

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Класичний фаховий коледж

(повна назва інституту/факультету)

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

20\_\_ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 171 Електроніка

(код та назва)

освітньо-професійної програми Електронні інформаційні системи

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: **Аналого-цифровий контроль руху складної електромеханічної системи**

Здобувача групи ЕІз-91к

(шифр групи)

А.А. Сердюка

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник ст. викладач. к.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання,

В.І. Васильєв

Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант<sup>1)</sup>

(посада, науковий ступінь, вчене звання Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

## ЗМІСТ

	С.
<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛОГО-ЦИФРОВІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РУХУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	5
1.1 Вимірювання параметрів руху і перетворення в цифрові коди .....	5
1.2 Перетворення переміщення в паралельний код .....	7
1.3 Застосування рефлексного кодування. Код Грея .....	9
<b>РОЗДІЛ 2 АЦП ПОСЛІДОВНОГО РАХУНКУ</b> .....	14
2.1 Перетворення переміщення в послідовний код. Вимірювання швидкості....	14
2.2 Визначення уповільнення за допомогою нелінійних фільтрів .....	17
<b>РОЗДІЛ 3 ІНТЕРФЕЙСИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ</b> .....	20
3.1 Комп'ютерні інтерфейси для інформаційно-вимірювальних систем.....	20
3.2 Паралельний інтерфейс Centronics .....	21
3.3 Послідовний промисловий інтерфейс RS-485.....	21
3.4 Послідовний промисловий інтерфейс RS-232C.....	22
3.5 Послідовні інтерфейси USB-2, USB-3 .....	27
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	29
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	30

## АНОТАЦІЯ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є аналіз відомих сучасних технічних рішень з контролю і керуванню складними електромеханічними системами, а також методів удосконалення технічних характеристик перетворювачів координат руху об'єкта в зручну для обробки в інформаційно-вимірювальної системі.

Мета роботи полягає в дослідженнях рівня техніки за поставленою темою, способів визначення координат руху об'єктів, а саме: переміщення, швидкості, прискорення/уповільнення, ривку тощо. Досліджувались визначення основних параметрів руху наземних об'єктів, їх особливості, джерела похибок при проведенні контролю і способи запобігання від промислових і природних завад.

При виконанні роботи використовувалися методи математичного й цифрового й комп'ютерного моделювання процесів і систем.

Досліджувались методи керування і контролю руху складних електромеханічних систем. Зокрема механічні датчики прискорення (акселерометри) і сучасні методи непрямого визначення диференційно залежних параметрів руху від основної координаті для багатокординатного способу керування.

Робота викладена на 32 сторінках, у тому числі включає 13 рисунків, 3 таблиць, список цитованої літератури з 29 джерел.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПЕРЕТВОРЮВАЧІ, СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ (САК), ВИМІРИ КООРДИНАТ РУХУ, ДІАПАЗОН ВИМІРЮВАННЯ, ЧУТЛИВІСТЬ, СТАТИЧНА, ДИНАМІЧНА ПОХИБКА.

## ВСТУП

Прогрес машинобудування передбачає удосконалення сучасних технічних систем, а також розробку нових технічних рішень спрямованих в бік підвищення їх продуктивності, керованості, швидкодії, високої точності, надійності та безпеки.

Сучасні вимоги до технічних систем передбачають впровадження поширеної автоматизації операцій що виконують складні технічні системи і комплекси. Автоматизовані технології передбачають використання замкнутих систем автоматичного керування де використовують датчики і вимірювальні пристрої для контролю параметрів руху систем.

В залежності від умов існують певні особливості. Наприклад, основними параметрами руху є переміщення об'єкту і деякі похідні, наприклад, швидкість, прискорення.

Будь-який вимірювальний пристрій складається з чутливого елемента, що сприймає фізичну величину, і перетворювача, який перетворює переміщення чутливого елемента в іншу форму, зручну для подальшого використання, найчастіше електричний сигнал.

В якості вимірювачів переміщень використовують цифрові кодові системи, швидкості – тахогенератори або перетворюють шляхом диференціювання сигнали переміщень, прискорення - акселерометри або також диференціювання, кутів і кутових швидкостей використовуються гіроскопічні пристрої та системи.

Сучасні інформаційно-вимірювальні, а також комп'ютеризовані системи для сполучень з технологічними об'єктами широко використовують промислові і комп'ютерні інтерфейси.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛОГО-ЦИФРОВІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РУХУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

#### 1.1 Вимірювання параметрів руху і перетворення в цифрові коди

Технічні рішення для контролю переміщення, швидкості, та їх похідних є важливими аспектами для створення якісних систем керування рухомими органами верстатів, підйимально-транспортних механізмів тощо. В наш час ці функції виконуються на основі аналого-цифрового перетворювання переміщення (АЦПП) в цифровий код. Первинним вимірювальним параметром є переміщення рухомого органу на підставі якого можна отримати похідні параметри – швидкість і прискорення для подальшого використання для якісного керування складними за динамічними властивостями системами. До таких систем відносяться сучасні людські ліфти, особливо багатоповерхових будівель.

Розвиток інформаційних систем аналого-цифрового перетворювання переміщення-код в останні десятиліття обумовлений повсюдним використанням керуючих мікроЕОМ і комп'ютеризованих систем контролю і керування.

АЦПП будуються на різних фізичних і структурних принципах. При їх створенні використовується величезна кількість конкретних схемотехнічних рішень. Крім відомих механічних та лазерних технологій для комп'ютерної миши, в наш час існують більш просунуті системи глобального супутникового контролю позиціонування GPS. Сучасні лазерні технології забезпечують миттєві виміри відстані об'єкту по відображенню лазерного променя. На ринку вимірювальних приладів вже з'явилися зручні лазерні "рулетки", але використання лазерних технологій для контролю і керування ліфтовим підйомом ще не доцільно.

Нещодавно в наукових джерелах з'явилися повідомлення про новітні квантові технології контролю за переміщенням об'єктів що складають серйозну альтернативу супутниковим системам. Зокрема, системи на базі акселерометрів, які обчислюють положення носія за його зміщенням відносно відомої точки відліку. Такі вже є, але вони потребують постійної калібрування і до того ж працюють із великою похибкою,

через що постійно накопичується відхилення. Виправити цей недолік взялися інженери компанії M Squared і вчені з Імперського коледжу Лондона, які спроектували "квантовий акселерометр".

Його ідея заснована на тому, що при наднизьких температурах матерія набуває властивостей хвилі. Щоб домогтися цього, в експериментальній установці потужний лазер охолоджує хмара атомів до прояву ними хвильових властивостей, після чого їх пропускають через камеру акселерометра. Будь-яке зміщення самого об'єкта впливає на параметри хвилі - відстеживши за допомогою лазерного інтерферометра ці спотворення, можна з високою точністю розрахувати, куди і як встигла зміститися вся конструкція за даний проміжок часу.

Таку систему відрізняє вкрай висока точність позиціонування - правда, поки вимірювання відбуваються тільки в одній площині, а не в тривимірному просторі. Потрібно додати додаткові джерела випромінювання, але лазери дуже громіздкі і енергоємні, щоб все вирішилося так просто. Через це застосування квантових акселерометрів, наприклад, в мобільних гаджетах буде доступно ще не скоро, хоча для роботи на транспорті вони вже цілком придатні.

Разом з тим, як показує практика, найбільший внесок в розвиток АЦПП вносить мікроелектроніка, застосування якої дозволяє вирішити проблему технологічності, забезпечивши максимальне спрощення, як правило, прецизійних механічних вузлів. Тому сучасний АЦПП складається з електро-, магніто- фото механічного первинного перетворювача, що безпосередньо сприймає вимірювані переміщення, і вторинного перетворювача-електронного вузла, який обробляє отриману інформацію і представляє її в цифровому стандарті.

Внаслідок технічних вимог первинний перетворювач, як правило, є прецизійним виробом, а електронний вузол будується на основі найсучаснішої мікроелектронної елементної бази.

Перетворювачем переміщення (ПП) називають пристрій, що сприймає контрольоване вхідне переміщення (лінійне або кутове) і перетворює його в вихідний сигнал (як правило, електричний), зручний для подальшої обробки, перетворення і, якщо це необхідно, передачі по каналу зв'язку на великі відстані .

Значення ПП переміщень в різних областях техніки в умовах сучасного виробництва досить велике, Вони є найбільш універсальними, оскільки використовуються і самостійно, і як складові вузли більш складних ПП (наприклад, багатьох перетворювачів тиску, рівня, витрати і температури).

Самостійне значення ПП визначається в першу чергу тим, що в таких галузях народного господарства, як машинобудування, точне приладобудування (прилади точної механіки), виробництво інтегральних та великих інтегральних схем (ІС і ВІС), робототехніка, переважна кількість всіх контрольованих параметрів технологічних процесів припадає на кутові і лінійні переміщення (розміри) об'єкта. Тут слід додати, що, будучи найважливішою складовою частиною цифрових перетворювачів, первинні перетворювачі переміщень багато в чому зумовлюють параметри ЦПП в цілому, оскільки саме перший етап перетворення переміщення-електричний параметр в основному визначає такі характеристики ЦПП, як точність, швидкодію, лінійність управління і т. п.

Виходячи з викладеного, можна сформулювати основні вимоги, які пред'являються при розробці і конструюванні до ПП переміщень. Це перш за все висока точність вимірювання (або контролю) переміщень, швидкодія, надійність, стійкість інформативного параметра, малі нелінійні спотворення і т. Д., Що досить важливо в умовах виробництва. Поряд із зазначеними до ПП пред'являються і такі вимоги, як висока технологічність, невелика вартість, малі тепловіддача, габарити, маса і ін. Все це говорить про те, що створення ПП, який задовольняє сучасним вимогам, являє складне технічне завдання, яке може бути вирішене лише в результаті серйозного і досить тривалого опрацювання.

## **1.2. Перетворення переміщення в послідовний код.**

При побудові цифрових перетворювачів переміщення в цифровий код використовуються тільки метод зчитування і метод послідовного розрахунку [3, 7]. Слід відмітити, що при побудові таких АЦП використовують різні фізичні явища, чим обумовлюється різноманітність елементів, використовуваних в перетворювачах. В більшості випадків кодується кутове переміщення, тому в багатьох випадках лінійні

переміщення за допомогою різних приладів перетворюються в кутові. Тому в подальшому ми розглянемо тільки перетворювачі кутових переміщень.

Для виконання методу зчитування необхідно мати  $2^n - 1$  еталонів з якими виконується порівняння перетвореної величини і стільки ж схем порівняння. Практично створюють кодові шкали, кількість яких рівна числу розрядів коду, а число інтервалів між поділками окремих шкал визначається як  $2^i$ , де  $i$  – номер даної шкали, починаючи з нуля. Мінімальна ціна поділки при цьому буде визначатися кроком квантування.

Таким чином в складі перетворювача повинні бути як мінімум кодові шкали і пристрої порівняння. Реально в склад такого АЦП входить ряд пристроїв підсилення і перетворення сигналів, схеми зчитування і зберігання кодів.

Принцип дії перетворювачів кутового переміщення в код можна розглянути на прикладі перетворювача з контактним зніманням кодового сигналу. Розрізняють перетворювачі з натискним і ковзаючими контактами. Кодові шкали можуть бути дискові та барабанні. На рисунку 1.1 і 1.2 представлені кодуєчий диск і кодуєчий барабан чотирьох розрядного перетворювача.

На кодуєчому диску шкали представляють собою концентричні кола, які складаються з почергових провідних і непровідних площадок. Кількість кругів рівне числу розрядів коду. Розміри площадок в кожному кільці однакові, а їх число визначається позицією даного розряду в коді. Всі прохідні площадки електрично з'єднані між собою і спеціальним кільцем, яке являється струмопровідним елементом.

В перетворювачі з кодуєчим барабаном [7] шкали виготовляються у вигляді кільця, розташованих на поверхні барабану і складаються з почергових провідних і непровідних ділянок, або фото- магніточутливих сенсорів (рис 1.2).

В якості чутливих елементів використовуються, наприклад, щітки – струмознімачі 1, які знаходяться над розрядними кільцями диску або барабана. При потраплянні щіток на провідні ділянки в відповідних розрядах формуються одиниці. Якщо щітка знаходиться над непровідною ділянкою в даному розряді буде нуль.

### **1.3 Застосування рефлексного кодування. Код Грея**



При використанні звичайних кодових шкал з'являється ймовірність виникнення хибних кодів при переході від одного числа до другого. Для запобігання цього явища необхідно щоб границя між числами була прямою лінією а струмознімачі знаходились точно вздовж цієї лінії [3]. В реальних умовах цього не можливо досягти в наслідок технологічних неточностей вставнолення струмознімачів та неточних розмірів диска чи барабану. Внаслідок цього всі струмоприймачі не будуть переходити бар'єр між числами.

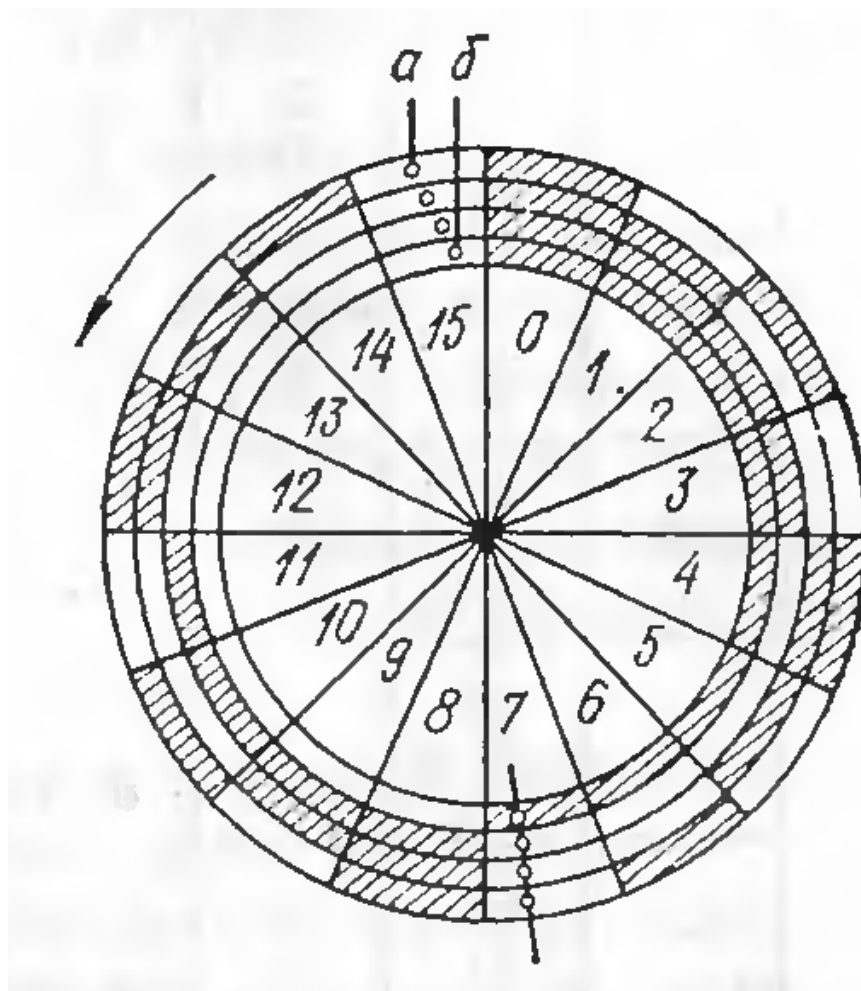


Рис 1.1 Кодуючий диск

Нехай диск (рис 1.1) рухається в напрямку вказаному стрілкою, а струмознімачі розположені так, що їх крайні положення відповідають позиціям «а» і «б». В кінцевому стані всі струмознімачі знаходяться на провідних ділянках і вихідний код буде дорівнювати 1111. Наступне значення коду повинно бути 0000, але по мірі переміщення диску струмознімачі перейдуть границю між числами неодночасно.

Помилка при цьому може становити до 50%. Щоб цього уникнути використовують спеціальні шкали дискретизації. В багатьох випадках використовують спеціальні види кодів, відрізняючись тим, що при переході від одного числа до другого змінюється тільки одиниця в одному розряді числа. До числа таких кодів відносяться так звані рефлексні коди з яких в перетворювачах кутових переміщень використовується рефлексний двійковий код, часто названий кодом Грея [3].

При виборі типу коду для перетворення переміщення в цифрову форму більш зручним є код Грея. Перевага коду Грея, якій також є позиційним, над звичайним двійковим в тому, що зміна контролюємого переміщення на одиницю завжди відповідає зміні кодової комбінації тільки в одному розряді. Код Грея будується на базі двійкового за наступним алгоритмом: старший розряд залишається без зміни; кожний наступний розряд інвертується, якщо попередній розряд вихідного двійкового коду дорівнює одиниці. Цей алгоритм побудови може бути формально представлений як результат складання по модулю 2 вихідних комбінації двійкового коду з такою ж комбінацією, але зрушеною на один розряд вправо. При цьому крайній правий розряд зрушеної комбінації відкидається.

Таким чином, код Грея є так званим однокроковим кодом [3], тому що при переході від одного числа до іншого завжди змінюється лише якийсь один біт. Похибка при зчитуванні інформації з механічного кодового диска при переході від одного числа до іншого призведе лише до того, що перехід від одного положення до іншого буде лише кілька зміщений за часом, проте видача абсолютно невірною значення кутового положення при переході від одного положення до іншого повністю виключається. Перевагою коду Грея є також його здатність дзеркального відображення інформації. Так, інвертувавши старший біт можна простим чином змінювати напрямок рахунку і, таким чином, підбиратись до фактичного (фізичного) напрямку обертання осі. Зміна напрямку рахунку може легко змінюватися, керуючи так званим входом "Complement". Значення що видається може бути зростаючим або спадаючим при одному і тому ж фізичному напрямку обертання осі.

Оскільки інформація в коді Грея, має чисто кодовий характер що не несе реальної числової інформації, повинен він перед подальшою обробкою спершу

перетворений в стандартний бінарний код. Здійснюється це за допомогою перетворювача коду (декодера Грей-Бинар), який на щастя легко реалізується за допомогою ланцюга з логічних елементів «виключає або» як програмним, так і апаратним способом .

З таблиці 1 видно, що при переході від одного числа до іншого (сусіднього) лише один біт інформації змінює свій стан, якщо число представлено кодом Грея, в той час, як в двійковому коді можуть поміняти свій стан кілька біт одночасно. Код Грея - вихід, отже, він ніколи не має помилку зчитування і застосовується в багатьох абсолютних енкодерах.

Таблиця 1.1. Зміни біт в коді Грея

Десятковий код	Двійковий код				Код Грея			
	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$				
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0	<b>1</b>
2	0	0	<b>1</b>	<b>0</b>	0	0	<b>1</b>	1
3	0	0	1	<b>1</b>	0	0	1	<b>0</b>
4	0	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	0	<b>1</b>	1	0
5	0	1	0	<b>1</b>	0	1	1	<b>1</b>
6	0	1	<b>1</b>	<b>0</b>	0	1	<b>0</b>	1
7	0	1	1	<b>1</b>	0	1	0	<b>0</b>
8	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	1	0	0
9	1	0	0	<b>1</b>	1	1	0	<b>1</b>
10	1	0	<b>1</b>	<b>0</b>	1	1	<b>1</b>	1
11	1	0	1	<b>1</b>	1	1	1	<b>0</b>
12	1	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	1	<b>0</b>	1	0
13	1	1	0	<b>1</b>	1	0	1	<b>1</b>
14	1	1	<b>1</b>	<b>0</b>	1	0	<b>0</b>	1
15	1	1	1	<b>1</b>	1	0	0	<b>0</b>

Біти які змінюють своє значення, при переході від одного числа до іншого, позначені жирним шрифтом.

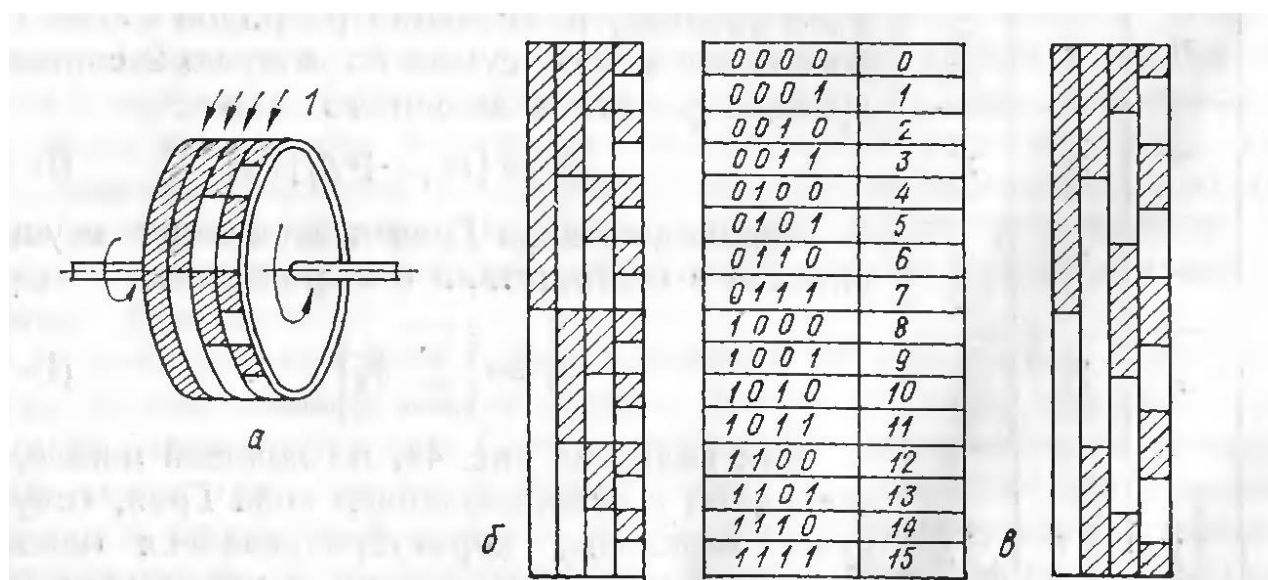


Рис 1.2 Аналого-цифрове перетворення з застосуванням коду Грея: а – конструкція барабану; б – розгортка кодуєчої маски у двійковому коді; в – в коді Грея

Видно на рис 1.2в, що на одній кодовій шкалі, побудованій за допомогою коду Грея, відсутні переходи, які характеризуються одночасною зміною одиниці в кількох розрядах. Крім того розміри елемента шкали молодшого розряду вдвічі більші, що дозволяє при однакових розмірах шкали реалізувати вдвічі більшу роздільну здатність.

Після зчитування код Грея перетворюється в звичайний двійковий код за допомогою спеціальних пристроїв. Фрагмент принципової схеми перетворювача зображено на рис. 1.3. Вона складається з елементів пам'яті на тригерах  $T_21 - T_{2n}$   $T$ -типу і неповних суматорів виконаних на елементах “виключне АБО” (“складання за модулем 2”). Тригери  $T_21 - T_{2n}$  призначені для визначення і зберігання значень відповідних розрядів коду Грея. Суматори  $S_m$  виконують арифметичне сумування по модулю 2. На виходах відповідних суматорів формуються розряди двійкового коду.

Використання рефлексного коду не є єдиним способом усунення неоднозначності при кодуванні кутових переміщень. Відомі також інші методи, серед яких слід відмітити метод Баркера, який заключається у виборі елементів знімання на основі аналізу коду молодшого розряду, метод подвійної щітки та ряду інших.

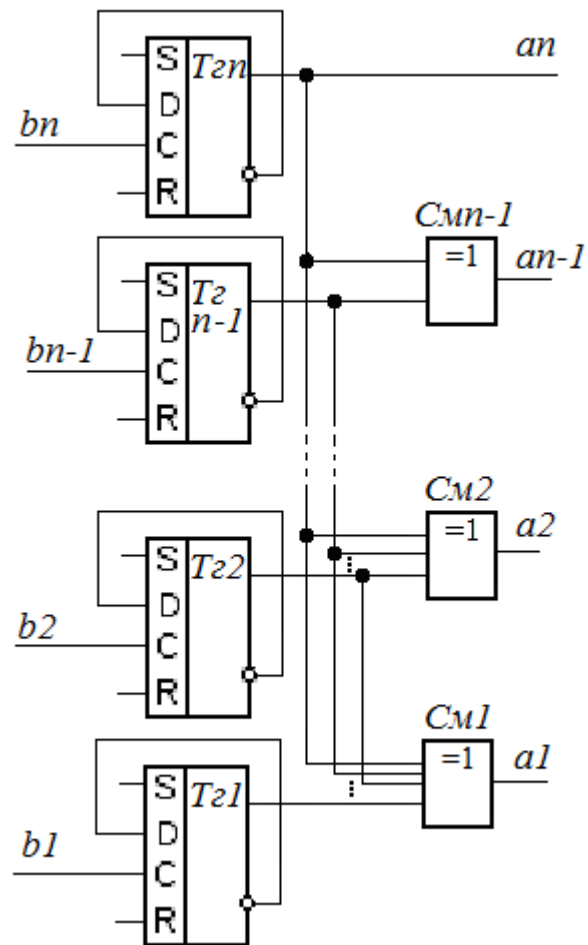


Рис 1.3 Цифрова електрична принципова схема перетворення коду Грея в двійковий код

## РОЗДІЛ 2

### АЦП ПОСЛІДОВНОГО РАХУНКУ

#### 2.1 Перетворення переміщення в послідовний код. Вимірювання швидкості

В якості датчика швидкості приймемо фотоімпульсний датчик, який на метр переміщення на виході формує 1000 імпульсів. Серед промислових датчиків близьки характеристики має фотоімпульсний датчик ПДФ-3, де на оборот диску формується дві серії по 600 імпульсів, які зсунуті на 90 електричних градусів. Тому, використовуючі обидві серії можна отримати від 1200 або 2400 при використанні переднього та заднього фронту імпульсу. Відлік імпульсів датчика починається по передньому фронту сигналу, що управляє електронним ключем (ЕК), через який надходить на лічильник контрольована послідовність. При закінченні сигналу, що управляє ЕК, тобто надходженні заднього фронту імпульсу або при перевищенні заданого інтервалу часу відлік зупиняється й виводиться на цифрове табло. При відхиленні результуючого значення коду лічильника від заданої межі на панелі відображення виводиться сигнал "відхилення параметру". У іншому випадку на панелі відображається дешифрований стан лічильника (або його розрядів) і величина обмірюваного значення послідовним кодом передається в пристрій обробки через струмову петлю.

Таким чином структурну схему складатимуть вузли (елементи):

1. Пристрій синхронізації й керування
2. Формувачі сигналів (гальванічні розв'язки і детектори фронтів)
3. Схема контролю параметрів чисельно-імпульсної послідовності (вузол лічильника)
4. Пристрій перетворення й відображення інформації (вузол індикації)
5. Пристрій перетворення паралельного коду в послідовний
6. Пристрій передачі сигналу через струмову петлю (лінійний підсилювач)

Функціональну схему пристрою виміру швидкості [14] представлено на рис 2.1. Основна частина складається з фільтра (Ф) електронного ключа (ЕК), лічильника й регістра (ЛРЧ), пристрою порівняння кодів (ППК), генератору тактових імпульсів

(ГТІ), розподільнику імпульсів (РІ), оптоелектронного перетворювача (ОЕП) і лінійного підсилювача (ЛП). Електронний ключ виконаний на логічному елементі "І" й керується сигналом дозволу рахування Т, що формується вузлом керування (ВК).

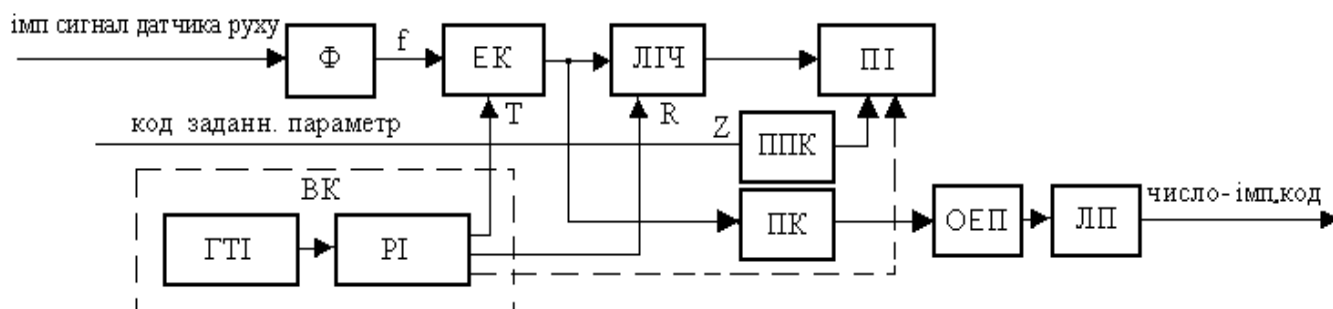


Рис. 2.1. Функціональна схема вимірювача швидкості

Промисловий датчик переміщення дискретний фотоелектричний (ПДФ-3 У2)

Загальні відомості. Датчик призначений для перетворення переміщення (кута повороту) робочих органів промислових механізмів в число імпульсів і кутової швидкості в частоту проходження імпульсів.

Технічні характеристики. Номінальна напруга живлення, 24В. Напруга вихідних сигналів, В - сигнал "1" – 24, сигнал "0" - 0,5

Максимальна частота обертання вхідного вала, об/хв 3000.

Число імпульсів на оборот вала 600.

Струм, мА не більше 300.

Габаритні розміри, мм 150 \* 160 \* 172.

Маса, кг не більше 4

Блок вимірювання швидкості веде рахунок кількості періодів вхідного сигналу в інтервалі часу за заданою дискретністю. На підставі початкових даних визначимо необхідну розрядність лічильника, а також визначимося з елементною базою. Найбільшу швидкість, що вимірюється беремо із запасом – 1.5 м/с. Точність вимірювань – 0.001 м/с. Таким чином необхідна розрядність лічильника визначається із співвідношення:  $XXXX/Y = ZZZZ_{10} = (XXXX XXXX XXXX XXXX)_2$

Тобто для забезпечення виконання заданих умов лічильник повинен складатися або з  $n$  корпусів двійково-десяткових лічильників (наприклад, К561ИЕ14), або з  $n-1$  корпусів двійкових лічильників (наприклад, К561ИЕ11).

Виходячи із цього обираємо варіант побудови схеми на підставі двійково-десяткових лічильників з попереднім встановленням (паралельним записом). Властивості паралельного запису будуть використані для регістра зберігання інформації й безперервного виводу її на індикацію. Це дозволить більш зручне зчитування інформації, при постійному відновленні її після чергового виміру. В якості елементної бази доцільно скористатись цифровими мікросхемами КМОП-технології, які характеризуються мікро потужним споживанням і відзначаються високою надійністю роботи в пристроях промислової автоматики. На підставі функціональної схеми і з урахуванням розрахунку кількості цифрових елементів типова принципова схема блоку вимірювача швидкості [14] представлена фрагментом на рисунку 2.2.

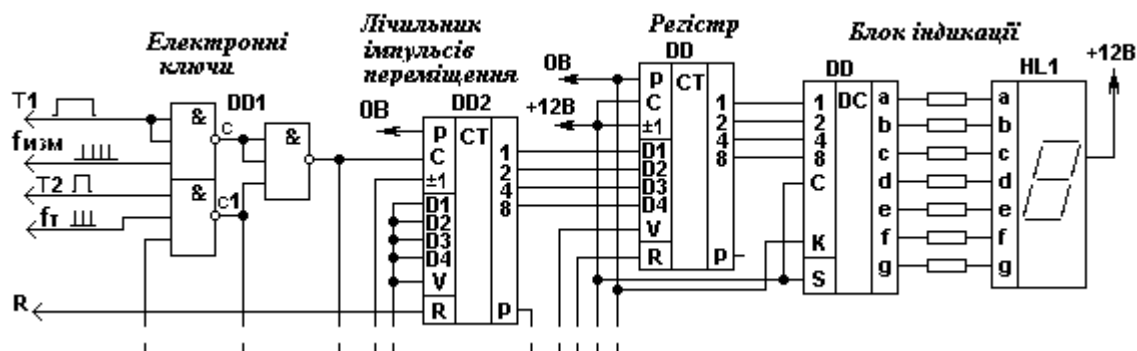


Рис.2.2. Фрагмент принципової електричної схеми цифрового блоку перетворення послідовного коду в паралельний для вимірювача швидкості.

Сучасні цифрові технології для оптимізації технічних рішень застосовують різні способи мінімізації елементної бази і зв'язків. Одним із принципів мінімізації є спосіб оснований на принципі розподілу обробки інформації в часі. Для створення принципу розподілу в часі роботи цифрових елементів: лічильників, регістрів, перетворювача паралельного коду в послідовний і засобів індикації необхідно щоб блок управління і синхронізації забезпечував наступну часову діаграму сигналів, що представлено на рис. 2.3.



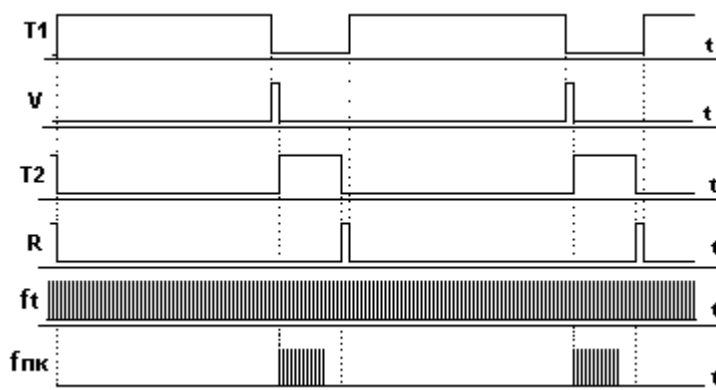


Рис. 2.3. Часові діаграми роботи лічильника-вимірювача та блоку управління і синхронізації

При визначенні тривалості відповідних імпульсів користуються критеріями заданої точності вимірювання ( $T1$ ), часом повного заповнення ємності лічильника тактовими імпульсами ( $T2$ ). Інші тривалості імпульсів ( $V$ ,  $R$ ) повинні відповідати паспортним даним мікросхем, що прийняти в якості елементної бази.

На діаграмах прийняти такі умовні позначки:  $T1$  – імпульси з часом вимірювання частоти;  $V$  – імпульси запису одержаної інформації в регістр;  $T2$  – імпульс часу перетворення паралельного коду в послідовний;  $R$  – сигнали встановлення лічильника в нульовий стан;  $f_t$  – імпульси генератора тактових імпульсів для передачі послідовним кодом;  $f_{нк}$  – сигнали послідовного коду, що передаються по струмової петлі.

В залежності від конкретних умов і параметрів діапазону величин, що вимірюються уточнюються зазначені вище параметри тривалостей сигналів керування цифровими схемами, розраховуються стали часу RC-ланцюгів таймеру-генератору та ін. пристроїв.

### 2.3 Визначення похідних основної координати руху за допомогою нелінійного фільтра

При розробці високоякісних оптимальних за динамічністю сучасних систем виникає необхідність визначення і використання крім основної координати руху двох найближчих похідних. Це стосується способу багато-координатного керування складними за динамікою системами. Наприклад, шлях–швидкість–прискорення, або

швидкість–уповільнення–ривок і т.п. де важливим параметром є уповільнення/прискорення, знак і величина якого несе інформацію про динамічні навантаження в системі і про ресурси безпеки системи. При вимірі цього параметру надо мати на увазі що цей параметр є похідної від швидкості і другої по відношенню до переміщення. Для вирішення даної технічної задачі існують електромеханічні датчики – акселерометри за допомогою яких в авіаційно-ракетних системах контролюють перевантаження.

Пристрій та принцип дії датчика лінійних прискорень розглянемо на прикладі однокомпонентного акселерометра з пружинним підвісом чутливого елемента (сейсмічної маси). Функціональна схема акселерометра представлена на рис. 2.4. На рисунку позначени складові перетворювача: чутливий елемент 3 підвішений в корпусі приладу 1 за допомогою пружин 2. Для демпфування власних коливань чутливого елемента використовується повітряний демпфер 4. Вихідний сигнал, пропорційний виміряному прискоренню, знімається з потенціометричного перетворювача 5. Осі чутливості акселерометра є вісь  $OX$ . На тілі що рушиться вісь чутливості встановлюється паралельно до тієї осі тіла, щодо якої необхідно вимірювати прискорення.

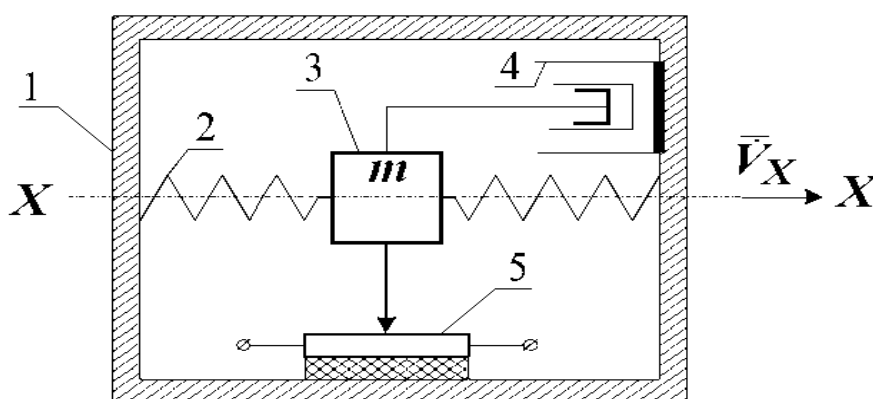


Рис 2.4 Функціональна схема акселерометра лінійних прискорень (уповільнень)  
 1 – корпус; 2 – пружини підвісу; 3 - чутливий елемент - сейсмічна маса ;  
 4 – повітряний демпфер; 5 – потенціометричний перетворювач.

Принцип дії акселерометра заснований практично на вимірі сили інерції, що розвивається сейсмічною масою під час її руху з прискоренням. Розглянемо сили, які прикладаються до сейсмічної маси під час руху тіла з прискоренням.

Визначення уповільнення шляхом диференціювання буде незадовільною, тому контроль даного параметру більш доцільно вимірювати на підставі нелінійних фільтрів, або взагалі комп'ютерними програмними алгоритмами, що реалізують модель, наприклад нелінійного фільтру другого порядку з використанням обмежень високих похідних узгодженними з динамікою приводу, або джерелом енергії. Тобто за допомогою нелінійного фільтру можна змоделювати умови за якими подавши на вхід НФ функцію сигналу на виходах отримаємо його похідні функції.

Пристрій, що виконує функції відображення одночасно декілька динамічних координат, наприклад переміщення, швидкість і прискорення/уповільнення можна реалізувати на підставі технічних рішень [12 - 14] представлено структурною схемою нелінійного фільтру другого порядку на рисунку 2.5. Цей пристрій з функцією синтезу оптимальних за динамічністю керувань і визначення похідних основної функції руху. На її основі можна зробити вимірювач з аналоговим представленням інформації, або в табличній формі при роботі в комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах, принципи роботи яких описані в розділі 3 даної роботи.

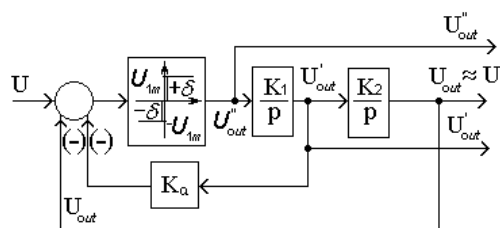


Рис. 2.5. Структурна схема пристрою вимірювача-індикатора похідних від основної функції руху.

### РОЗДІЛ 3

## ІНТЕРФЕЙСИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Сучасні інформаційно-вимірювальні системи використовують комп'ютерні технології. Тому більшість із перелічених вище задач може бути розв'язана комп'ютеризованими методами. Для цього необхідно обчислювальні можливості комп'ютерної техніки поєднати через інтерфейси і модулі сполучення з датчиками і організувати програмно обчислення. Для сполучення комп'ютера або мікроЕОМ з будь якою вимірювальною апаратурою використовуються різні інтерфейси. В залежності від вимог по відстані передачі можуть використовуватись, зокрема інтерфейси, що представлені в таблиці 3.1 де представлені технічні характеристики основних інтерфейсів що використовуються в сучасних комп'ютерних системах і промислової автоматики. Їх можна кваліфікувати на паралельні і послідовні.

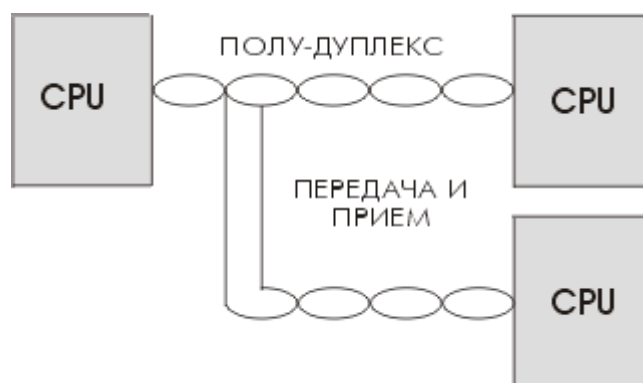
Таблиця 3.1 Зовнішні комп'ютерні інтерфеси

Інтерфейс	Макс. швидкість	Тип	Довжина ій зв'язку	Топологія
<u>Centronics</u>	-	Паралельний	1,8m	полудуплекс, точка-точка
<u>RS-232</u>	115Kbps	Послідовний	15m	дуплекс, точка-точка
<u>RS-485</u>	10Mbps	Диференціальна пара	1200m	полудуплекс, багатоточечна
USB-2	480 Мбіт/с	USB Type A B	5m	зіркоподібна
USB-3	5 Гбіт/с	USB Type A B	5m	зіркоподібна

### 3.1 Паралельний інтерфейс Centronics

Паралельний інтерфейс був розроблений для підключення відповідного класу принтерів та сканерів може бути застосований для зв'язку комп'ютерного пристрою з вимірювальним приладом але на незначній відстані. Тому вони рідко виконують такі функції як більш зручні для послідовних інтерфейсів. Інтерфейс представляє собою паралельний з можливістю застосування стробірування 8-розрядний код в стандарті технології TTL. Інтерфейс нескладний для програмування, зокрема, наприклад для використання з комп'ютерною технікою, обладнаних відповідними контролерами і операційною системою до Windows NT і вище. Недоліком є невелика довжина 25-дротового кабелю з екранною оболонкою.

### 3.2 Послідовний інтерфейс RS-485



Стандарт	EIA RS-485
Швидкість передачі	10 Мбит/с (максимум)
Відстань передачі	1200 м (максимум)
Характер сигналу, лінія передачі	диференційна напруга, скручена пара
Кількість драйверів	32
Кількість приймачів	32
Схема з'єднання	полудуплекс, багатоточечна

Рис. 3.1. Технічні характеристики промислового інтерфейсу RS-485

Протокол зв'язку RS-485 є найбільш широко використовуваним промисловим стандартом, що використовують двонаправлену збалансовану лінію передачі.

Протокол підтримує багатоточкові сполуки, забезпечуючи створення мереж з кількістю вузлів до 32 і передачу на відстань до 1200 м. Використання повторювачів RS-485 дозволяє збільшити відстань передачі ще на 1200 м або додати ще 32 вузла. Стандарт RS-485 підтримує напівдуплексний зв'язок. Для передачі і прийому даних достатньо однієї скрученої пари провідників.

### 3.4 Послідовний промисловий інтерфейс RS-232

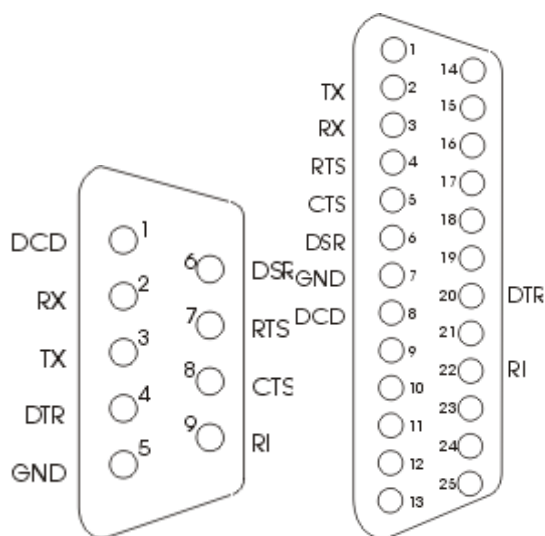


Рис. 3.2. Технічні характеристики інтерфейсу промислової автоматики RS-232

Широко використовується послідовний інтерфейс способом синхронної і асинхронної передачі даних, який визначається стандартом EIA RS-232-C і рекомендаціями V.24 ССІТТ. Спочатку створювався для зв'язку комп'ютера з терміналом. В даний час використовується в самих різних застосуваннях.

Інтерфейс RS-232-C з'єднує два пристрої. Лінія передачі першого пристрою з'єднується з лінією прийому другого і навпаки (повний дуплекс). Для управління з'єднаними пристроями використовується програмне підтвердження (введення в потік переданих даних відповідних керуючих символів). Можлива організація апаратного підтвердження шляхом організації додаткових RS-232 ліній для забезпечення функцій визначення статусу і управління.

Стандарт	EIA RS-232-C, CCITT V.24
Швидкість передачі	115 Кбит/с (максимум)
Відстань передачі	15 м (максимум)
Характер сигналу	несиметричний по напруги
Кількість драйверів	1
Кількість приймачів	1
Схема з'єднання	повний дуплекс, від точки до точки

### Порядок обміну по інтерфейсу RS-232C

Найменуванн	Напрямо	Опис	Контакт (25-контактный разъем)	Контакт (9-контактный разъем)
DCD	IN	Carrie Detect (Определение несущей)	8	1
RXD	IN	Receive Data (Принимаемые данные)	3	2
TXD	OUT	Transmit Data (Передаваемые данные)	2	3
DTR	OUT	Data Terminal Ready (Готовность терминала)	20	4
GND	-	System Ground (Корпус системы)	7	5
DSR	IN	Data Set Ready (Готовность данных)	6	6
RTS	OUT	Request to Send (Запрос на отправку)	4	7
CTS	IN	Clear to Send (Готовность приема)	5	8
RI	IN	Ring Indicator (Индикатор)	22	9

Інтерфейс RS-232C призначений для підключення до комп'ютера стандартних зовнішніх пристроїв (принтера, сканера, модему, миші та ін.), А також для зв'язку комп'ютерів між собою і технологічним обладнанням. Основними перевагами використання RS-232C в порівнянні з Centronics є можливість передачі на значно

більші відстані і набагато простіший з'єднувальний кабель. У той же час працювати з ним трохи складніше. Дані в RS-232C передаються в послідовному коді побайтно. Кожен байт обрамляється стартовим і степових битами. Дані можуть передаватися як в одну, так і в іншу сторону (двобічний режим).

Комп'ютер має 25-контактний (DB25P) або 9-контактний (DB9P) роз'єм для підключення RS-232C. Призначення контактів роз'єму приведене в таблиці.

Призначення сигналів.

FG - захисне заземлення (екран).

-TxD - дані, що передаються комп'ютером в послідовному коді (логіка негативна).

-RxD - дані, що приймаються комп'ютером в послідовному коді (логіка негативна).

RTS - сигнал запиту передачі. Активний в усі час передачі.

CTS - сигнал скидання (очищення) для передачі. Активний в усі час передачі.

Каже про готовність приймача.

DSR - готовність даних. Використовується для завдання режиму модему.

SG - сигнальне заземлення, нульовий провід.

DCD - виявлення несучої даних (детектування сигналу).

DTR - готовність вихідних даних.

RI - індикатор виклику. Каже про прийом модемом сигналу виклику по телефонній мережі.

Найбільш часто використовуються трьох- або чотирипровідна зв'язок (для двунапрвленної передачі). Схема з'єднання для чотирьох ліній зв'язку показана на малюнку 1.1.

Для двухпроводної лінії зв'язку в разі тільки передачі з комп'ютера під зовнішній пристрій використовуються сигнали SG і TxD. Всі 10 сигналів інтерфейсу задіюються тільки при з'єднанні комп'ютера з модемом.

Формат переданих даних показаний на малюнку 1.2. Власне дані (5, 6, 7 або 8 біт) соопровождаються стартовим бітом, бітом парності і одним або двома степових битами. Отримавши стартовий біт, приймач вибирає з лінії біти даних через определнніє інтервали часу. Дуже важливо, щоб тактові частоти приймача і передавача були



однаковими, допустима розбіжність - не більше 10%). Швидкість передачі по RS-232C може вибиратися з ряду: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с.

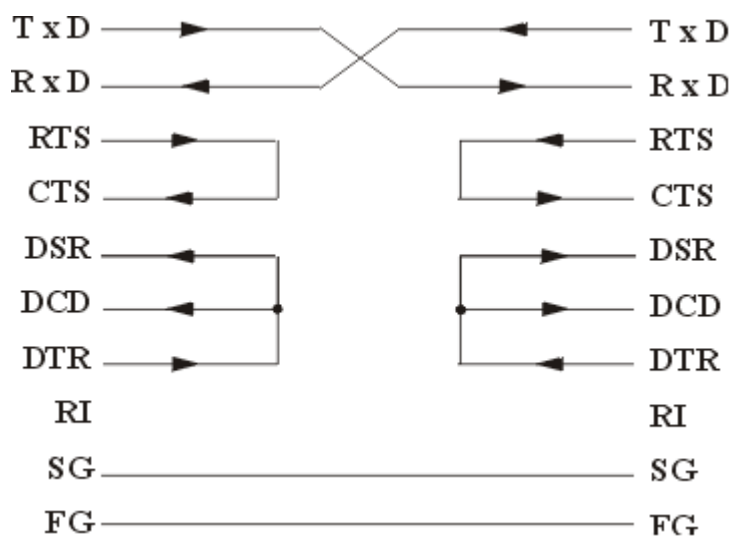


Рис.3.3 Схема 4-проводной линии связи для RS-232C

Всі сигнали RS-232C передаються спеціально обраними рівнями, забезпечують високу стійкість перед перешкодами зв'язку (рис.1.3.). Відзначимо, що дані передаються в інверсному коді (логічній одиниці відповідає низький рівень, логічному нулю - високий рівень).

Для підключення довільного УС до комп'ютера через RS-232C зазвичай використовують трьох- або чотирьох лінію зв'язку (див. Рис. 1.1), але можна задіяти й інші сигнали інтерфейсу.

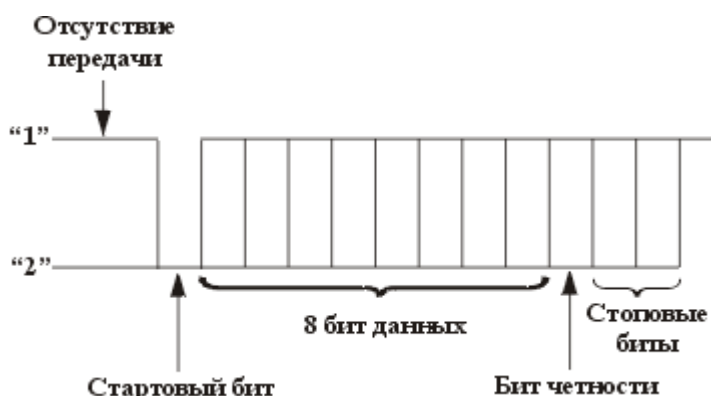


Рис.3.4 Формат данных RS-232C

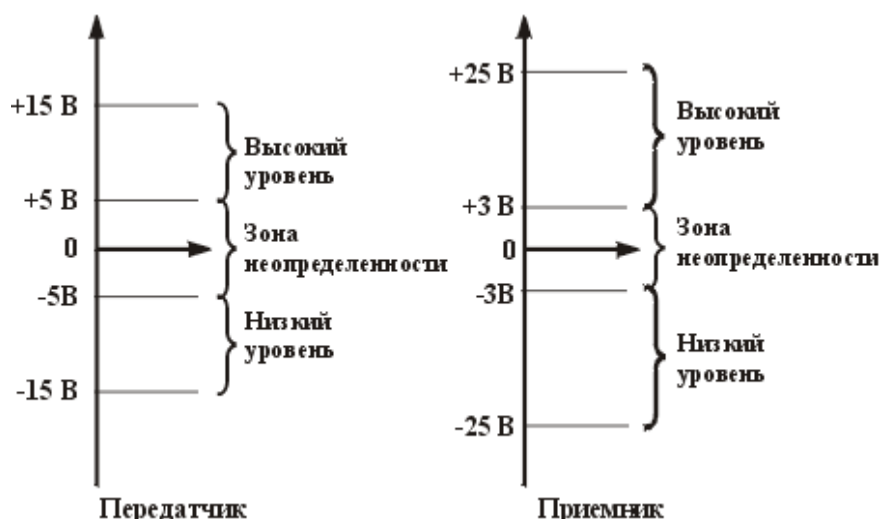


Рис.3.5 Рівні сигналів RS-232C на передавальному і приймаючому кінцях лінії зв'язку.

Обмін по RS-232C здійснюється за допомогою звернень по спеціально виділених для цього портів COM1 (адреси 3F8h ... 3FFh, переривання IRQ4), COM2 (адреси 2F8h ... 2FFh, переривання IRQ3), COM3 (адреси 3E8h ... 3EFh, переривання IRQ10), COM4 (адреси 2E8h ... 2EFh, переривання IRQ11). Формати звернень за цими адресами можна знайти в численних описах мікросхем контролерів послідовного обміну UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), наприклад, i8250, KP580BB51.

### 3.5 Послідовні інтерфейси USB

Бурхливий розвиток комп'ютеризації і мереж сприяв появі ряду нових послідовних інтерфейсів, зокрема USB. Версія USB 2.0 випущена в квітні 2000 року; відрізняється від USB 1.1 лише підвищеною швидкістю передачі та незначними змінами в протоколі передачі даних для режиму Hi-Speed (480 Мбіт/с).

Сигнали в 4-дротових кабелях USB 1.0 - USB 2.0 передаються двома екранованими проводами на 2-й та 3-й контакти штекера.

Існує три швидкості роботи пристроїв USB 2.0:

- Low-speed 10—1500 Кбіт/с (використовується для інтерактивних пристроїв: клавіатури, мишки, ігрові контролери)
- Full-speed 0,5—12 Мбіт/с (аудіо/відео пристрої)
- Hi-speed 25—480 Мбіт/с (відео пристрої, пристрої зберігання інформації)

В дійсності ж, хоча швидкість USB 2.0 теоретично й може досягати 480Мбіт/с, пристрої типу жорстких дисків чи взагалі будь-які інші носії інформації ніколи не досягають її, хоча й могли б. Це можна пояснити доволі просто: шина USB має доволі велику затримку між запитом на передачу інформації й самою передачею даних («довгий ping»). Наприклад, шина FireWire, хоча й забезпечує максимальну швидкість 400 Мбіт/с, тобто на 80 Мбіт/с меншу, ніж USB, дозволяє досягти більшої швидкості обміну даними.

## USB OTG

Технологія **USB On-The-Go** розширює специфікації USB 2.0 для легкого з'єднання периферійних USB-пристроїв безпосередньо між собою без задіяння комп'ютера. Прикладом застосування цієї технології є можливість підключення фотоапарата безпосередньо до принтера. Цей стандарт виник через об'єктивну потребу надійного з'єднання особливо поширених USB-пристроїв без застосування комп'ютера, якого в потрібний момент може й не бути під руками.

Таким чином інтерфейс USB 3.0 ікий був представлений у листопаді 2008 року в наш час є одним з тих, що задовольняє сучасним вимогам. Він був розроблений як наступне покоління після USB 2.0, з метою досягнення вищої швидкості передачі даних та покращених функціональних можливостей. USB 3.0 набув швидкого поширення і став широко використовуваним інтерфейсом для підключення периферійних пристроїв та передачі даних між додатками.

Інтерфейс USB 3.0 (також відомий як USB 3.1 Gen 1) є стандартним і широко поширеним інтерфейсом для передачі даних і підключення периферійних пристроїв.

Деякі особливості та переваги інтерфейсу USB 3.0:

1. Висока швидкість передачі даних: USB 3.0 відрізняється високою швидкістю передачі даних у порівнянні з різними стандартами. Він може досягти швидкості до 5 Гбіт/с, що у десять разів швидше, ніж USB 2.0. Це збирає потоки передачі великого обсягу та обробляє потоки відео високої роздільної здатності без затримок.

2. Покращена пропускна здатність: USB 3.0 забезпечує більш високу пропускну здатність, що дозволяє одночасно передавати та приймати більший обсяг даних. Це

особливо корисно для роботи з великим обсягом контенту, швидкою передачею файлів та виконанням вимогливих завдань.

3. Покращена енергоефективність: USB 3.0 використовує ефективніше використання енергії. Він підтримує функцію «Розумне керування розподілом», що дозволяє пристрою ефективніше використовувати енергію та переходити в режим зниженого енергоспоживання при неактивності. Це уповільнення часу роботи від акумулятора для портативних пристроїв та уповільнення енергоспоживання загалом.

4. Зворотній зв'язок: USB 3.0 відповідає вимогам до версії USB. Це означає, що пристрій, відновлення з USB 2.0 та USB 1.1, може бути підключений до портів USB 3.0, зберігаючи свою функціональність, хоча швидкість передачі буде обмежена граничною швидкістю нижчої версії зовнішнього вигляду.

5. Поліпшена передача живлення: USB 3.0 підтримує підвищену потужність для заряджання та живлення пристроїв. Він забезпечує більш високу потужність для енергозалежних пристроїв і дозволяє заряджати потужніші пристрої, такі як планшети, ноутбуки та жорсткі жорсткі диски через USB-порт.

Інтерфейс USB 3.0 є значною перевагою в порівнянні з порівняльною версією і є стандартом для високошвидкісної передачі даних і підключення потужностей.

## ВИСНОВКИ

На основі проведеного в роботі аналізу сучасних технічних рішень для керування складними електромеханічними системами можна зробити такі висновки:

1. До основних характеристик складних систем відносяться: вантажопідйомність, швидкодія, керованість, продуктивність, динамічна точність.

2. В процесі розробки технічних рішень аналого-цифрового перетворення і пристроїв для його здійснення виділяються декілька етапів. На першому етапі, структурному проектуванні, завданий неформально алгоритм розроблювач представляє у вигляді послідовності деяких типових операторів. Таких, як одержання результату, перерахунок, перетворення коду, передача інформації. При цьому використовується обмежений набір загальноприйнятих операторів. Для забезпечення ефективної розробки цифрових пристроїв проектувальник повинний вибрати найбільш раціональні варіанти рішення поставленої задачі на основі якісної математичної моделі.

3. Для сполучення керуючого комп'ютера, або мікро-ЕОМ з будь якою вимірювальною апаратурою використовуються стандартні промислові інтерфейси. В залежності від вимог по відстані, швидкості передачі, можуть використовуватись, зокрема інтерфейси, існуючі: Centronics, RS-232, RS-485 і сучасні: USB-2, USB-3. Також в деяких випадках для мобільних технологій можуть використовуватись бездротові інтерфейси.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. David Eager, Ann-Marie Pendrill and Nina Reistad. Beyond velocity and acceleration: jerk, snap and higher derivatives (За скоростью и ускорением: рывок, щелчек и высшие производные) / 2016 IOP Publishing Ltd. European Journal of Physics, t. 37, #6
2. Солодовников В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев // М.: Машиностроение, 1985. – с. 155.
3. Абакумов В.Г. Электронные промышленные устройства. Киев, изд. "Вища школа", 1978, 376 с.
4. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов. Под ред. Г.С. Бюшгенса. М.: Наука, Физматлит, 1998, – 816 с.
5. Бесекерский В.А. Динамический синтез гироскопической стабилизации / В.А. Бесекерский, Е.А.Фабрикант // – Л.: Судостроение, 1968. – 353 с.
6. Боднер, В.А. Системы управления летательными аппаратами [Текст] / В.А. Боднер. – М.: Машиностроение, 1973. – 506 с.
7. Протокол осциллографирования режимов предохранительного торможения подъемной машины 1×3х2У с АРПТ к "Акту приемки комплекса автоматически регулируемого предохранительного торможения шахтных подъемных машин (АРПТ)". ПО Донецкгормаш, Донецк, 13.09.1983 г.
8. Васильев В.И. Пути снижения динамических нагрузок в канатах шахтных подъемных установок системами автоматически регулируемого предохранительного торможения / В.И. Васильев // Стальные канаты: Сб. науч. тр. МАИСК. – Одесса: "Астропринт", 2010, №8. – С. 18-29.
9. А.с. № 1296500 СССР, МКИ В 66 В 5/00 / Устройство для управления приводом шахтной подъемной машины / Чермалых В.М., Васильев В.И., Матвиенко Н.П. Открытия. Изобретения.- 1987. - № 10.

10. А.с. № 1447743 СССР, МКИ В 66 В 5/00 /Устройство для управления приводом шахтной подъемной машины./Васильев В.И., Дубовик В.Г., Чермалых В. М. Открытия. Изобретения.- 1988. - № 48.
11. Васильев В.И. Применение нелинейных фильтров в системе управления предохранительным торможением подъемных установок / В.И. Васильев, Л.А. Козьякова, Е.И. Алтухов // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горная электромеханика и автоматика. - К.: 1984. – Вып. 15 – С. 13 – 15.
12. Спосіб гальмування шахтної підйимальної установки. Патент України на винахід UA114179 / В.І.Васильєв, Є.В.Васильєв // Київ.:ДП “УІПВ” (Укрпатент), опубл. 10.05.2017, бюл. № 9.
13. Спосіб оптимального керування астатичними системами. Патент України на винахід UA117229 / В.І.Васильєв, Є.В.Васильєв // Київ.:ДП “УІПВ” (Укрпатент), опубл. 10.07.2018, бюл. № 13. Зубчук В.И. и др. Справочник по цифровой схемотехнике. – К. Техника, 1990.
14. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Цифрова схемотехніка”. КіСумДУ, 2006.
15. Васильев В.И. Оптимальное управление сложными динамическими системами / В.И. Васильев, Е.В. Васильев // East European Scientific Journal #5(45), 2019, p.32-44. Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland (Східноєвропейський науковий журнал #5(45), 2019, С.32-44) - [https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA\\_may1.pdf](https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_may1.pdf)
16. Vasyliiev, V.I. The method for optimal control of high precision quick scanning system. [Текст] / V.I. Vasyliiev, E.V. Vasyliiev // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта) РТПСАС’2019: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 18–24 листопада 2019 р.). - Київ: 2019 – с.147-149 [http://conf.rtf.kpi.ua/attachments/article/1114/RTPSAS\\_2019\\_s5\\_t04.pdf](http://conf.rtf.kpi.ua/attachments/article/1114/RTPSAS_2019_s5_t04.pdf)
17. 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 доступу: 19.05.2023 р.

18. Патент України на винахід. UA114179. МПК (B66B1/32) Спосіб гальмування шахтної підіймальної установки / В.І. Васильєв, Є.В. Васильєв. Заявл. № а201314784, 17.12.13., опубл. 10.05.2017, бюл. № 9
19. Александровский Н.М. Элементы теории оптимальных систем автоматического управления // – М.: Энергия, 1969. – 128 с.
20. Дорф Р. К., Бишоп Р. Х. Современные системы управления. М : Лаборатория базовых знан., 2004. 832 с.
21. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования. В.А. Бесекерский, Е.П. Попов // М., Наука, Гл. ред. ф.-м. литер. / 1975. –768 с.
22. Васильєв, В.І. Дослідження способів оптимального керування динамічними системами. [Текст] / В.І. Васильєв, Є.В. Васильєв // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта) РТПСАС'2014: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 11–16 березня 2014 р.). - Київ: 2014 - с.51-53. [http://conf.rtf.kpi.ua/attachments/article/260/RTPSAS\\_2014\\_s2\\_t2.pdf](http://conf.rtf.kpi.ua/attachments/article/260/RTPSAS_2014_s2_t2.pdf)
23. <https://root-nation.com/news-ua/it-news-ua/ua-quantum-accelerometer/> дата доступу: 19.05.2023 р.
24. <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/11/01/129859> дата доступу: 19.05.2023 р.
25. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия–Телеком, 2013. – 606 с.
26. Гук М. Интерфейсы ПК. Справочник: СПб: ЗАО «Издательство «Питер», 1999 416 с
27. Ан Пей. Сопряжение ПК с внешними устройствами: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 320 с.: ил.
28. Смит Дж. Сопряжение компьютеров с внешними устройствами. Уроки реализации: Пер. с англ.- М.: Мир, 2000. – 266 с., ил.
29. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ./Под ред. У. Томкинса, Дж. Уэбстера. – М.: Мир, 1992. – 592 с., ил.