

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

Кафедра напівпровідникової електроніки

**“Автоматизація експериментальної установки по
дослідженню електричних властивостей
приладів з тунельно-тонкими окислами”**

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра
студента 4 курсу
радіофізичного факультету
Балакіна Олексія Володимировича

Науковий керівник
ведучий науковий співробітник,
доктор фіз.-мат. наук
Клімовська Алла Іванівна

Рецензент
кандидат фіз.-мат. наук
Горбанюк Тетяна Іванівна

До захисту допускаю

Зав. кафедрою
Академік АПНУ, професор
Третьак О.В.

Зміст

1. Вступ	
1.1 Актуальні питання сучасної напівпровідникової мікроелектроніки	3
1.2 Прилади з тунельно-тонкими окислами	4
1.3 Комірка пам'яті, як приклад приладу, що базується на основі ефектів в тунельно-тонких окислах	5
1.4 Можливі ускладнення при дослідженні електричних властивостей	6
1.5 Мета роботи	6
2. Опис установки	7
3. Опис інтерфейсної плати	10
4. Опис роботи інтерфейсної плати	13
5. Внутрішня програма мікроконтролера інтерфейсної плати	16
6. Протокол обміну даними між інтерфейсною платою та комп'ютером	18
7. Висновки	22
8. Список використаної літератури	23
9. Додаток 1 “Мал.2 Структурна схема інтерфейсної плати”	
10. Додаток 2 “Інтерфейсна плата. Принципова схема”	
11. Додаток 3 “Внутрішня програма мікроконтролера інтерфейсної плати. Лістинг”	

1.1 Актуальні питання сучасної напівпровідникової мікроелектроніки

Останні півстоліття йде бурхливий розвиток напівпровідникової електроніки. Зараз мабуть вже немає такої сфери життєдіяльності людини, де б не використовувались прилади на основі напівпровідників. Але разом з такими темпами розвитку, в наш час перед напівпровідниковою мікроелектронікою постійно виникають нові і нові питання. Окреслимо найважливіші з них :

- досить великий розмір базового елемента та, як наслідок цього, великий розмір кінцевого кристалу
- за рахунок великих розмірів елементів виникають великі інтегральні, що призводить до велика споживча потужність, що зараз стає дуже великою проблемою, в зв'язку з проблемами відводу тепла від кристала
- великі ємності та індуктивності елементів, що не дозволяє збільшувати робочу частоту пристрою

Таким чином, основною проблемою сучасної напівпровідникової електроніки є зменшення розмірів базового елемента.

Одним із можливих шляхів розв'язання цієї проблеми є використання напівпровідникових елементів на основі структур з тунельно-тонкими окислами. В таких структурах досягнені зараз товщини окислів складають 40-100 Å. Прилади, що побудовані на основі таких структур мають наступні переваги над існуючими приладами, виготовленими за класичною технологією :

- малий розмір базового елемента (розмір самого елемента приблизно дорівнює товщині плівки окисла)
- за рахунок малих розмірів зменшуються паразитні ємності та індуктивності, отже прилад може працювати на більш високих частотах
- мала споживча потужність отриманого приладу
- малий розмір кінцевого кристалу

Отже, вивчення властивостей таких структур зараз є дуже перспективним напрямком досліджень в галузі напівпровідникової мікроелектроніки.

1.2 Прилади з тунельно-тонкими окислами

Критерієм, який визначає, коли метал-тонкий діелектрик-напівпровідник (МТДН) структура є системою, що відрізняється від класичною МДН структури, є товщина тонкого діелектрика [8]. МТДН структура є особливою системою, якщо ця товщина співрозмірна з довжиною хвилі для електрона. Для електронів, які мають середнє значення теплової енергії (при температурі 300К), критичною товщиною ТД є $8 \cdot 10^{-7}$ см. МТДН структури з такою товщиною – тунельні структури.

До тунельних МТДН слід також відносити наступні структури з тонким перехідним шаром :

- метал – широкозоний – вузькозоний напівпровідник
- метал – квазіаморфний напівпровідник (твердий розчин метала в напівпровіднику)
– напівпровідник

На основі МТДП структур можуть бути розроблені елементи мікроелектроніки, які можна розділити на дві основні групи :

1. Активні та пасивні елементи на МТДН структурах, робота яких визначається властивостями шару ТД : фотодіод, кріоелектроний та високотемпературний діоди, резистор, ємність.
2. Активні та пасивні елементи на МТДН структурах, параметри яких залежать від властивостей поверхневих станів (ПС) : кріоелектроний діод, варакторний діод, датчик тиску, низькотемпературний омичний контакт, індуктивність.

В елементах першої групи використовуються наступні процеси в структурах : накопичення неосновних носіїв заряду в шарі Шотке у поверхні напівпровідника, зміна падіння напруги на шарі ТД при прикладенні напруги до структури, інжекція неосновних носіїв заряду.

В елементах другої групи використовуються такі процеси в структурах : участь ПС або глибоких рівнів в ОПЗ напівпровідника як проміжних центрів при проходженні носіїв заряду крізь шар ТД та ОПЗ напівпровідника (так зване резонансне тунелювання), перезавповнення ПС, яке керує перерозподілом напруги між шаром ТД і ОПЗ, зміна зі зміною напруги переважаючого механізму обміну ПС, накопичення носіїв на ПС.

Як серед елементів першої групи, так і серед елементів другої, є такі, які принципово не можуть бути створені на основі структур без шару ТД. До таких можна віднести елементи, в яких використовується накопичення неосновних носіїв заряду у поверхні напівпровідника (напівпровідникові фоторезистори з помноженням, фото діоди, МТДН транзистори), а також елементи, властивості яких визначаються зміною падіння напруги на ТД при прикладенні напруги до структури.

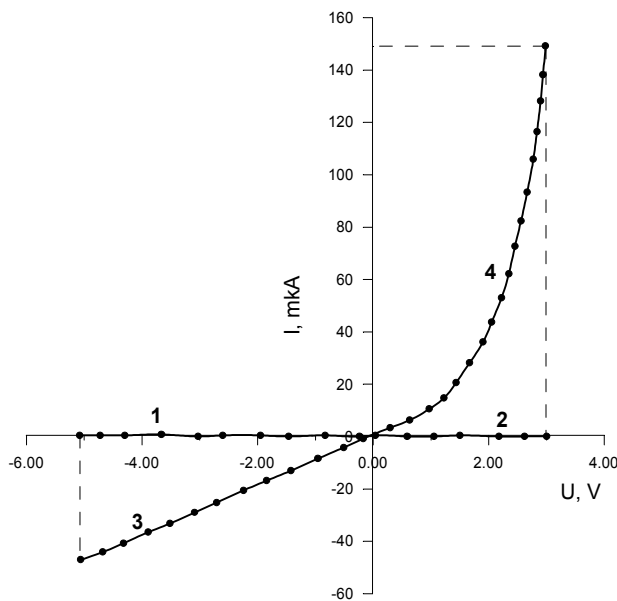
1.3 Комірка пам'яті, як приклад приладу, що базується на основі ефектів в тунельно-тонких окислах.

В якості приладу, що базується на ефектах в тунельно-тонких окислах, розглянемо комірку пам'яті [7]. Такий вибір прикладу пов'язаний з тим, що розробка напівпровідникових елементів енергонезалежної пам'яті залишається досить актуальною. Особливо велику



цікавість викликають елементи, технологія виготовлення яких сумісна з кремнієвою інтегральною технологією. Одним з таких елементів є гетероструктура $Si - SiO_2 - Si_3N_4 - метал$. При заміні в ній двохшарового діелектрика на тонку плівку двоокису кремнію, збагачену кремнієм SiO_2 / Si виникає ефект перемикання та енергонезалежної пам'яті.

ВАХ структури наведено на графіку 1.



Після виготовлення структура перебуває в стані з високим опором (ділянки 1 та 2), який характеризується дуже малими струмами ($10^{-10} - 10^{-12} A$). При досягненні деякої від'ємної відносно підкладинки напруги вмикання ($V_{вмик} = -5B, I_{вмик} = 10^{-10} A$) відбувається стрибкоподібний перехід із стану з високим опором у стан з низьким опором. Стан з низьким опором (ділянки 3 та 4) характеризується нелінійною ВАХ. При напрузі +2В провідність в ввімкненому стані

приблизно на шість порядків більша, ніж у вимкненому. Характерний час вмикання – 100 нс. Вимикання, тобто перехід із стану з низьким опором у стан з високим опором, відбувається стрибкоподібно при зворотній полярності напруги та струмів ($V_{вимкн} = 3B, I_{вимкн} = 150 мкА$). Час зберігання інформації в такій структурі – приблизно 2 місяці. Структура без значних деградацій витримує приблизно 1000 перемикань.

1.4 Можливі ускладнення при дослідженні електричних властивостей

Ускладнення, які виникають при дослідженні електричних властивостей вищеописаних структур пов'язані з тим, що різкі зміни швидкості наростання струму (напруги) вимагають застосування вимірювальної техніки, яка автоматично адаптується до умов, які досить сильно змінюються в процесі одного вимірювання. Інакше, або отримана залежність не відповідає дійсним характеристикам прилада, або взагалі процес вимірювань призводить до його руйнування.

Напівпровідникові структури з неоднозначністю струму або напруги повинні досліджуватися в двох режимах живлення – генератора струму та генератора напруги. В одному з цих режимів (в залежності від типу неоднозначності вольт-амперної характеристики (ВАХ)) при живленні структури постійним струмом в колі виникають періодичні коливання. Дослідження параметрів цих коливань та їх часової стабільності також є однією з задач по вивченню цих структур.

Для досліджень тунельно-прозорих діодів та структур з неоднозначною залежністю струму та напруги на їх основі була розроблена система, яка дозволяє проводити автоматичний контроль наступних характеристик :

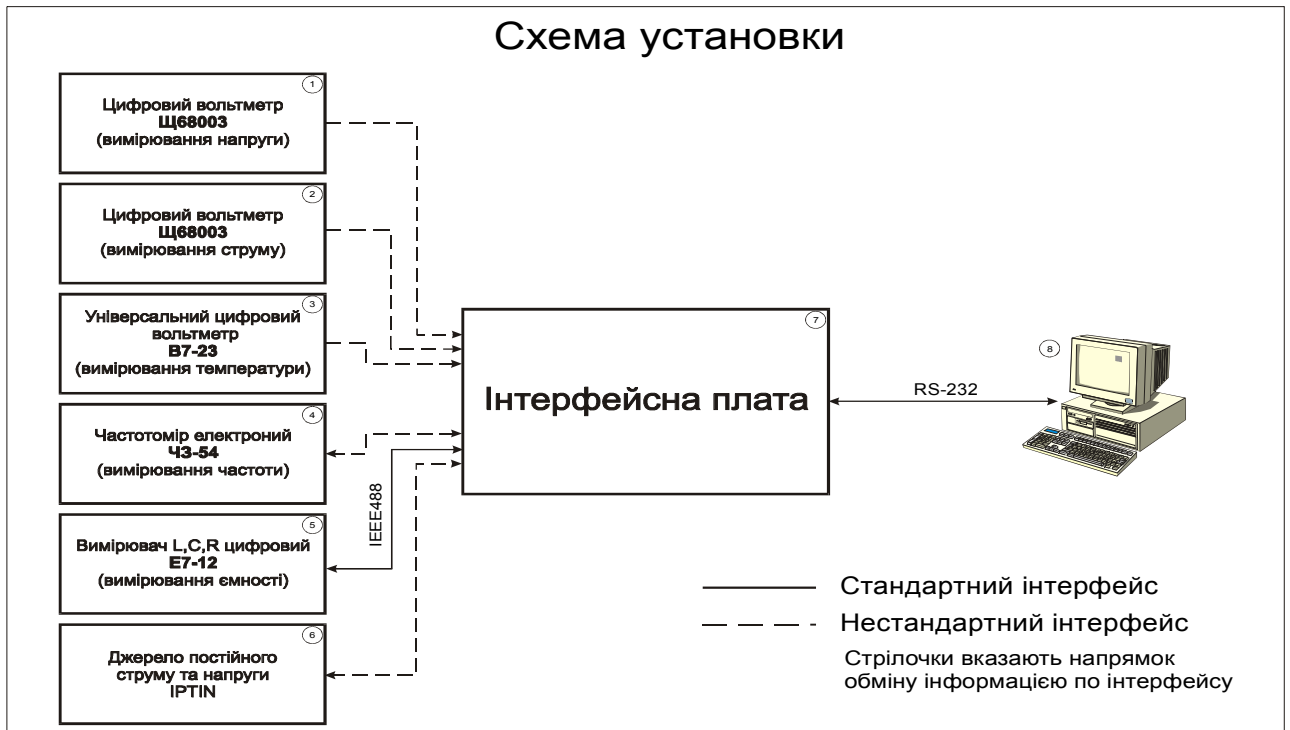
1. Прямі та обернені вольт-амперні характеристики (ВАХ)
2. Прямі та обернені ампер-вольтні характеристики (АВХ)
3. Залежність частоти генерації зразків від струму
4. Дослідження стабільності частоти генерації зразка
5. Залежність частоти генерації від температури
6. Залежність ємності від напруги

1.5 Мета роботи

Виходячи з вищеприведеного, процес дослідження властивостей тунельно-тонких структур треба автоматизувати. Саме автоматизації процесу вимірювання електричних характеристик таких структур і присвячено ця робота. Основною темою роботи є розробка апаратної частини автоматизованої системи.

2. Опис установки

Установка, для проведення вищезгаданих експериментів, складається з наступних компонентів (мал. 1) :



Мал. 1

1. Цифровий вольтметр Щ68003. Використовується в режимі вимірювання напруги. За допомогою цього вольтметра робиться вимірювання напруги на зразку під час вимірювання ВАХ та АВХ. Цей прилад має нестандартний інтерфейс для зв'язку з зовнішніми пристроями. Обмін інформацією здійснюється лише в один бік – від приладу до інтерфейсної плати.
2. Цифровий вольтметр Щ68003. Використовується в режимі вимірювання струмів. Цей прилад використовується для вимірювання струму через зразок під час зняття ВАХ та АВХ. Зауваження щодо інтерфейсу є аналогічними до приладу 1.
3. Універсальний цифровий вольтметр В7-23. Цей прилад призначено для вимірювання різниці потенціалів на термопарі і, таким чином, вимірювання та контролю стабільності температури зразка. Цей прилад має нестандартний інтерфейс для зв'язку з зовнішніми пристроями. Обмін інформацією здійснюється лише в один бік – від приладу до інтерфейсної плати.
4. Частотомір електронний ЧЗ-54. Використовується для вимірювання частоти генерації зразка. Цей прилад має нестандартний інтерфейс зв'язку з зовнішніми пристроями. Цей пристрій допускає дистанційну зміну границь вимірювання. Обмін інформацією

здійснюється в обидва боки. Під час вимірів, інтерфейсна плата проводить автоматичну зміну границі вимірювання в залежності від величини на вході приладу.

5. Вимірювач L,C,R цифровий. Використовується для вимірювання ємності зразка. Це використовується при знятті C-V характеристик. Цей прилад має стандартний інтерфейс “Канал загального користування” (IEEE-488) для обміну інформацією з зовнішніми пристроями.
6. Джерело постійного струму та напруги (IPTIN). Використовується для генерації стабільного струму або напруги при вимірювання ВАХ та АВХ. Також цей пристрій містить в собі генератор напруги для пічки, яка підігріває зразок. Генератори струму, напруги і також напруги для пічки є дистанційно-керованими. Цей прилад має нестандартний інтерфейс обміну інформацією з зовнішніми пристроями. Обмін інформацією йде в обидва боки.
7. Інтерфейсна плата. Використовується для зв'язку між вимірювальними приладами та ЕОМ. Основна задача цієї плати – стандартизація протоколу обміну. Плата базується на однокристальному мікроконтролері AT89C52 фірми ATMEL та низці шинних формувачів KP580BB55.
8. ЕОМ. Використовується для проведення експерименту та подальшої обробки отриманої інформації.

Технічні характеристики комплексу

<i>Характеристика</i>	<i>Величина</i>
Діапазон значень по напрузі на зразку (режим генератора напруги)	0 .. +100 В 0 .. -100 В (при струмі до 2 мА)
Діапазон значень по струму на зразку (режим генератора струму)	0.5 .. 500 мкА (при напрузі до 100 В)
Дискретність кроку по струму	0.5 мкА
Дискретність кроку по напрузі	0.1 В
Діапазон встановлюємих температур	-60 .. +60 градусів Цельсія
Точність стабілізації температури в заданій точці	+/- 0.005 градусів Цельсія
Точність вимірів ВАХ та АВХ	Відповідає точності цифрового вольтметра Щ68003 на відповідних діапазонах
Точність вимірювань частоти	Відповідає точності вимірів частотомера ЧЗ-54

Точність вимірювань ємності	Відповідає точності вимірів цифрового вимірювача ємності E7-12
Швидкість каналу обміну інтерфейсна плата – EOM	115200 біт/с

Таблиця №1

3. Опис інтерфейсної плати

Виходячи з того, що майже всі вищезгадані вимірювальні прилади використовують для обміну інформацією з зовнішніми приладами нестандартні інтерфейси, для реалізації процесу автоматизації установки виникає потреба в створенні інтерфейсної плати. Така плата може бути реалізована двома шляхами :

- як внутрішня інтерфейсна плата для ЕОМ, яка підключається до системної шини ISA ЕОМ
- як зовнішній пристрій, що підключено до ЕОМ за допомогою стандартного інтерфейсу (RS-232, Centronics тощо)

В даному випадку був обраний другий шлях реалізації інтерфейсної плати. Причинами такого вибору були :

- більш простий процес налагодження плати (не треба кожен раз підключати її до системної шини)
- менша кількість елементів, які треба використати (не треба, наприклад, розробляти та реалізовувати дешифратор адрес)
- відсутність потреби в швидкому обміні інформацією між ЕОМ та інтерфейсною платою і вимірювальними приладами
- можливість використання на ЕОМ, до якого підключено інтерфейсну плату, різноманітні операційні системи, тому що всі системи мають вже написані драйвери для СОМ-портів, в той же час, якщо реалізувати плату як внутрішню інтерфейсну плату ЕОМ, то для кожної операційної системи треба писати драйвер пристрою, що є достатньо нетривіальною задачею.

В якості інтерфейсу для обміну інформацією між ЕОМ та інтерфейсною платою було обрано RS-232. В першу чергу, це пов'язано з тим, що в мікроконтролер AT89C52 [1], на основі якого і побудовано плату, інтегровано контролер цього інтерфейсу, тобто окрім перетворювача рівнів TTL<->RS-232 (MAX232), не потрібно більш ніяких додаткових вузлів. Окрім того, цей протокол задовольняє пропускну здатність для каналу ЕОМ-інтерфейсна плата (в даному випадку) та є доволі захищеним, тобто є можливість розміщувати ЕОМ та саму вимірювальну установку на доволі великих відстанях (до 50 метрів), в чому може виникнути потреба при досить прецизійних вимірюваннях.

Розглянемо структурну схему інтерфейсної плати (мал. 2). Цей малюнок, з огляду на його великі розміри, було винесено у вигляді додатку 1.

В загальному випадку, плата являє собою низку шинних формувачів KP580BB55 (закордонним аналогом є 82C55 [2]), до портів яких підключено зовнішні пристрої (вимірювальна техніка). Між собою шинні формувачі виводами (D0-D7) об'єднані в 8-бітну двонаправлену шину даних (ШД), яка в свою чергу підключена до порта P0.0-P0.7 мікроконтролера AT89C52. По шині йде обмін даними між мікроконтролером та шинними формувачами та програмування останніх. Адресними виводами (A0-A1) шинні формувачі також об'єднані між собою та підключені до двох молодших бітів (P1.0-P1.1) порта P1 мікроконтролера. За допомогою цих

двох ліній відбувається адресація порта шинного формувача або його керуючого слова. Відповідність адреси до вибраного елемента шинного формувача наведено в таблиці №2.

A0	A1	Обраний елемент
0	0	Порт А
0	1	Порт В
1	0	Порт С
1	1	Керуюче слово

Таблиця №2

Виводи \overline{RD} шинних формувачів, які, перебуваючи у стані логічного нуля, сигналізують про читання даних із шинного формувача до мікроконтролера, об'єднано між собою та підключено до першого біта (P2.1) порта P2 мікроконтролера. Аналогічно, виводи \overline{WR} шинних формувачів, що відповідають за запис інформації із мікроконтролера, підключено до нульового біта (P2.0) порта P2 мікроконтролера. Селекція активного шинного формувача відбувається за рахунок подання на нього сигналу \overline{CS} , якій формується на дешифраторі U3,

Входи					Виходи																	
$\overline{G1}$	$\overline{G2}$	D	C	B	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблиця №3

в якості якого використано мікросхему K155ИД3 [5]. Ця мікросхема є дешифратором на 16 виходів та 4 входи. Активним на виході є нульовий рівень. Дозволом на роботу для цієї

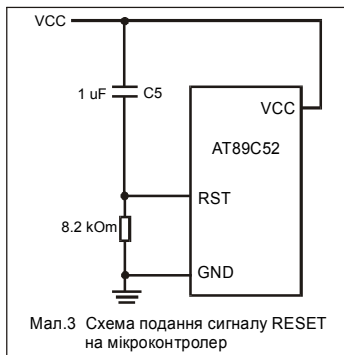
мікросхеми є одночасна подача на входи $\overline{G1}$ та $\overline{G2}$ низького рівня. В залежності від кода на входах А,В,С,Д на виході у відповідності до таблиці №3, з'являється сигнал.

Мікросхема U5 використовується як перетворювач рівнів TTL<->RS-232. В якості U5 використовується мікросхема MAX232 [6]. Необхідні рівні напруг формуються за рахунок вбудованого помножувача напруги, для роботи якого потрібні зовнішні ємності С1-С4.

Живлення інтерфейсної плати відбувається від джерела постійної напруги 8-12 В. В якості стабілізатора використана мікросхема КРЕН5А. На її виході отримується стабілізована напруга живлення величиною 5В.

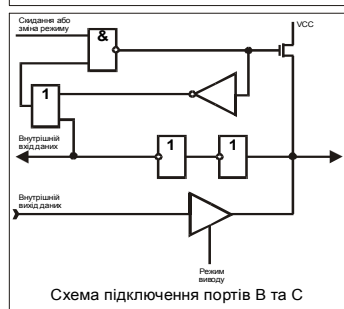
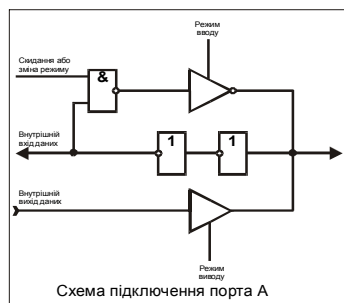
4. Опис роботи інтерфейсної плати

Одразу ж після ввімкнення живлення, за рахунок ємності C5 йде встановлення сигналу



RESET на мікроконтролер, який тримається близько 5.7 мкс (таку оцінку можна зробити, виходячи з того, що в мікроконтролері вивід RESET з'єднано з землею через опор 8.2 кОм [3] та що сигнал RESET є дійсним, доки напруга на вході RESET не знизиться до половини напруги живлення (мал. 3)).

Після цього починається виконання програми, що записано у внутрішню пам'ять мікроконтролера. Опис дій по внутрішній ініціалізації мікроконтролера описано в наступному розділі. Після проведення внутрішньої ініціалізації починається процедура ініціалізації інтерфейсної плати, яка полягає в програмуванні шинних формувачів.



Мал.4 Внутрішні схеми підключення портів А, В, С

Розглянемо цей момент докладніше. Для кожного шинного формувача треба запрограмувати режим, в якому працюють його порти та напрямок передачі інформації через ці порти – від шинного формувача до зовнішнього пристрою або навпаки.

Шинний формувач типу KP580BB55A містить у собі три 8-бітні порти – А, В, С.

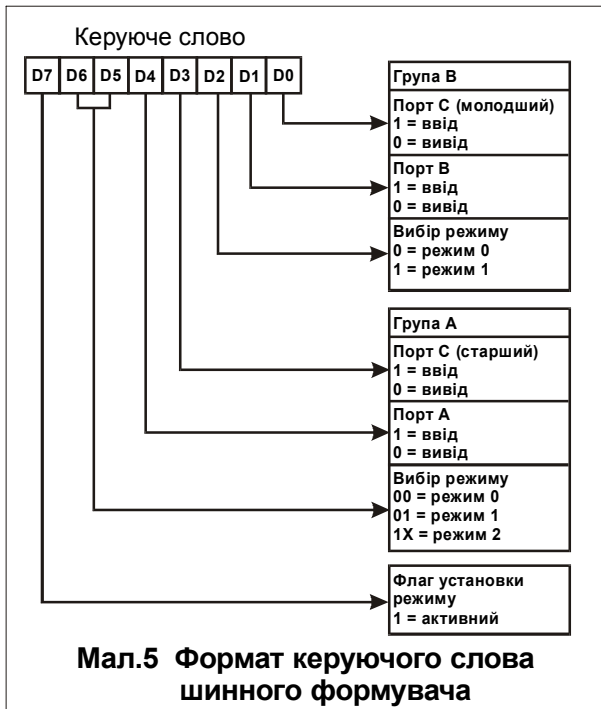
Порт А. Один 8-бітний вихід з буфером/регістром та один 8-бітний вхід з регістром. Схему підключення порта до внутрішніх шин зображено на мал.4, верхня частина.

Порт В. Один 8-бітний вихід-вхід з буфером/регістром та один 8-бітний вхід з буфером. Схему підключення порта до внутрішніх шин зображено на мал.4, нижня частина.

Порт С. Один 8-бітний вихід з буфером/регістром та один 8-бітний вхід з буфером. Цей порт може бути розділеним на два 4-бітні порти. Схему підключення порта до внутрішніх шин зображено на мал.4, нижня частина.

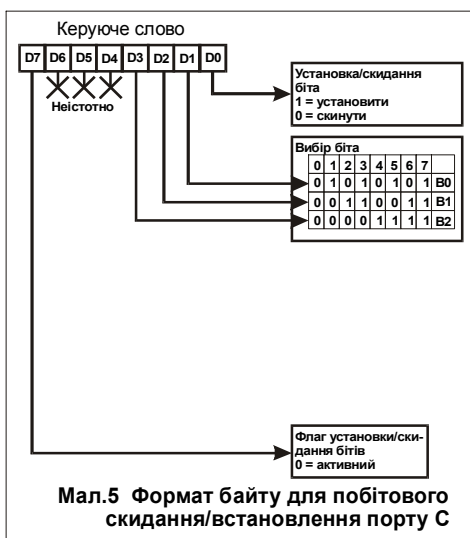
Шинний формувач може працювати в одному із трьох можливих режимів :

- Режим 0 – основний ввід-вивід
- Режим 1 – стробований ввід-вивід
- Режим 2 – двонаправлена шина



Після подання сигналу RESET всі порти будуть переведено у режим вводу та на всіх 24 лініях портів буде виставлено логічну одиницю. Після зняття сигналу RESET шинний формувач залишається в режимі вводу без якихось додаткових ініціалізацій. Керуюче слово буде утримувати значення 9Bh. Під час роботи плати може бути обраний інший режим роботи. Усі вихідні регістри скидаються при зміні режиму. Режим роботи обирається шляхом запису нового керуючого слова. Формат керуючого слова наведено на мал. 5. Довільний порт, який було запрограмовано на вивід, ініціалізується в нуль при запису

керуючого слова в мікросхемі. Режими роботи портів А та В можуть бути визначені окремо, в той же час як порт С розділено на дві 4-бітні половини, режим яких визначається відповідно режимом порта А або порта С.



Також для порта С присутня можливість побітного скидання-встановлення даних. Для цього по адресу керуючого слова записується байт даних, формат якого зображено на мал.6

Всі порти всіх шинних формувачів інтерфейсної плати працюють в режимі 0. Його характерні особливості :

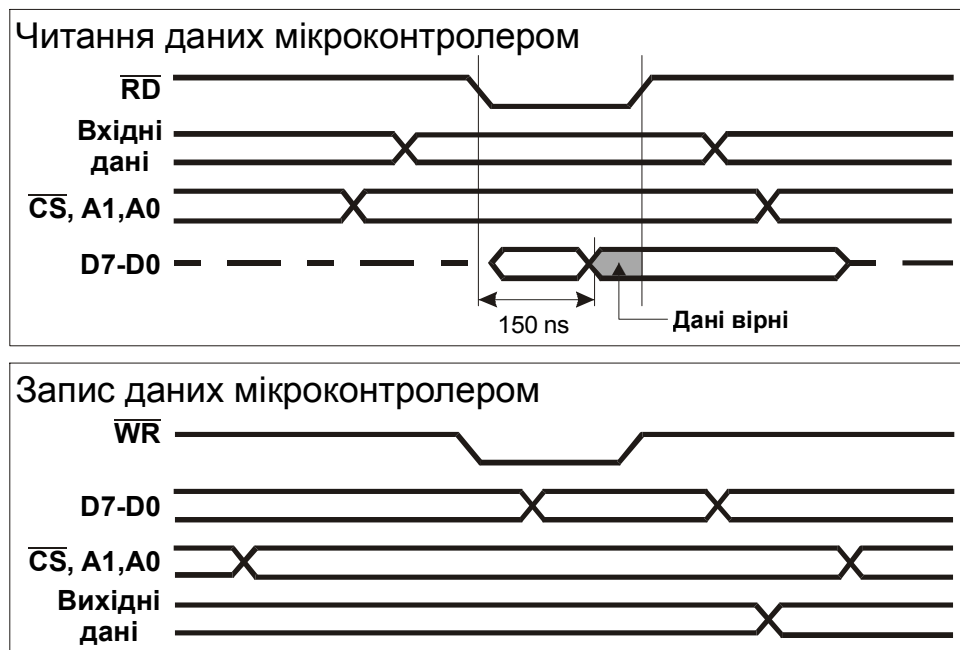
- два 8-бітні та два 4-бітні порти
- кожний порт може працювати як на ввід так і на вивід даних
- вихід буферизований
- вхід небуферизований

При ініціалізації інтерфейсної плати до шинних формувачів записуються наступні данні (табл. №4).

Мікросхема	Керуюче слово	Коментарі
U1	не виводиться	Всі порти працюють на ввід даних
U2	не виводиться	Всі порти працюють на ввід даних
U6	80h	Всі порти працюють на вивід даних
U7	не виводиться	Всі порти працюють на ввід даних
U8	9Ah	Порти А, В та старша тетрада порта С працюють на ввід даних, молодша тетрада порта С працює на вивід

Таблиця №4

Після проведення початкової ініціалізації плата переходить в робочий режим. В робочому режимі контролер приймає байти від комп'ютера, доки не прийме повну послідовність командою. Після цього призупиняється приймання даних від комп'ютера і контролер починає виконувати прийняту команду. Під час виконання команди йде обмін інформацією між контролером та шинними формувачами і зовнішніми пристроями. Більш детально процес обміну з кожним пристроєм буде розглянуто в наступному розділі. Тут лише доцільно навести часові діаграми сигналів, що формує мікроконтролер та шинні формувачі під час обміну інформацією :

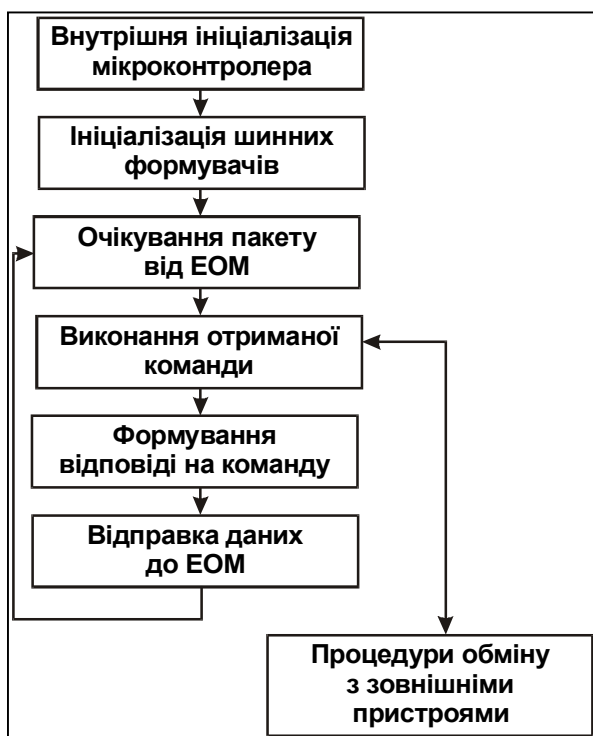


Після виконання команди мікроконтролер формує послідовність байт, яка починає передаватися до комп'ютера. Після завершення передачі мікроконтролер починає приймання даних від комп'ютера, переходячи в робочий режим.

5. Внутрішня програма мікроконтролера AT89C52 інтерфейсної плати.

Внутрішня програма мікроконтролера інтерфейсної плати написана мовою асемблера та містить близько 1000 команд. Лістинги програми наведено в доданку 2 до роботи. Далі будуть розглянуті лише основні аспекти її роботи.

Розглянемо блок-схему програми та опишемо кожну її частину:



1. Внутрішня ініціалізація мікроконтролера.

Під час цього етапу виконання програми відбувається ініціалізація пам'яті мікроконтролера, його портів, стеку, векторів переривань, програмування порту RS-232.

2. Ініціалізація шинних формувачів.

На цьому етапі виконується скидання шинних формувачів шляхом подання на них сигналу RESET, після чого йде їх програмування на бажані режими роботи. Також проводиться запис початкових значень в IPTIN (напруга чи струм та температура на виході встановлюються в нуль).

3. Очікування пакету від ЕОМ.

Основна програма мікроконтролера простоює, в той час як йде прийом байтів від ЕОМ через переривання. Після прийому повного пакету прийом даних від ЕОМ припиняється та виставляється прапор, що сигналізує головній програмі про прийом нового пакету від ЕОМ.

4. Виконання отриманої команди.

Після того, як програма обробки переривання виставить прапор про надходження нового пакету даних, починається його аналіз. В залежності від команди, викликається відповідна процедура, що виконує обмін даними з певним приладом та повертає статус виконання команди та дані (якщо потрібно).

5. Формування відповіді на команду.

Після виконання процедури обміну даними з приладом на основі отриманої відповіді формується пакет, який ставиться в чергу на передачу.

6. Відправка даних до ЕОМ.

Основна програма мікроконтролера простоює, в той час як з переривання йде відправка сформованого пакету до ЕОМ. По закінченню передачі останнього байту виставляється дозвіл на прийом даних від ЕОМ. Програма повертається до стану 2.

Нижче буде в декількох словах описано протокол обміну даними з кожним приладом.

1. Цифровий вольтметр Щ68003 (вимірювання струму). Виходячи з відсутності сигналу готовності від цього приладу, відбувається лише читання двох байтів даних та біту перевантаження пристрою.
2. Цифровий вольтметр Щ68003 (вимірювання напруги). По-перше, йде перевірка приладу на перевантаження. Якщо воно є, формується статус перевантаження і відбувається вихід із підпрограми. Інакше йде читання даних. В даному випадку готовність приладу видавати дані оцінюється так – очікується підняття сигналу “готов” в логічну одиницю, після чого очікується два його спадання в логічний нуль. Якщо цього не відбулося у встановлений час, формується статус тайм-ауту, інакше йде читання двох байт даних та біту знака величини.
3. Цифровий вольтметр В7-23. Т.я. у цього приладу взагалі відсутні будь-які сигнали, з яких можна дізнатися про його статус, то читання даних тут йде наступним чином – читаються два байти даних, після чого знов читаються два байта даних. Якщо ці пари байт рівні – то вважається, що отримано вірні дані, якщо ні, то операція повторюється ще 255 разів, після чого формується статус – “невірні дані”.
4. ІРТІН. В загальному випадку, тут нема ніяких особливостей обміну. Для генератора струму-напруги треба виставити 10-бітне число, після цього подати строб запису. Для пічки достатньо просто виставити 10-бітне число, яке увесь час треба утримувати на виході. Статус ІРТІН визначається за рахунок читання відповідних ліній його інтерфейсу, призначення яких зрозуміло з позначень на схемі.
5. Вимірювач частоти цифровий ЧЗ-54. В цьому випадку запуск приладу відбувається шляхом установки сигналу “запуск”, після чого йде очікування сигналу готовності, в разі відсутності якого формується статус тайм-аут. Межі вимірювання виставляються програмно та автоматично корегуються. Спочатку проводиться вимірювання на найбільш грубому діапазоні, після чого, в залежності від отриманої величини, йде відповідна корекція діапазону вимірювань.

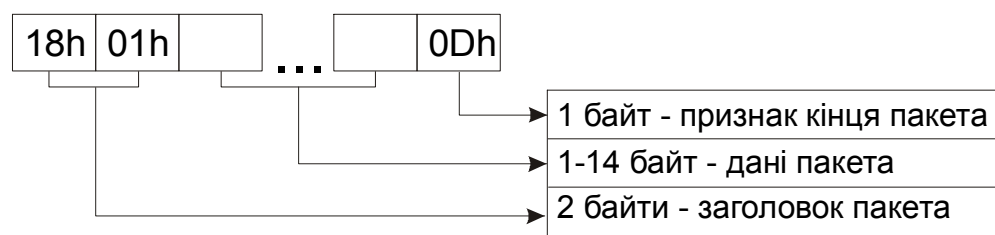
6. Протокол обміну даними між інтерфейсною платою та комп'ютером

Фізичним протоколом для обміну даними між інтерфейсною платою та ЕОМ є RS-232. Обмін йде по трьох провідній лінії – використовуються сигнали TXD, RXD, GND. Передача йде – 8 біт даних, 1 старт-біт, 1 стоп-біт, контроль по парності відсутній. Обмін йде на швидкості 115200 біт/секунду. Але з погляду на те, що швидкість обміну даними між інтерфейсною платою та ЕОМ не є критичною у масштабі швидкості обміну з вимірювальними приладами, швидкість каналу інтерфейсна плата – ЕОМ може бути зменшена, наприклад для зменшення кількості помилок при роботі на досить довгій лінії зв'язку.

Наступним в стеці протоколів одразу йде логічний протокол. Треба одразу зазначити, що використаний в даному випадку логічний протокол не передбачає перевірки даних на хибність в результаті завад при передачі. Така перевірка в розглядуваному випадку не є доцільною, виходячи з невеликих по довжині каналів зв'язку та відсутності потужних джерел завад. Взаємодія між інтерфейсною платою та ЕОМ базується на обміні пакетами. Пакети можуть бути двох типів – команда та результат виконання команди. Від ЕОМ до інтерфейсної плати завжди йдуть пакети типу “команда”, в той же час як в зворотньому напрямку йдуть пакети типа “результат виконання команди”.

Обмін між ЕОМ та інтерфейсною платою виглядає таким чином – ЕОМ висилає до плати пакет-команду. Після її отримання плата виконує необхідну операцію і висилає до ЕОМ пакет-результат виконання команди.

Розглянемо формат пакетів. В загальному випадку, і пакет-команда і пакет-результат мають спільну структуру :

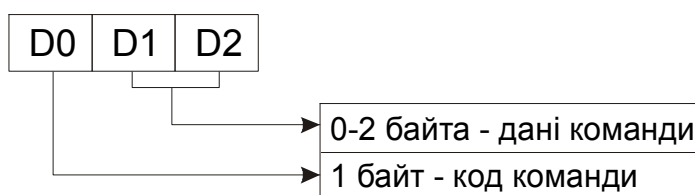


Байти 18h та 0Dh є службовими. Перший з них є ознакою сервісного байта, що йде після нього, другий – ознака кінця пакету. Отже, якщо в пакеті зустрічається один з цих символів, то він підлягає екрануванню. Нижче наведено таблицю, що визначає можливі сервісні байти та їх значення :

Перший байт	Другий байт	Значення	На що замінюється
18h	01h	Сигналізує про початок пакету	ні на що
18h	02h	Призначено для екранування байту 0Dh в тілі пакету	0Dh
18h	03h	Призначено для екранування байту 18h в тілі пакету	18h

Таблиця №5

Розглянемо формат даних для пакета-команди :



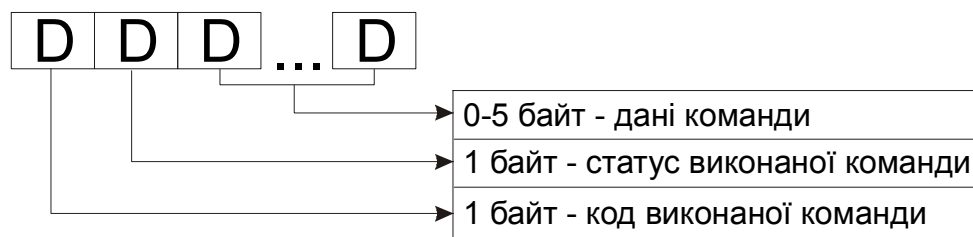
Максимальна довжина даних для пакета-команди – 3 байта (не враховуючи екранування).

В залежності від команди, у команди може бути або 2 байти даних команди, або ж дані команди можуть бути відсутні. Нижче наведено таблицю команд (може бути розширена в майбутньому) :

Код команди	Кількість байт даних	Опис команди
01h	0	Прочитати стан IPTIN. Не потребує додаткових даних.
02h	2	Встановити напругу або струм на виході IPTIN. Дані – 10 бітний код числа.
03h	2	Встановити температуру. Дані – 10 бітний код числа.
04h	0	Прочитати напругу з вольтметра В7-23.
05h	0	Прочитати напругу з вольтметра Щ68003
06h	0	Прочитати струм з вольтметра Щ68003
07h	0	Прочитати частоту з частотоміра Ч3-54. Інтерфейсна плата автоматично вибирає межі вимірювань.
08h	0	Прочитати корегуюче значення напруги (напруга на вольтметрі Щ68003 при замкненому виході IPTIN)

Таблиця №6

Розглянемо формат даних пакета-результата команди :



Максимальна довжина даних для пакета-результата команди – 7 байт (не враховуючи екранування).

В залежності від команди кількість даних команди може варіюватися від 0 до 5 байт.

В другому байті формується статус виконаної команди. Нижче наведено таблицю можливих значень цього байту з поясненнями (може бути розширена в майбутньому) :

Код статусу	Що означає
00h	Команду виконано без помилок. Дані в пакеті вірні.
01h	Прочитано невірні дані з приладу. Дані в пакеті невірні.
02h	Тайм-аут по очікуванню даних від приладу. Дані в пакеті невірні.
03h	Перевантаження приладу. Дані в пакеті невірні.

Таблиця №7

В залежності від команди, поле даних команди утримує такі дані :

Код команди	Кількість байт даних	Номер байту даних	Що містить
01h	1	0	Молодший біт інформує про режим роботи IPTIN
02h	0	--	--
03h	0	--	--
04h	3	0	Знак напруги. 01h – "+", FFh – "-"
		1	Старший байт напруги в BCD
		2	Молодший байт напруги в BCD
05h	3	0	Знак напруги. 01h – "+", FFh – "-"
		1	Старший байт напруги в BCD
		2	Молодший байт напруги в BCD
06h	2	0	Старший байт струму в BCD
		1	Молодший байт струму в BCD

07h	3	0	Межа вимірів 0 – 1 1 – 0.1 2 – 0.01 3 – 0.001
		1	Старший байт частоти в BCD
		2	Молодший байт частоти в BCD
08h	3	0	Знак напруги. 01h – “+”, FFh – “-“
		1	Старший байт напруги в BCD
		2	Молодший байт напруги в BCD

Таблиця №8

7. Висновки

В ході виконання проекту було розроблено та виготовлено апаратну частину системи автоматизації експерименту по дослідженню електричних властивостей структур на основі тунельно-тонких окислів.

З огляду на те, що всі вимірювальні прилади, які використовуються в згаданому експерименті мають нестандартні інтерфейси, однією з головних функцій інтерфейсної плати була стандартизація інтерфейсу обміну між комп'ютером та вимірювальною установкою. Всі приладозалежні функції винесено до інтерфейсної плати, тому заміна одного прилада іншим призведе тільки до модифікації внутрішньої програми мікроконтролера, що обслуговує інтерфейсну плату, і ніяким чином не вплине на програмне забезпечення, що обслуговує експеримент на ЕОМ.

Розглянуті можливі варіанти реалізації інтерфейсної плати та обрано такий, при якому інтерфейсна плата виконана у вигляді окремого приладу, що веде обмін інформацією з ЕОМ за допомогою інтерфейсу RS-232.

Подальшим напрямком работ по автоматизації цього експерименту є розробка програмного забезпечення для ЕОМ, задачами якого керування установкою під час експерименту та подальша обробка результатів.

8. Список використаної літератури

1. “AT89C52 - 80C32 Microcontroller with 8K bytes Flash” // <http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc0313.pdf>
2. “89C55A – CMOS Programmable Peripheral Interface” // <http://www.intersil.com/data/FN/FN2/FN2969/FN2969.pdf>
3. Atmel Corporation Microcontroller Data Book October 1995
4. В.В. Сташин, А.В. Урусов, О.Ф. Мологонцева «Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтролерах». –М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.
5. М.И. Богданович, И.Н. Грель, В.А. Прохоренко, В.В. Шалимо «Цифровые интегральные микросхемы» : Справ. – Мн.: Беларусь, 1991. – 493 с.: ил.
6. “+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers” // <http://pdfserv.maxim-ic.com/arpdf/1798.pdf>
7. Григорян Л.Н., Бару В.Г., Елинсон М.И., Покалякин В.И., Терешин С.А. «Переключение и память в структурах $Si-SiO_2/Si-метал$ » // Микроэлектроника, том 16, вып. 2, 1987 г., с. 181.
8. Бузанева Е.В. «Микроструктуры интегральной электроники». – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с: ил.