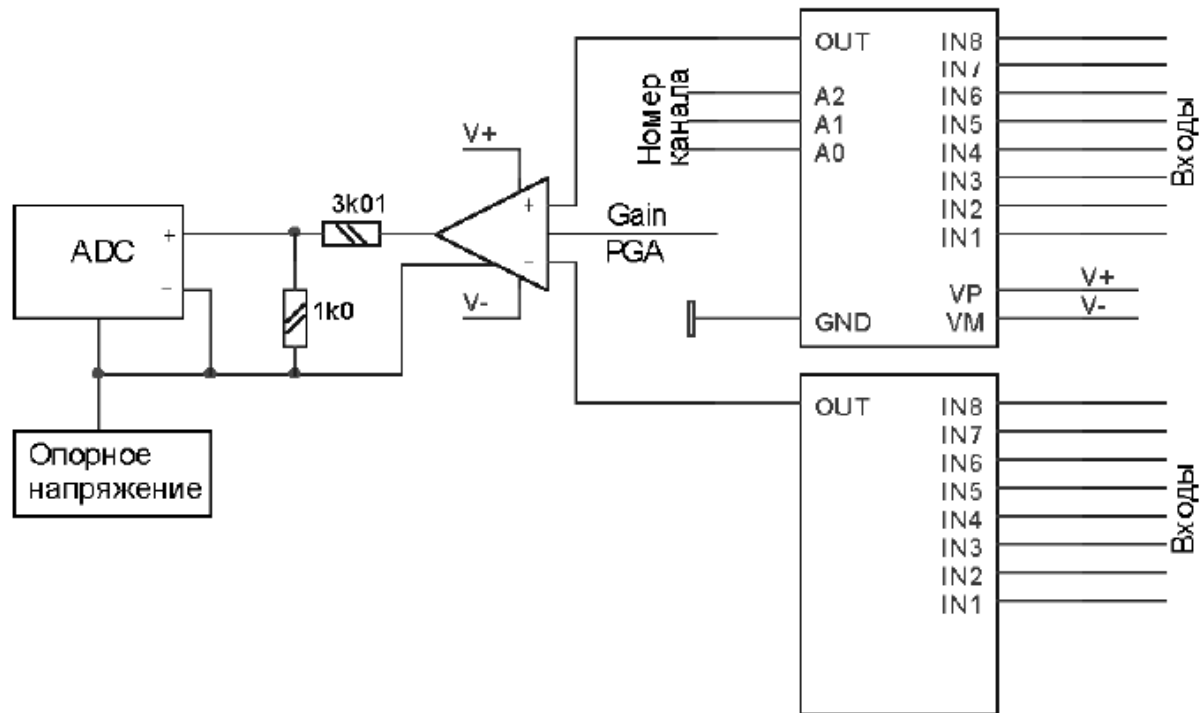


Рис.3.1 Схема вимірювального тракту.

Для початку слід згадати про брак деяких фільтруючих ємностей. Багато мікросхеми АЦП мають в своєму складі відключається вхідний повторювач напруги. При його використанні рівень мікросхема має дуже високий вхідний опір, однак при цьому зростає її рівень власних шумів і зменшується діапазон оброблюваного вхідного сигналу з $0 \div 5$ В до, наприклад, $0.1 \div 3.5$ В. Щоб уникнути збільшення рівня шумів і втрати вхідного діапазону, розумно відключити вхідний буфер мікросхеми. В цьому випадку ми стикаємося з іншим неприємним явищем - на вхід аналогового сигналу і вхід опорної напруги мікросхеми АЦП з частотою десятки-сотні кілогерц буде підключатися внутрішня ємність величиною кілька пикофарад. Це призводить до двох ефектів. По-перше, при зміні режиму мікросхеми (часу вимірювання, величини посилення і т.п.) змінюється вхідний струм, що призводить зміни сигналу приводиться на вхід мікросхеми. По-друге, короткі імпульси струму через цю ємність не можуть бути відпрацьовані повільними підсилювачами вхідного тракту і опорного джерела і, в залежності від

типів підсилювачів це призводить до різних наслідків (зазвичай у вигляді підвищеної нелінійності). Тому, при виключенні вхідного буфера мікросхеми слід ретельно "розв'язати" її входи, як сигнальний, так і вхід опорної напруги. При цьому утворюється фільтр низької частоти для вхідного сигналу з помітною постійною часу.

Існує ще одне про що нам слід подбати. Якщо в системі багато високочастотних імпульсних перешкод, вони, потрапивши на входи повільного підсилювача, можуть продетектированного і внести спотворення в вимірюваній напруги. Тому до наведеної схемою корисно додати фільтруючі RC-ланцюжка для придушення високочастотних перешкод. Ці ланцюжки можуть бути підключені або до вхідних ланцюгах, або "врізані" між виходами мультиплексора і входами підсилювача. Друге рішення є більш економічним, але впливає на час встановлення сигналу при перемиканні каналів.

Саме час підвести деякі проміжні підсумки. У нас вийшов багатоканальний вимірник постійної або низькочастотної напруги з високою роздільною здатністю. Нижче наводиться шумова характеристика вимірювача (при використанні мікросхем, згаданих вище).

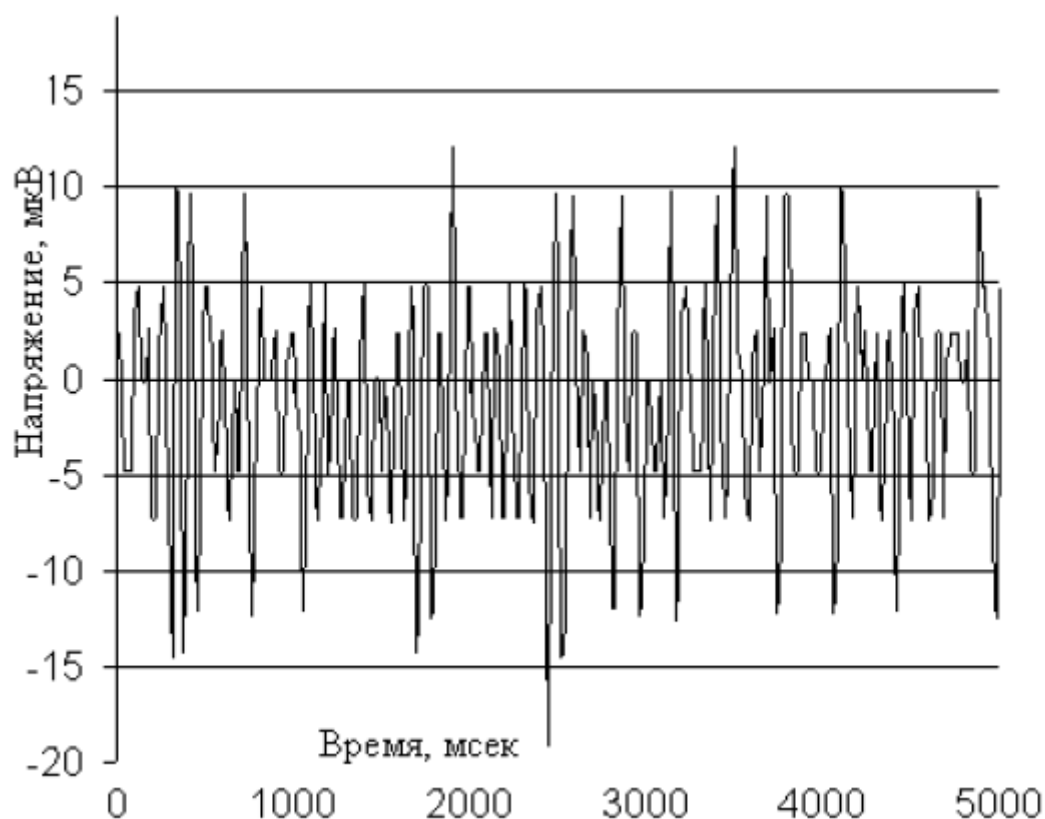


Рис. 3.2. Шумова доріжка вимірювача.

Виміри проводилися при часу вимірювання 20 мсек на відлік.

Нагадаємо, що шкала вимірника становить ± 10 В. відповідно, для нашого вимірювача рівень шумів становить близько $\pm 2\text{ppm}$. Ми можемо реєструвати незначні зміни вхідного напруги. Можна отримати і більш високий дозвіл, використавши більш сучасні мікросхеми (ADS1216, ADS1232, ADS1255 і т.п.) або усередня вимірювання. Не слід забувати, що наша схема містить підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення. Це дозволяє нам значно зменшити рівень шумів, приведених до входу.

Якщо рівень перешкод з частотою мережі живлення (50 Гц) невисокий, а ми бажаємо за допомогою нашого вимірювача обмірити НЕ постійна напруга, а низькочастотний сигнал, то і тут у нас є прекрасні можливості.

Мікросхема АЦП може бути запрограмована на велику швидкість вимірювань. Для нашого прикладу (ADS1210) наведемо замість шумовий доріжки приклад вимірювання синусоїдального сигналу частотою 50 Гц при часу

вимірювання 1 мсек на відлік. Нагадаємо, що наша вхідна шкала складає ± 10 В, а вимірюваний сигнал має амплітуду трохи більше 4 мВ.

Сучасні моделі сигма-дельта АЦП (наприклад ADS1255) дозволяють одним і тим же вимірником обмерять мікрвольтові сигнали з 20-24-розрядних дозволом і, одночасно, реєструвати сигнали змінної напруги з досить хорошим дозволом (16-17 біт при 33 мсек на відлік).

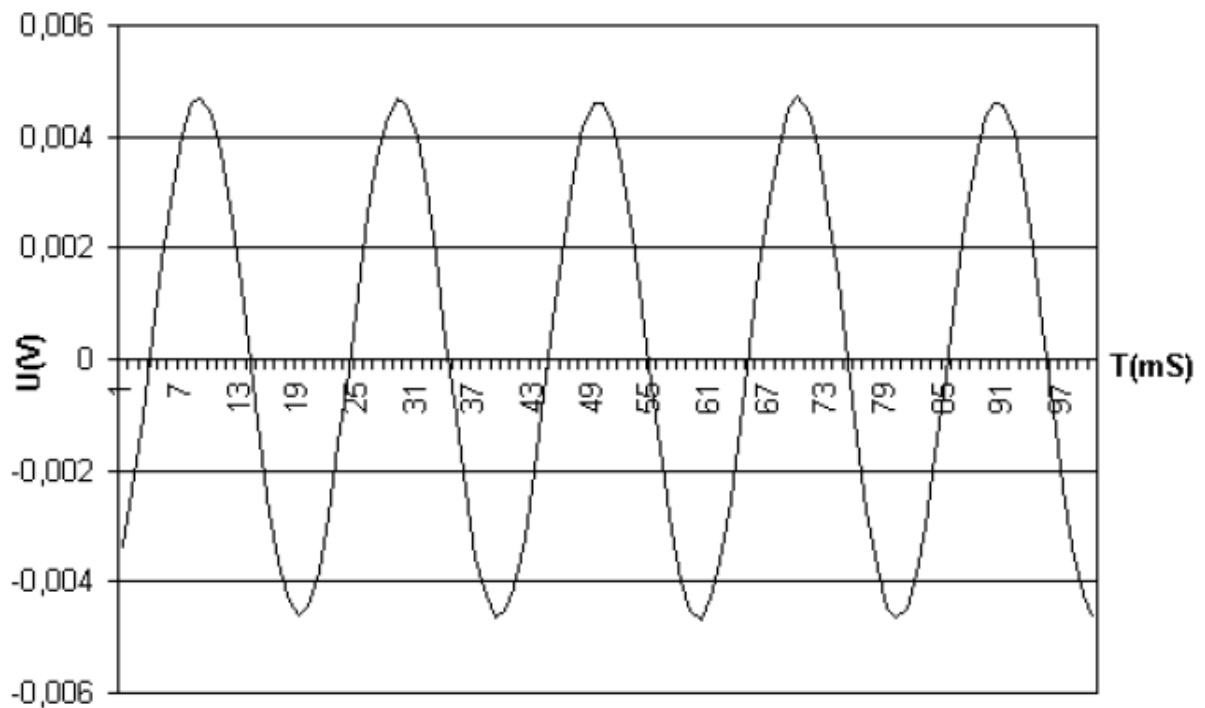


Рис. 3.3. Вимірювання синусоїдального сигналу низької частоти.

Ми можемо реєструвати незначні зміни вхідного напруги. Можна отримати і виміри проводилися при часу вимірювання 20 мсек на відлік.

Треба щоб шкала вимірника становила ± 10 В. відповідно, для нашого вимірювання 1 мсек на відлік. Нагадаємо, що вхідна шкала складає ± 10 В, а вимірюваний сигнал має амплітуду трохи більше 4 мВ.

ВИСНОВКИ

Кожна технологія АЦП має свої переваги. І оскільки сфери застосування занадто різні, не можна сказати, що одна з них краща за іншу в цілому. Проте, можна стверджувати, що одна з них краща за іншу по ряду критеріїв сучасних систем. Розглянуті характеристики і принципи роботи популярних аналого-цифрових перетворювачів.

На підставі аналітичних і експериментальних досліджень з урахуванням характеристик точності і швидкодії визначені області застосування кожного типу АЦП. Визначені методи їх схемотехнічного використання для обробки даних в системах автоматизації, в тому числі і сполучення їх через комп'ютерні інтерфейси з керуючими системами. Комп'ютерні системи забезпечують необхідну гнучкість при створення складних технологій у виробничих процесах.

Технічні рішення закладені в АЦП можуть бути корисними при створенні систем з аналого-цифровою архітектурою. Наприклад, виміри переміщень зручно проводити за допомогою рефлексних кодів безпосередньо паралельним перетворенням з кодової шкали верстата, а далі обробляти їх відомими алгоритмами для визначення похідних і необхідних інших сигналів. Методи включення похідних в процес керування складними системами в наш час вже використовуються в оптимальних по динамічності системах.

Критерій	АЦП послідовного наближення	Дельта-сигма ($\Delta\Sigma$) АЦП
Потрібна максимальна роздільна здатність амплітудної осі (навіть для повільних сигналів, таких як термопари)	Зазвичай максимум 16 або 18 біт	Переважає. Розрішення 24 біта фактично є сучасним стандартом серед дельта-сигма плат.
Необхідно використовувати недорогу мультиплексную АЦ-плату	Єдиний варіант. Можна мультиплексувати один АЦП РПП на кількох каналах для створення недорогих систем	Н / Д

	збору даних, якщо невеликі спотворення не критичні.	
Потрібно максимально можлива частота вибірки	Переважає. Існують АЦП послідовного наближення для збору даних з частотою вибірки до 10 Мвиб. / С.	Вбудований ЦОС-процесор обмежує макс. частоту вибірки дельта-сигма АЦП в порівнянні з АЦП РПП.
Бажає фільтрація-згладжування	Дорого і складно додати в АЦП послідовного наближення.	Переважає, оскільки фільтрація згладжування вбудована в дельта-сигма АЦП.
Потрібно максимальне співвідношення «сигнал-шум»		Єдиний варіант. Можливе досягнення 160 дБ за допомогою запатентованої технології DualCoreADC® компанії Dewesoft.
В основному будуть реєструватися штучні сигнали (наприклад, прямокутні)	Краще відтворює прямокутні хвилі	переважає. Дозвіл 24 біта фактично є сучасним стандартом серед дельта-сигма плат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://dewesoft.com/ru/daq/types-of-adc-converters>
2. Козак В.Р. Прецизионные аналого-цифровые преобразователи - <http://www.inp.nsk.su/~kozak/appnotes/apnc0.htm>
3. Зельдин Е.А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре.– Л: Энергоатомиздат, 1986.- 280 с.
4. У. Титце К. Шенк Полупроводниковая схемотехника. Перевод с немецкого М.: "Мир". 1982
5. Орнадский П.П. Автоматические измерения и приборы. - К.; Техника, 1990 - 448с.
6. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
7. В.Р.Козак, Э.А.Купер. Микропроцессорные контроллеры для управления источниками питания / Препринт ИЯФ 2001-70, 2001
8. Абакумов В.Г. Электронные промышленные устройства. К., "Вища школа", 1978, 375 с.

9. Ажогин В. В. Моделирование на цифровых, аналоговых и гибридных ЭВМ / В. В. Ажогин, М. З. Згуровский // – К. : Вища школа., 1982. – 280 с.
10. <https://root-nation.com/news-ua/it-news-ua/ua-quantum-accelerometer/> дата доступа: 19.05.2021 р.
11. <https://www.techcult.ru/technology/5994-kvantovye-akselerometry-pomogut-opredelit-polozhenie> дата доступа: 19.05.2021 р.
12. Интегральные микросхемы. Справочник Под редакцией Б.В. Тарабрина М.: “Радио и связь”, 1983
13. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия–Телеком, 2013. – 606 с.
14. Гук М. Интерфейсы ПК. Справочник: СПб: ЗАО «Издательство «Питер», 1999 416 с
15. Ан Пей. Сопряжение ПК с внешними устройствами: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 320 с.: ил.
16. Смит Дж. Сопряжение компьютеров с внешними устройствами. Уроки реализации: Пер. с англ.- М.: Мир, 2000. – 266 с., ил.
17. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ./Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера. – М.: Мир, 1992. – 592 с., ил.
18. Васильев, В.И. Оптимизация управления сложной электромеханической системой с распределенными параметрами [Текст] // Адаптивні системи автоматичного управління. Міжвідомчий науково-технічний збірник – 2013. – 1(22). – С. 95-101 – <http://asac.kpi.ua/article/view/29085>, дата доступа: 19.05.2019 р.
19. Зубчук В.И. и др. Справочник по цифровой схемотехнике. – К. Техника, 1990.
20. http://www.know-house.ru/info_new.php?r=engineering&uid=712 – Классификация лифтов, дата доступа: 19.05.2021 р.
21. <http://mash-xxl.info/info/633461/> - Энциклопедия по машиностроению XXL, дата доступа: 19.05.2021 р.

22. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Цифрова схемотехніка”. КіСумДУ, 2006.