

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Шутко В.М.
« ____ » _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 153 «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ
«ФІЗИЧНА ТА БІОМЕДИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»

Тема: «Надійність одноелектронних програмованих наносхем»

Виконавець
студентка групи ФЕ-237М _____ Тишкова Ірина Олександрівна

Керівник
к.т.н., доцент _____ Мельник О.С.

Консультант розділу
«Охорона праці» _____ Козлітін О.О.

Консультант розділу
«Охорона навколишнього
середовища» _____ Радомська М.М.

Нормоконтролер _____ Сініцин Р.Б.

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра: електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей

Напрямок (спеціальність, спеціалізація): 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
В. М. Шутко
«__»_____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Тишкова Ірина Олександрівна

(П.І.Б., випускника)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Надійність одноелектронних програмованих наносхем»

затверджена наказом ректора від « 09» вересня 2022 р.

№1351/ст

2. Термін виконання роботи: з 26 вересня 2022 р. по 17 листопада 2022 р.

3. Вихідні дані роботи: розробити згідно сучасних вимог алгоритми проектування програмованої одноелектронної наносхеми.

4. Зміст пояснювальної записки: перелік умовних скорочень, вступ, схемотехніка одноелектроніки, програмованні одноелектронні наносхеми, надійність працездатності одноелектронних наносхем, охорона праці, охорона навколишнього середовища, висновки, список використаної літератури.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: графічне представлення результатів програмування одноелектронних наносхем, схеми, рисунки, таблиці.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Огляд та обробка літератури за темою кваліфікаційної роботи	27.09.2022	
2.	Аналіз існуючих рішень	01.10.2022	
3.	Підготовка матеріалів першого розділу кваліфікаційної роботи	09.10.2022	
4.	Підготовка матеріалів другого розділу кваліфікаційної роботи	14.10.2022	
5.	Підготовка матеріалів третього розділу	23.10.2022	
6.	Підготовка матеріалів четвертого та п'ятого розділів	01.11.2022	
7.	Оформлення документації кваліфікаційної роботи	10.11.2022	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, ПІБ)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Старший викладач Козлітін Олексій Олександрович		
Охорона навколишнього середовища	Доцент, к.т.н Радомська Маргарита Мирославівна		

8. Дата видачі завдання: « 26 » вересня 2022 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис керівника)

Мельник О.С.
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис випусника)

Тишкова І.О.
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Надійність програмованих одноелектронних наносхем»: сторінок 79, рисунків 47, таблиці 8, використаних джерел 8.

КВАНТОВІ КОМІРКОВІ АВТОМАТИ, ОДНОЕЛЕКТРОННИЙ ТРАНЗИСТОР, ТЕРМОГЕНЕРАЦІЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ.

Об'єкт дослідження – Одноелектронна програмована наносхема на квантових коміркових автоматах.

Предмет дослідження – Комп'ютерне моделювання та експериментальне проектування одноелектронної наносхеми з програмованою логікою матриці квантових автоматів.

Мета роботи – розробити комп'ютерну модель проектування наноелектронної схеми програмованої матриці логічних блоків, яка побудована на технології квантових коміркових автоматів та дослідити її експлуатаційні параметри та характеристики.

Метод дослідження – моделювання та автоматизоване проектування програмованих одноелектронних наносхем в САПР QCADesigner, побудованих на архітектурі квантових коміркових автоматів.

Робота присвячена методології аналізу надійності одноелектронної наносхеми. Також в роботі розглянуто наносхему на базі універсальних мажоритарних елементів (УМЕ) на квантових коміркових автоматах. Головні параметри, які характеризують прилади це швидкодія та низьке споживання електроенергії. Прилади, які спроектовані на основі таких компонентів забезпечують подальший прогрес електроніки. Одним із шляхів прогресу є проектування пристроїв, в яких можливо контролювати переміщеннями визначеної кількості електронів, зокрема одного.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 СХЕМОТЕХНІКА ОДНОЕЛЕКТРОНИКИ	10
1.1. Одноеклетронні транзистори	10
1.2. Схеми на одноеклетронних транзисторах	15
1.3. Висновок до першого розділу	24
РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМОВАНІ ОДНОЕЛЕКТРОННІ НАНОСХЕМИ	25
2.1. Особливості програмування одноеклетронних наносхем	27
2.2. Мажоритарна наноеклетроніка	32
2.3. Одноеклетронні наносхеми на квантових автоматах	35
2.4. Наносхеми на мажоритарних одноеклетронних елементах	37
2.5. Висновок до другого розділу	40
РОЗДІЛ 3 НАДІЙНІСТЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ОДНОЕЛЕКТРОННИХ НАНОСХЕМ	41
3.1. Програмування логічних функцій	42
3.2. Моделювання кріотемпературного впливу на виконання логічних функцій ...	50
3.3. Методологія розрахунків надійності наносхем	53
3.4. Висновок до третього розділу	55
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1. Перелік шкідливих та небезпечних факторів у робочій зоні	57
4.2. Необхідні заходи для зменшення впливу небезпечних та шкідливих факторів на робочому місці	58
4.3. Основні правила техніки безпеки, пожежної та вибухової безпеки	68
4.4. Висновок до четвертого розділу	70
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	71
5.1. Заходи, які дозволяють зменшити негативний вплив електронних відходів	73

5.2. Висновок до п'ятого розділу	75
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БВВ	блоки вводу-виводу
БМК	базові матричні кристали
ДНФ	диз'юнктивна нормальна форма
ІС	інтегральна схема
КА	комірковий автомат
КЛБ	конфігуровані логічні блоки
КМОН	комплементарна структура метал-оксид напівпровідник
КНФ	кон'юнктивна нормальна форма
ЛЕ	логічні елементи
МЕ	мажоритарний елемент
МОН	метал-оксид напівпровідник
МРТ	матриця розподілу термів
ОЕТ	одноелектронний транзистор
ПБ	перемикаючі блоки
ПЛІС	програмована логічна інтегральна схема
ПЛМ	програмована логічна матриця
ПМЗ	програмована матриця з'єднань
ПМЛ	програмована матрична логіка
ПНЕС	програмовані наноелектронні системи
ППЗП	перепрограмовані запам'ятовуючі пристрої
ППЗП –	перепрограмовані запам'ятовуючі пристрої з електричним стиранням
ЕС	
УМЕ	універсальний мажоритарний елемент

ВСТУП

Слово методологія в перекладі з грецької означає: метод - шлях дослідження, логія - вчення, методологія – це вчення про шляхи дослідження.

Об'єктом вивчення для методології є продуктивний, творчий та дійовий метод, його сутність та сфера функціонування, структура та взаємодія з іншими методами й елементами пізнавального інструментарію, його відповідність характеру досліджуваного об'єкта та зв'язок з пізнавальною метою або цілями практичної діяльності.

Процесом модернізації найбільш важливих характеристик одноелектроніки, в тому числі швидкодії є зменшення розмірів електронних деталей, , на основі яких, проектуються та будуються прилади, пристрої та цілі системи теперішньої промисловості електроніки. До недавнього моменту розробники електронних пристроїв, приладів, систем найбільше зусиль прикладали для зменшення розмірів складових цих приладів, пристроїв, систем. Завдяки відповідно новим технологіям виготовлення електроніки вдається виготовляти пристрої максимально малими за розмірами.

Через високі темпи розвитку мікроелектроніки було зумовлено прихід ери нанотехнології. Майже всі досягнення в нано науці спершу оцінюються на подальшу перспективу використання в електроніці, комп'ютерній техніці та засобах зв'язку. Отже, завдяки зменшенню розмірів елементів техніки зменшується вартість на прилади, збільшується їхня швидкодія, знижується енергоспоживання.

Головні параметри, які характеризують це швидкодія та низьке споживання електроенергії. Прилади, які спроектовані на основі таких компонентів забезпечують подальший прогрес електроніки. Одним із шляхів прогресу є проектування пристроїв, в яких можливо контролювати переміщеннями визначеної кількості електронів, зокрема одного.

Виготовлення одноелектронних пристроїв відкриває великі перспективи цифрової одноелектроніки, в якій один біт інформації буде представлений одним електроном.

Переміщення електрона в таких пристроях відбувається за допомогою тунелювання. Тунелювання електрона займає дуже малий час, то границя швидкодії одноелектронних пристроїв дуже висока.

З іншої сторони, робота, необхідна для переміщення одного електрона, також мала, як наслідок, енергоспоживання одноелектронних схем повинно бути надзвичайно невеликим.

Аналіз літератури показав, що ця проблема є актуальною й донині, незважаючи на величезний інтерес до моделювання одноелектронного транзистора як з боку фундаментальних, так і прикладних дослідників. Положення цілого ряду дисциплін, що описують властивості об'єктів мікросвіту, що раніше носили чисто теоретичний характер, перевіряються на спроможність описувати експериментальні дані. І якщо в основних положеннях квантової механіки сумніватися не приходиться, то розроблені в рамках її математичні методи розв'язання прикладних задач часто сповнені невиправданими з точки зору розв'язання конкретного завдання спрощеннями.

РОЗДІЛ 1

СХЕМОТЕХНІКА ОДНОЕЛЕКТРОНІКИ

Основною характеристикою одноелектронних пристроїв є те, що можливо контролювати малу кількість носіїв заряду, можливо контролювати навіть один електрон. У цифровій одноелектроніці за допомогою одного електрона передається один біт інформації. Тунелювання крізь потенційні бар'єри допомагає рухатися електронам в одноелектронних схемах. Тунельний перехід відбувається за допомогою двох напівпровідникових або металічних тонких шарів (1-100нм), які розділені діелектриком, який має товщину приблизно 5 нм.

1.1. Одноелектронні транзистори

За допомогою технології «кремній на ізоляторі» виготовляють одноелектронні транзистори (ОЕТ), як і багато МОН-транзисторних систем.

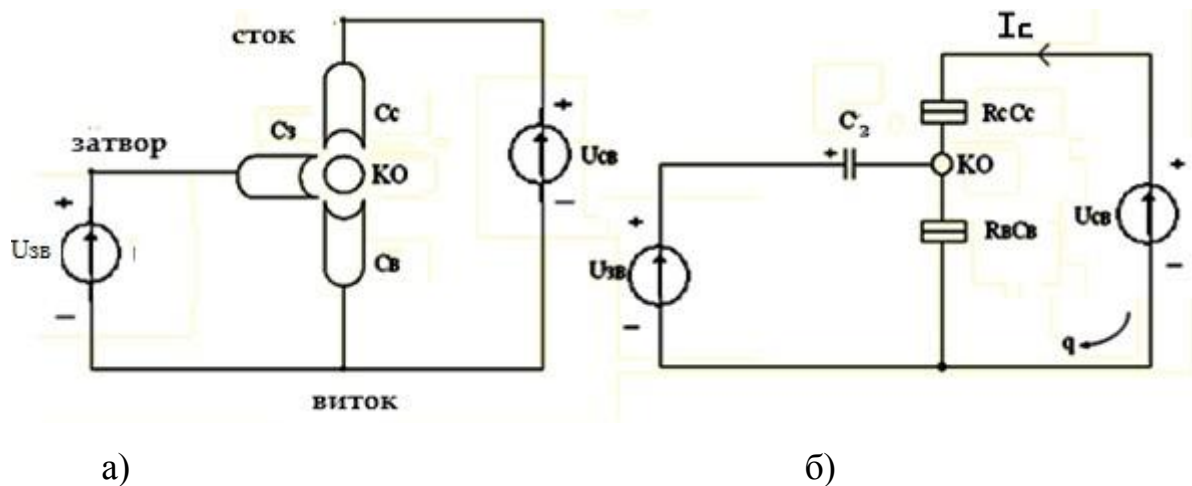


Рис.1.1. Одноелектронний транзистор(а) та його еквівалентна схема(б)

Еліонну літографію використовують для промальовування нанорозмірного кулонівського острівця, контакти стоку, витоку та затвору. Для того щоб забезпечити регулювання розмір ємності тунельних переходів стоку та витоку

використовують потенційні бар'єри до КО, які створюються за допомогою селективної іонної імплантації. Польове керування накопиченням електронів на КО, які тунелюють через переходи витоку $R_B C_B$ та стоку $R_C C_C$ можливо за допомогою звичайного конденсатора затвору C_3 .

Найсерйознішою проблемою керування ефектом кулонівської блокади в ОЕТ є те, що на КО транзистора впливають, більше ніж напруга на затворі, у вигляді поверхневих станів випадкових флуктуацій реального зарядового оточення або неконтрольованих пасток.

Система рівнянь для вхідного контуру та вихідного транзистора (рис.1.1, б):

$$\begin{aligned} U_{зв} &= \frac{Q_3}{C_3} + \frac{Q_B}{C_B}, \\ U_{св} &= \frac{Q_B}{C_B} + \frac{Q_C}{C_C}. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Запасена електрична енергія цієї схеми дорівнює:

$$E = \frac{Q_B^2}{C_B} + \frac{Q_C^2}{C_C} + \frac{Q_3^2}{C_3} - qU_{св} - Q_3 U_{зв}, \quad (1.2)$$

де Q_B, Q_C , та Q_3 – заряди відповідних конденсаторів ОЕТ, $U_{св}$ та $U_{зв}$ – напруги сток-виток та затвор-виток.

Після перетворень рівнянь (1.1) та (1.2), отримуємо залежність двох напруг ОЕТ при тунелюванні електронів на КО через переходи витоку та стоку:

$$U_{зв} = \frac{1}{C_B} \left(nq + \frac{q}{2} \right) + \frac{U_{св}}{2C_3} (C_B - C_C + C_3), \quad (1.3)$$

тобто для подолання порогової напруги кулонівської блокади та переходу електронів з КО на один з контактів слід, щоб виконувались умови:

$$\begin{cases} \frac{C_3}{C_C + C_3} \left[U_{зв} \frac{q}{C_3} \left(n - \frac{1}{2} \right) \right] < U_{св} < \frac{C_3}{C_C + C_3} \left[U_{зв} + \frac{q}{C_3} \left(n + \frac{1}{2} \right) \right] \\ -\frac{C_3}{C_B} \left[U_{зв} \frac{q}{C_3} \left(n + \frac{1}{2} \right) \right] < U_{св} < -\frac{C_3}{C_B} \left[U_{зв} + \frac{q}{C_3} \left(n - \frac{1}{2} \right) \right] \end{cases} \quad (1.4)$$

З урахуванням нерівностей (1.4), на рис.1.2 побудований графік з ромбоподібними фігурами, що обмежують області стабільної роботи транзистора. У цих областях (доменах) виконуються умови кулонівської блокади. Після зміни керуючої напруги на затворі КО поповнюється одним електроном $(n+1)$ або втрачає

його $(n-1)$. Отже, керуюча польова дія затвору практично така сама, як і у польового МОН-транзистора.

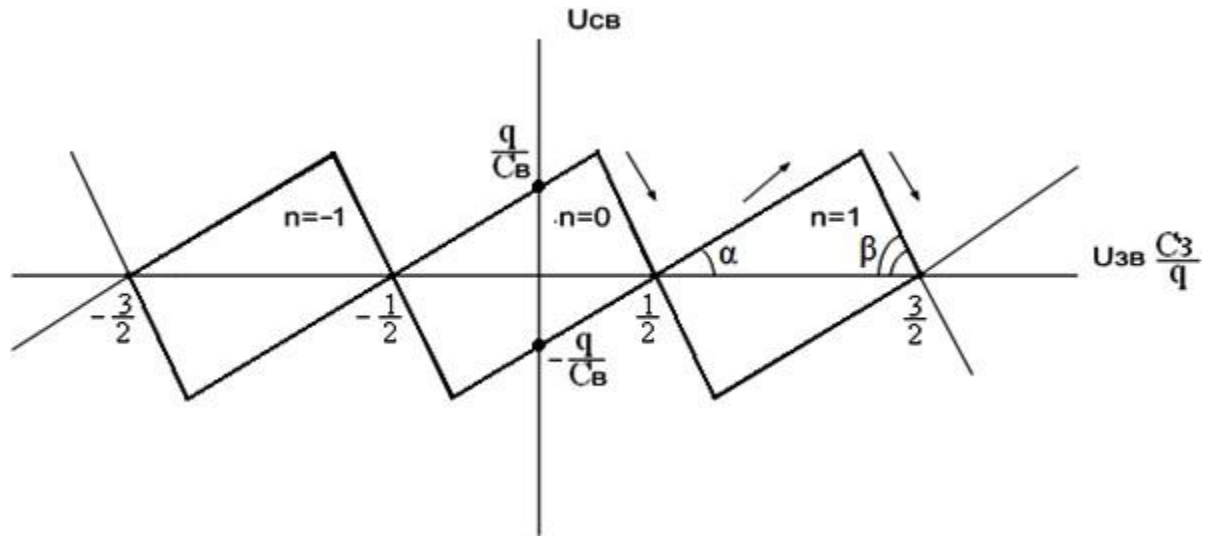


Рис.1.2. Польові характеристики ОЕТ з кулонівськими ромбами

Коли, наприклад, напруга на затворі змінюється від $\frac{q}{2}C_3$ до $\frac{3q}{2}C_3$ і один електрон ($n=1$) долає кулонівську блокаду на КО, то кути нахилу ліній перемикання ОЕТ, що

$$\alpha = \arctg \frac{c_3}{c_c + c_3}$$

$$\beta = \arctg \frac{c_3}{c_в} \tag{1.5}$$

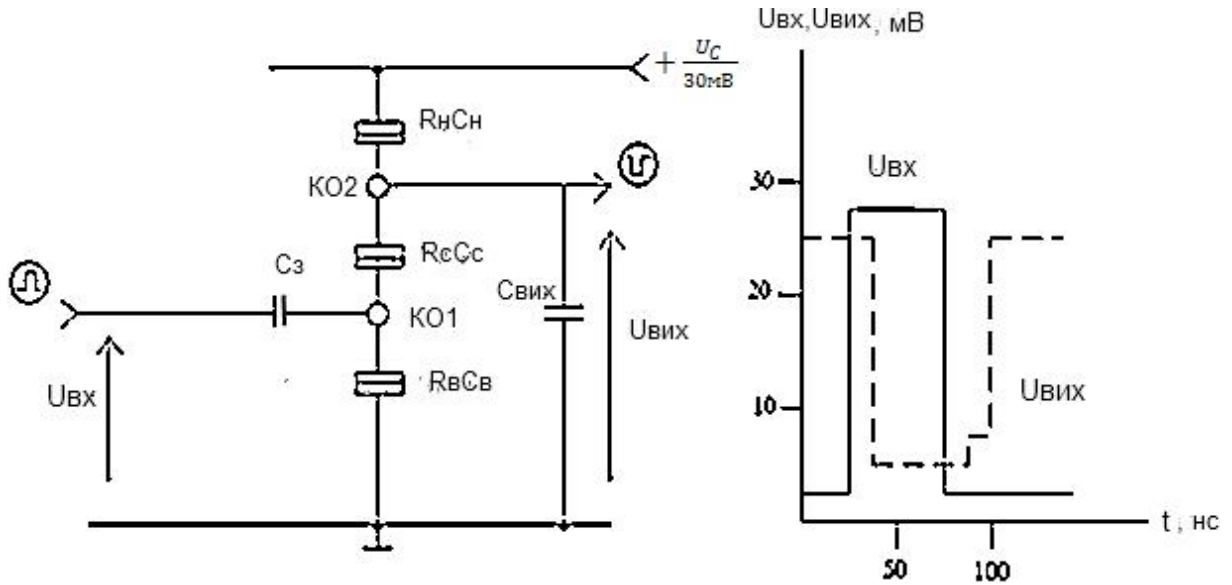
Будування та розрахування багатомірних порогових характеристик кулонівських доменів стабільної роботи схеми є обов'язковим під час проектування цифрових одноелектронних наносхем. Під час розрахунку нанорозмірних параметрів та ємності транзисторних складових схеми цей етап є найважливішим.

Для того щоб закрити транзистор за допомогою ефекту кулонівської блокади потрібно значення вхідної напруги на затворі зробити логічним нулем за допомогою ОЕТ, який використовується у якості інвертора, який виконує логічну операцію НІ.

Висока напруга логічної одиниці встановлюється на стоці. Зростанню струму витоку-стоку, зменшуванню вихідної напруги та встановленню логічного нуля на

виході сприяє зростання вхідної напруги до рівня одиниці.

На рисунку 1.3, а показано одну з можливих схем одноелектронного логічного інвертора з навантаженням у вигляді тунельного переходу $R_H C_H$ та вихідного конденсатора $C_{вих}$.



а)

б)

Рис.1.3. Одноелектронний інвертор(а) та діаграми його перемикання(б)

Кількість електронів на кулонівських острівцях КО1 та КО2 впливає на внутрішній стан схеми. Карта доменів стабільності цієї схеми має складну тривимірну шарувату структуру, за якою знаходять величини параметрів елементів:

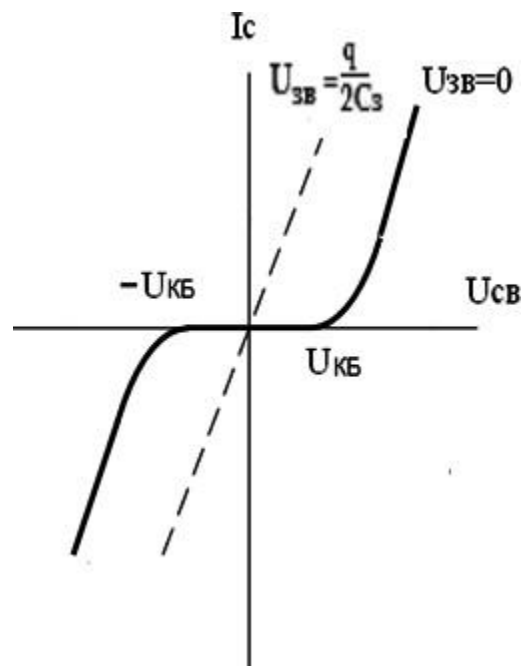
$$R_B = R_C = R_H = 500 \text{ кОм}, C_3 = 7 \text{ аФ}, C_C = C_H = 2 \text{ аФ}$$

$$C_{H1} = 3 \text{ аФ} \text{ і } C_{ВМХ} = 24 \text{ аФ}$$

Зарядовому стану острівців КО1 та КО2 відповідає кожен домен: $(0,0)$; $(0,q)$; $(q,0)$; (q,q) . Умовами перемикання інвертора є переходи між станами $(q,0)$ $(0,0)$. На рисунку 1.3, б зображено імпульсні часові характеристики перемикання схеми.

Характер наноамперної осциляції буде мати залежність струму через КО

завдяки кулонівській блокаді, яка утворюється за допомогою послідовній зміні



затворної напруги $U_{зв}$. Завдяки цьому струм змінюється пропорційно напрузі на стоці та на затворі та безперервно. На рис.1.4 зображено вольт-амперну характеристику (ВАХ) ОЕТ.

Рис.1.4. ВАХ одноелектронного транзистора

Отже, ОЕТ являє собою пороговий елемент при $U_{зв} = 0$, струм якого залежить від напруги кулонівської блокади $U_{св} = \pm U_{кб}$. При подоланні блокади $U_{св} \geq U_{кб}$ струм виток-сток зростає за приблизним законом $I_c \sim U_{св}^{1/3}$.

Якщо збільшити напругу на затворі $U_{зв} \geq \frac{q}{2C_з}$, то можливо усунути кулонівську блокаду. ОЕТ може бути у двох станах, а саме в тунельній провідності або в кулонівській блокаді. За допомогою цього можливо на його основі створювати логічні наноелектронні прилади.

По аналогії з КМОН-структурами створені комплементарні пари ОЕТ (КОЕТ), у яких виток, сток та затвор виготовляють із кремнію Si_p для діркового та Si_n для електронного типів транзисторів відповідно.

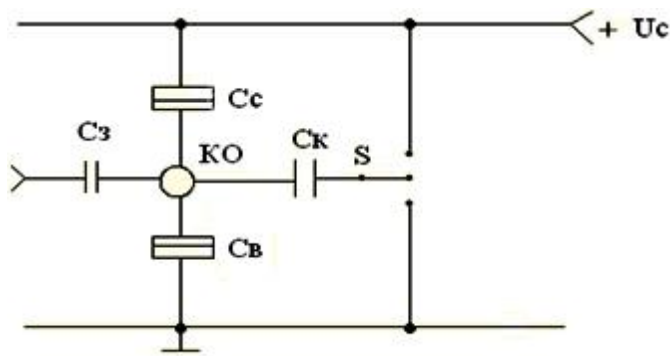


Рис.1.5. Комплементарне керування ОЕТ

Щоб зменшити порогову напругу з КО потрібно на додатковий керуючий затвор КОЕТ за допомогою перемикача S через конденсатор C_k подати високий потенціал живлення $+U_c$. Зробити можливим керування КОЕТ виключно вхідними сигналами першого затвору допомагає підключення другого затвору до нульового потенціалу.

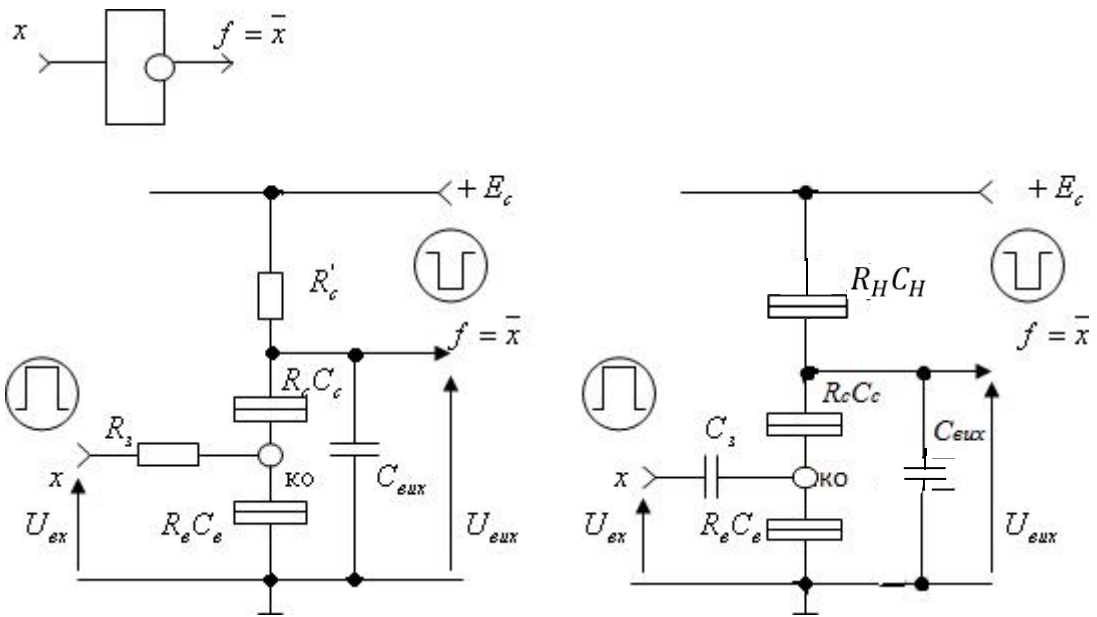
Два кулонівські домени, позитивна напруга на затворі $U_{зв} > 0$, за допомогою якої контролюється блокада негативно заряджених електронів, та негативна $U_{зв} < 0$ – дірок, відповідають комплементарним режимам роботи.

1.2. Схеми на одноелектронних транзисторах

Джерело низького постійного струму є найелементарнішим приладом, який використовує ефект дискретного одноелектронного тунелювання. Використовуючи рівняння, записуємо:

$$I = n f q, \quad (1.6)$$

де f – частота, що підводиться до тунельного переходу для синхронізації одноелектронних перескоків на кулонівський острівець. Отримати розмір струму $I \sim (1-10)$ нА при температурі 10 мК можливо за допомогою застосування переходів. Найбільшу популярність застосування ОЕТ знайшли у якості логічних елементів цифрових одноелектронних наносхем. Інверторні схеми із резистивним (а) та ємнісним (б) навантаженнями, як і зображено на рис. 1.6 це перші практичні пристрої.



а)

б)

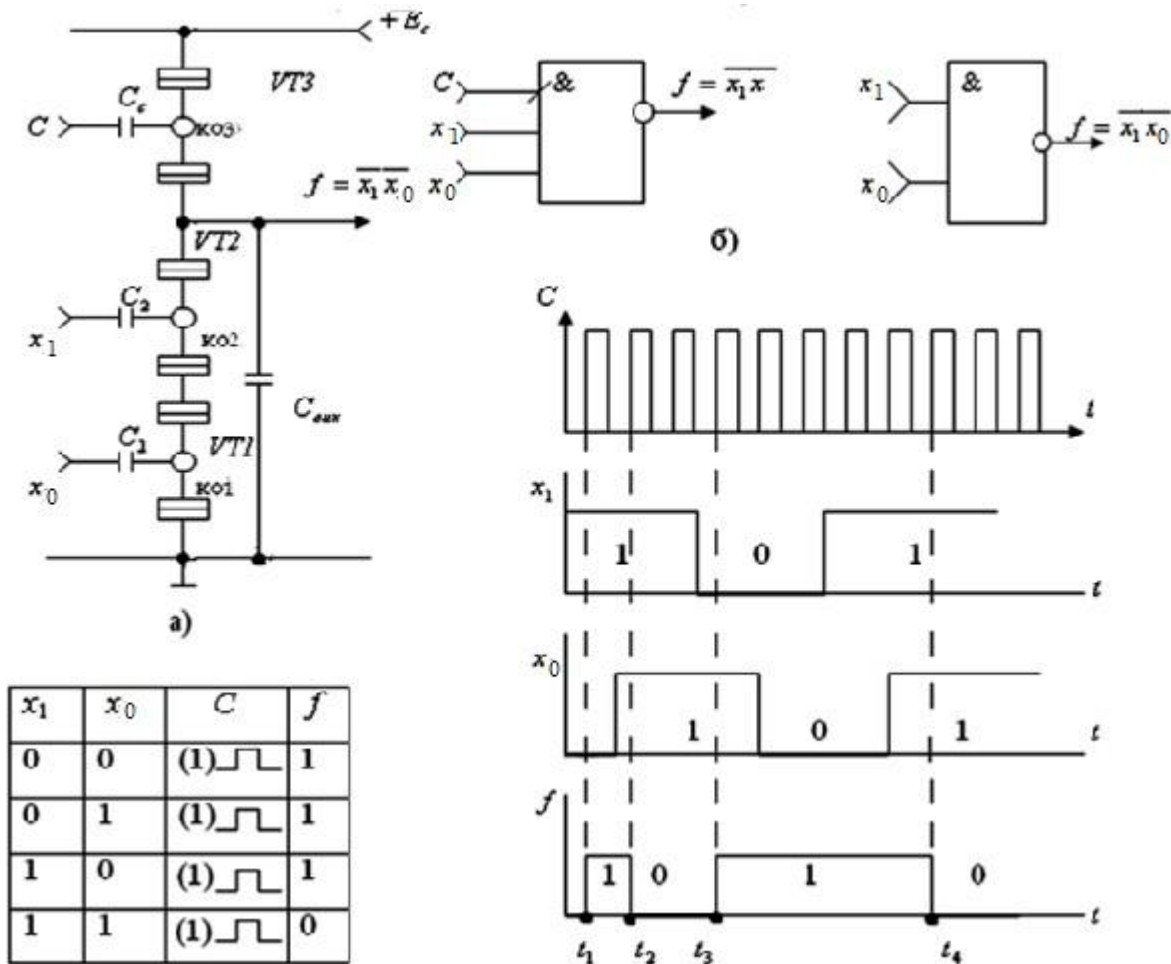
Рис.1.6. Схеми одноелектронних логічних інверторів

На виході з'являється логічне заперечення x , якщо на вхід подати сигнал x , за допомогою цих інверторів, які створюють заперечний сигнал \overline{x} . Через ОЕТ не протікає струм, а вхідна напруга дорівнює логічній одиниці, якщо напруга на вході дорівнює логічному нулю $U_{\text{вх}}^0 < U_{\text{КБ}}$.

Струм через транзистор проходить у випадку, якщо $U_{\text{вх}}^1 \gg U_{\text{КБ}}$ дорівнює логічній одиниці, а кулонівська блокада знімається за рахунок зростання вхідної напруги. За допомогою цього знижується вихідний потенціал до нуля.

Різниця між резистивною схемою (рис.1.6, а) та ємнісною схемою (рис.1.6, б) полягає в тому, що резистивна схема має менший перепад логічних рівнів, та має більшу стабільність та розділення між входом та виходом, а також має більший коефіцієнт підсилення. Ця різниця допомагає знизити завадостійкість. Якщо на всі входи подати одиничні сигнали, то на виході логічного елементу \overline{x} з'являється сигнал, який дорівнює одиниці. На рисунку 1.8, а наведено логічну схему 2І-НІ, яка зібрана на трьох ОЕТ. Транзистори VT1 і VT2, які з'єднані послідовно, виконують логічну операцію множення, а транзистор VT3 – синхронізує роботу схеми.

Присутність сигналу синхронізації пришвидшує тунелювання електронів з острівців КО1 та КО2 до джерела живлення $+E_c$. Коса риска “/” на вході C на рис.1.7, б вказує, що імпульсний вхід керується позитивним перепадом напруги.



в)

г)

Рис.1.7. Схема одноелектронного логічного елемента 2І – НІ (а), умовні позначення (б), таблиця станів схеми (в) та часові діаграми схеми (г)

Для того щоб не було інверсії сигналу та щоб створити елемент 2І потрібно на схемі, яка зображена на рисунку 1.7, а, поміняти місцями нижні транзистори VT1 і VT2 з верхнім транзистором навантаження VT3.

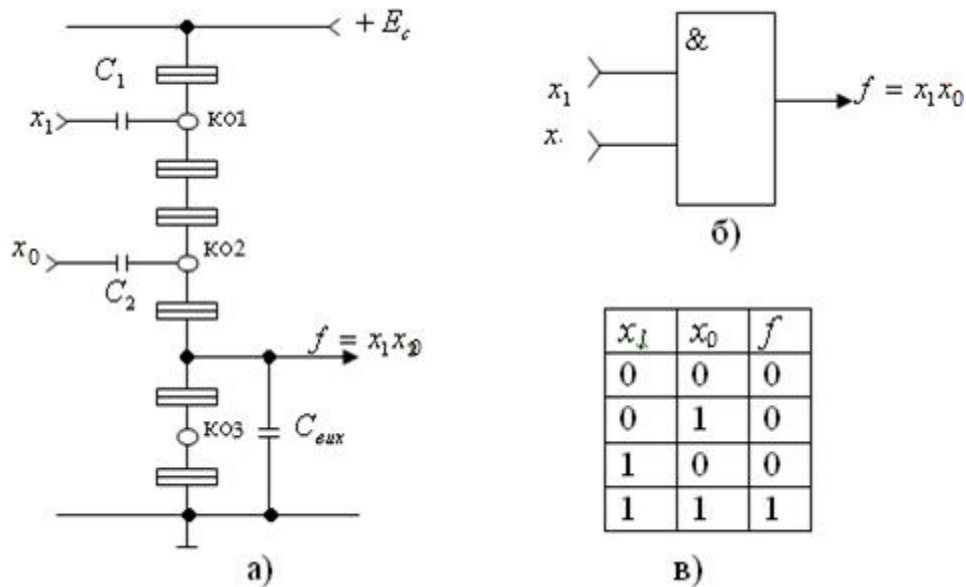


Рис.1.8. Одноелектронний логічний елемент 2І(а), його позначення (б)і таблиця дійсності (в)

Якщо хоча б на один вхід подавати сигнал, то на виході можемо отримати логічний елемент 2АБО, який виконує функцію додавання (рис.1.9,в).

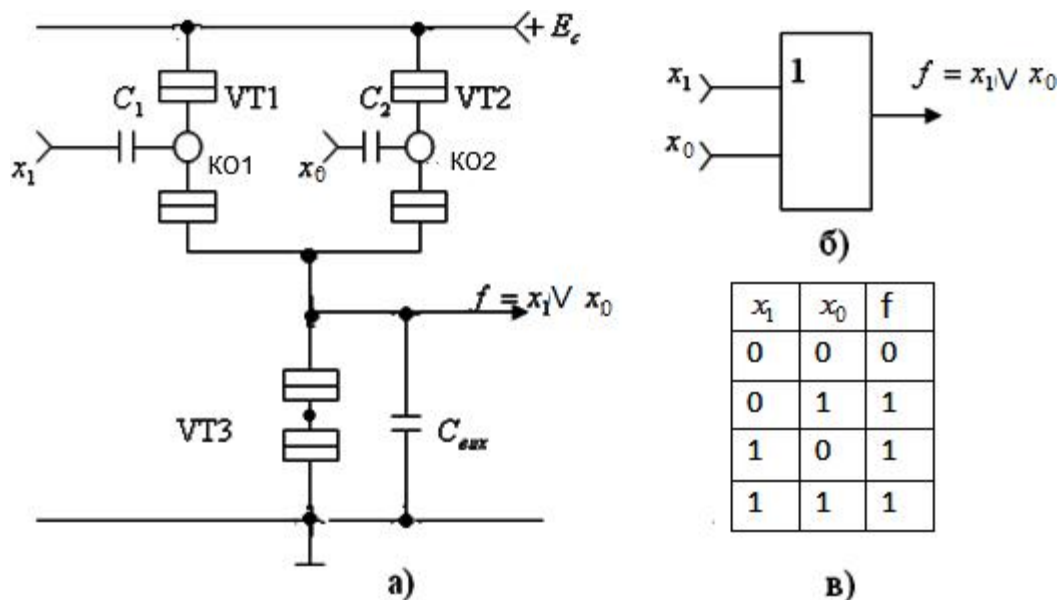


Рис.1.9. Одноелектронний логічний елемент 2АБО (а), його умовнепозначення (б) та таблиця дійсності (в)

Щоб отримати логічний елемент 2АБО-НІ потрібно транзистори, які з'єднано паралельно, VT1 і VT2 поміняти місцями з VT3 в схемі рис.1.10, а.

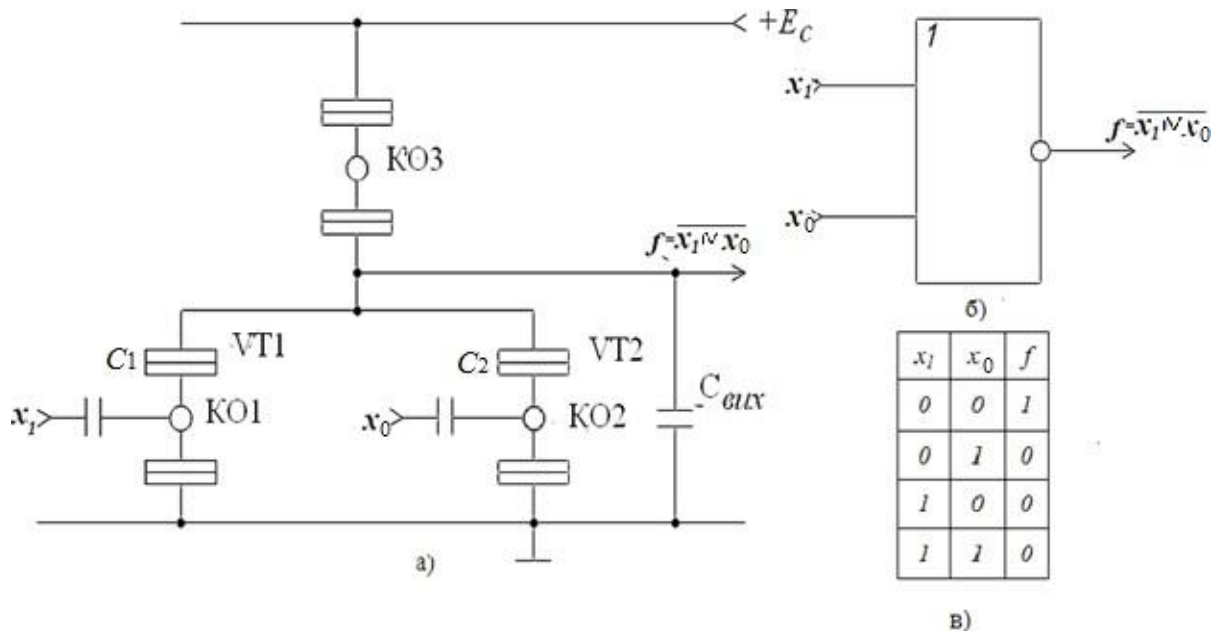


Рис.1.10. Одноелектронний логічний елемент 2АБО-НІ (а), його умовне позначення (б) та таблиця дійсності (в)

Системи до яких входять два елементи І та НІ або НІ та АБО є рівнозначними системам до складу яких входять три елементи І, НІ та АБО. Такі системи є функціонально повними, за допомогою яких можливо реалізовувати довільної складності логічні схеми. Скоротити номенклатуру одноелектронних елементів дозволяє використання лише двох елементів або навіть одного з них.

Розглянемо автомати без пам'яті, у яких на вихідні сигнали залежать тільки від вхідних сигналів в даний момент часу.

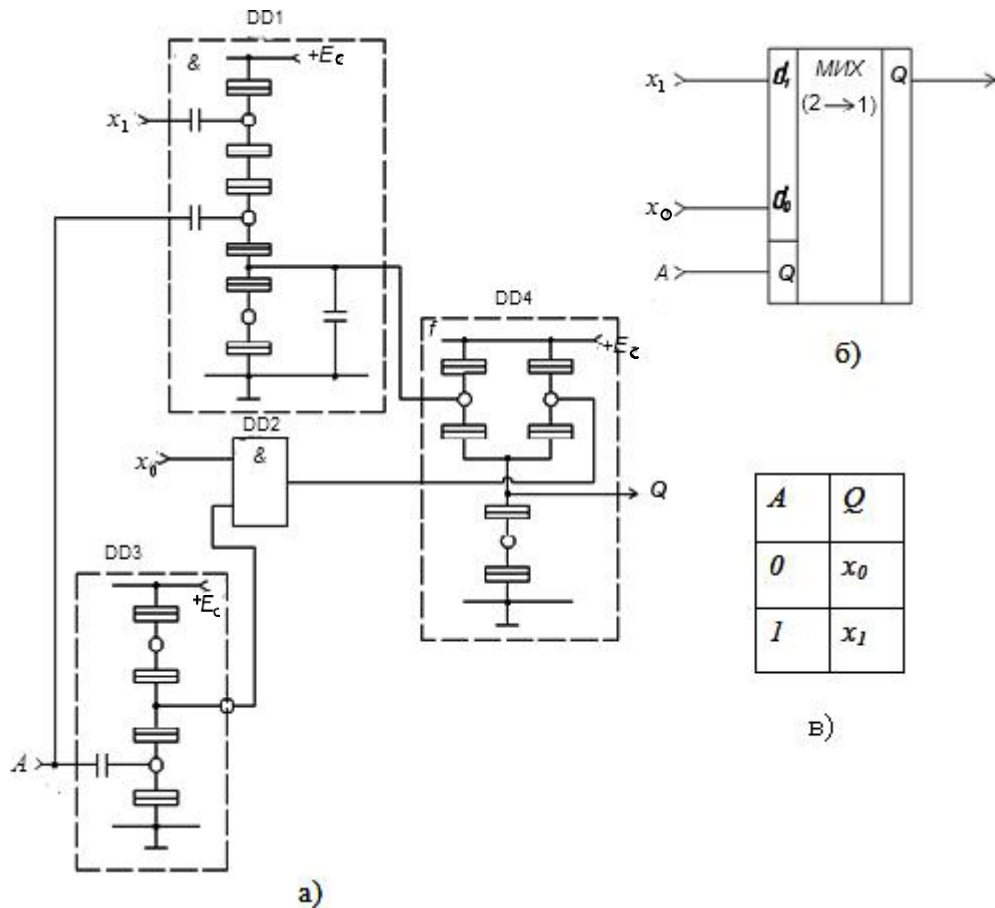
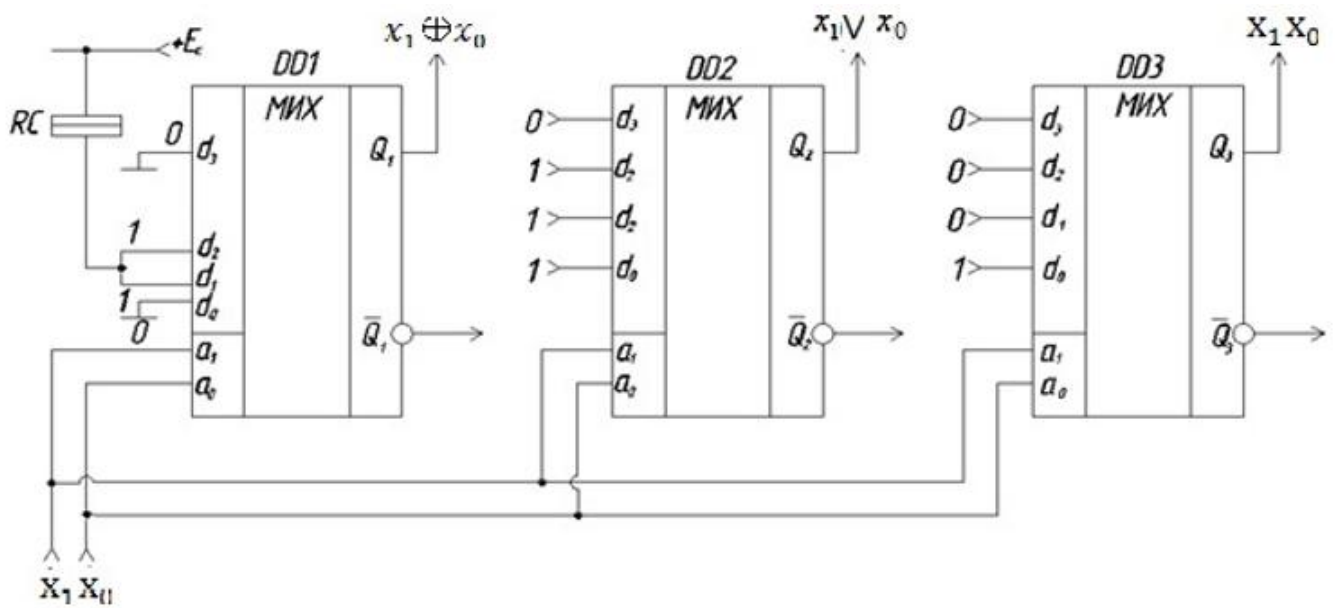


Рис.1.11. Електрична схема (а), умовне позначення (б) та таблиця станів (в) одноелектронного мультиплексора (2→1)

Передача інформації з декількох джерел в одну вихідну смугу відбувається за допомогою мультиплексора. За допомогою двох логічних елементів 2ИДД1 та DD2(рис.1.8), одного НІ DD3 та одного 2АБО DD4 (рис.1.9, а) реалізується двоходовий мультиплексор. Мультиплексор на ОЕТ зображено на рисунку 1.11. До його складу входять два інформаційні входи d_0 та d_1 , один адресний вхід A і один прямий вихід Q .

Мультиплексори також застосовують у багатьох комбінаційно-логічних елементах. Різні функції алгебри логіки можливо реалізувати за допомогою одноелектронного мультиплексора.. Для такої реалізації потрібно на входи d_3, d_2, d_1, d_0 подати фіксовані значення функції, а на програмовані – аргументи.



а)

A_1	A_0	$Q_1 = x_1 \oplus x_0$	$Q_2 = x_1 \vee x_0$	$Q_3 = x_1 x_0$
0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
1	0	1	1	0
1	1	0	1	1

б)

Рис.1.12. Універсальні можливості застосування одноелектронних мультиплексорів (4→1) (а) та їх таблиця станів (б)

Арифметичні та логічні операції обробки цифрової інформації виконуються за допомогою АЛП, в яких застосовуються одноелектронні прилади. Одним з основних вузлів комп'ютерної техніки є АЛП. Суматори відносяться до АЛП. За допомогою півсуматора на виході отримуємо сигнали суми S та переносу до старшого розряду C :

$$S = x_1 \bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 x_0 = x_1 \oplus x_0, \quad (1.7)$$

$$C = x_1 x_0. \quad (1.8)$$

Функцію АБО можливо перетворити:

$$f = x_1 \oplus x_0 = (x_1 + x_0) \overline{(x_1 x_0)} = \overline{\overline{(x_1 x_0)} (x_1 x_0)}. \quad (1.9)$$

Останнє отримане рівняння та таблиця дійсності на п'яти однакових схемах 2І-НІ(DD1-DD5) реалізована на рис. 1.13.

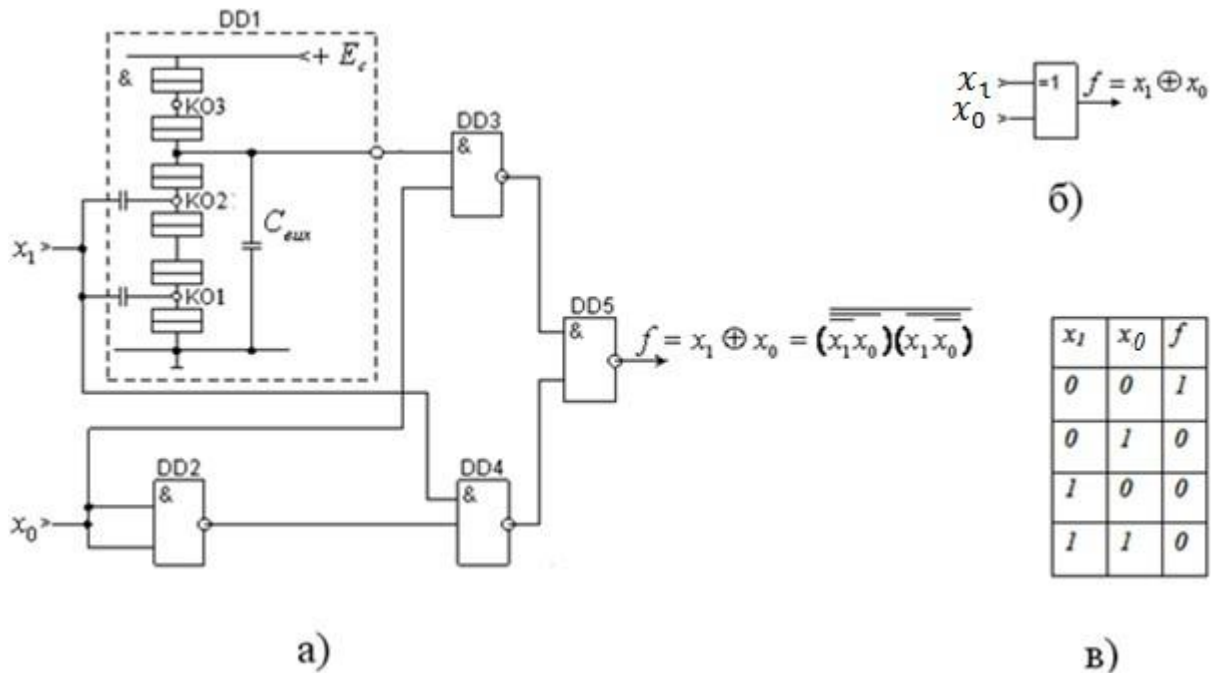


Рис. 1.13. Схема (а), умовне позначення (б) та таблиця дійсності (в) реалізації логічної операції Виключне АБО на одноелектронних транзисторах

Синтезація схеми півсуматора (рис.1.14) відбувається за рахунок рівнянь (1.7), (1.8), та одноелектронних схем 2І (рис.1.8,а)та виключного АБО (рис. 1.13,а)

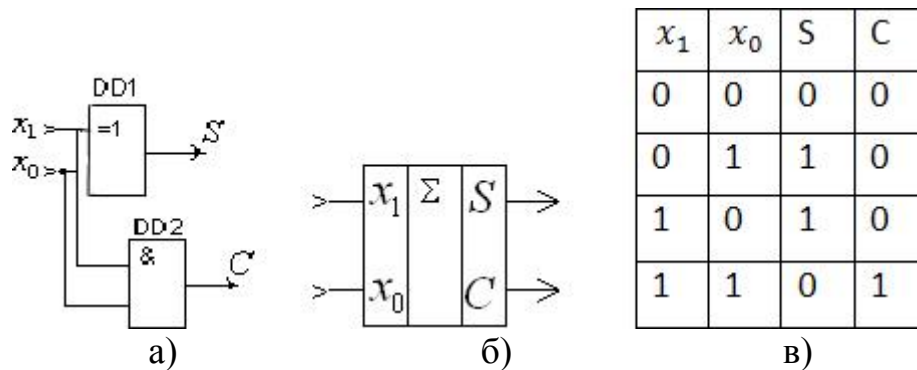


Рис. 1.14. Одноелектронна схема півсуматора (а), його умовне позначення (б) та таблиця дійсності (в)

Збудувати однорозрядний суматор, за допомогою якого можливо отримати вихідні сигнали суми та переносу старшого розряду, можливо на базі одноелектронних півсуматорів (рис.1.15):

$$S = (x_1 \oplus x_0) \overline{C_{-1}} \vee \overline{(x_1 \oplus x_0)} C_{-1} = (x_1 \oplus x_0) \oplus C_{-1}, \quad (1.10)$$

$$C = x_1 x_0 \vee (x_1 \oplus x_0) C_{-1}. \quad (1.11)$$

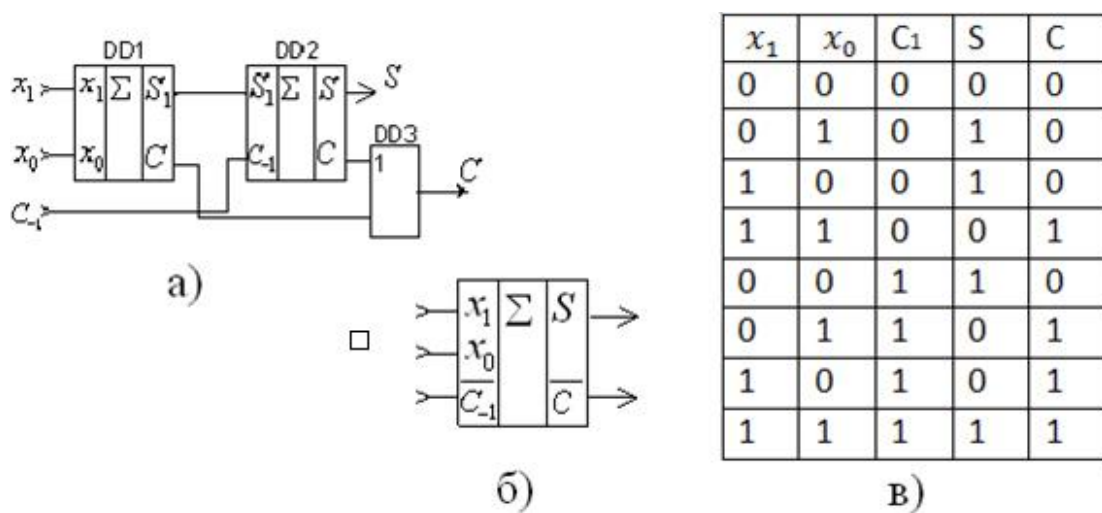


Рис. 1.15. Однорозрядний суматор (а), умовне позначення (б) і таблиця дійсності (в)

Автомати з пам'яттю, у яких сигнал залежить і від вхідних сигналів, які подавалися раніше, також створюються за допомогою одноелектронних елементів. Це, наприклад, тригери, лічильники, регістри і т.д.

Майже всі цифрові та логічні ІС реалізуються на базі одноелектронних схем.

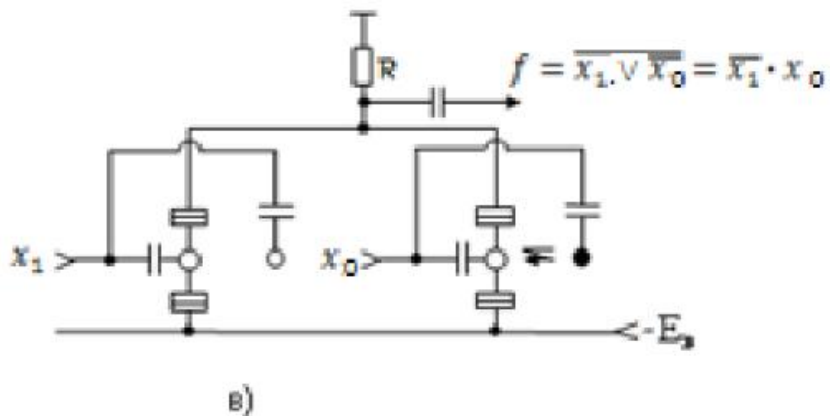
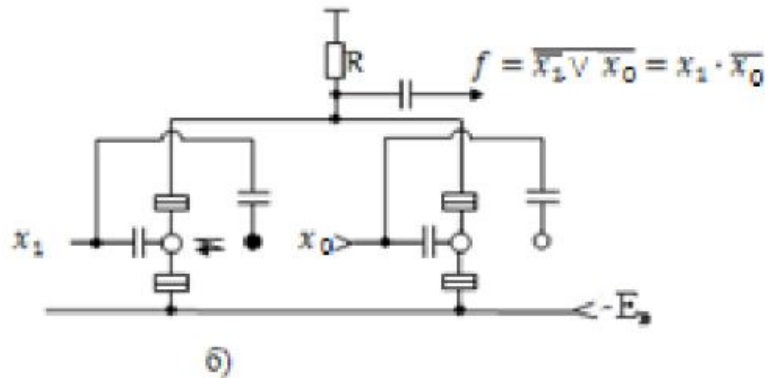
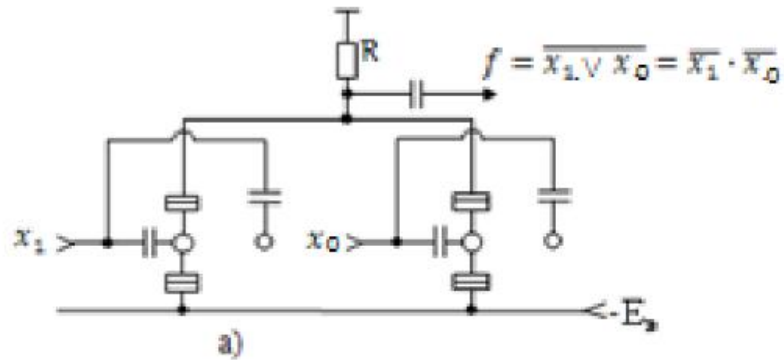
1.3. Висновок до першого розділу

Прилад, в основі якого лежить явища тунелювання та кулонівська блокада, називається одноелектронним транзистором. Проводячи аналіз інформаційних джерел, було знайдено кілька видів одноелектронних транзисторів. Кожен вид одноелектронного транзистора має свої переваги та недоліки. Металевий ОЕТ є найлегшим для проектування, моделювання та виготовлення, оскільки, має низький ефект тунельного бар'єру. Транзистори, які виконуються за ортодоксальною теорією заслуговують на особливу увагу. Розробники зараз працюють над тим, щоб покращити кількісну та якісну характеристики ОЕТ.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМОВАНІ ОДНОЕЛЕКТРОННІ НАНОСХЕМИ

Здійснено ланцюг наносхем на простій базі ОЕТ з ЕНП, який виконує різноманітні логічні функції. Наприклад, на рис. 2.1 показано варіації логічного додавання програмування наносхем із запереченням 2Або-НІ.



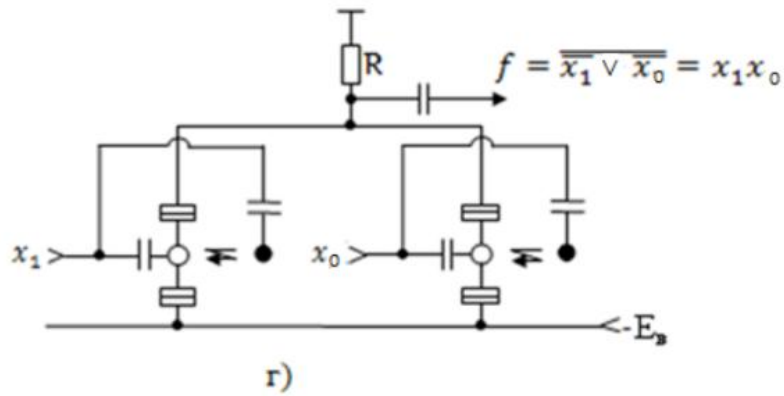


Рис.2.1. Чотири варіації програмування логічного елемента 2АБО-НІ на ОЕТ з ЕНП

Технічне виконання наносхеми містить універсальну будову матриці 2АБО-НІ:

$$f = \overline{x_1 + x_2} \quad (2.1)$$

та програмований ланцюг ЕНП. На практиці таку варіацію налаштування виконують в програмованих логічних функціях (ПЛМ).

Для реалізації матриці програмування 2АБО варто в схемі 2АБО-НІ (рис.2.1) підключити резистор навантаження до виходів ОЕТ, як показано це на рис.2.2.

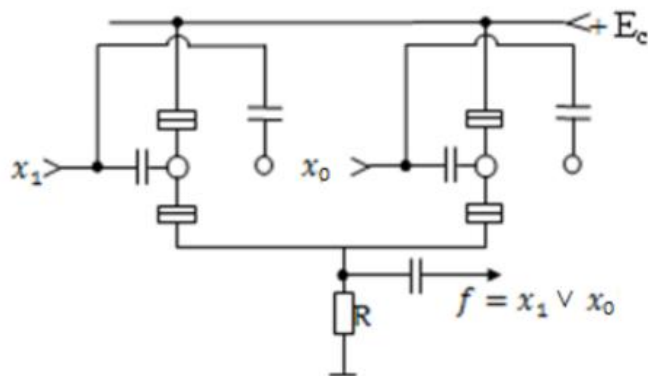


Рис.2.2. Схема програмованого логічного елемента 2АБО

Послідовне підключення двох ОЕТ застосовують для виконання елемента логічного множення із запереченням 2І-НІ, як зображено це на рис.2.3.

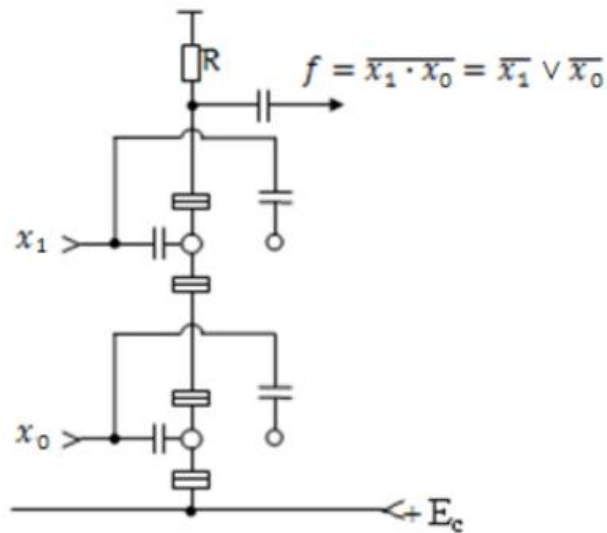


Рис.2.3. Схема логічного елемента 2І-НІ

Чотири керуючі стани записують на квантові точки пам'яті КТП для того, щоб запрограмувати цей елемент. Програмовану реалізацію одержують з умовами подвійності.

$$f = \overline{\overline{x_1 x_2}} = \overline{\overline{x_1} + \overline{x_2}} = x_1 + \overline{x_2}, \quad (2.2)$$

$$f = \overline{\overline{x_2 x_1}} = \overline{\overline{x_2} + \overline{x_1}} = x_2 + \overline{x_1}, \quad (2.3)$$

$$f = \overline{\overline{x_1 x_2}} = \overline{\overline{x_1} + \overline{x_2}} = x_1 + x_2. \quad (2.4)$$

Отже, розширенню номенклатури задач обробки цифрової інформації сприяє застосування ПЛІМ.

2.1. Особливості програмування одноелектронних наносхем

Виготовлення приладів з характеристиками програмування під час проектування наносхем слугує для видалення протиріччя між унікальністю та спеціалізацією. Аби забезпечувати виконання, на апаратному ступені, технічного завдання потрібно мати можливість змінювати внутрішню структуру схеми, це і є програмованість. Такий прилад є унікальним завдяки тому, що на технічному ступені лишається єдиний набір операцій. Задача спеціального налаштування виробленої ІС стоїть вже на виробникові апаратури. До одержання необхідних характеристик для експлуатації призводять незворотні або зворотні зміни структури, які заносяться під час програмування ІС. Електронні мультиплексори

застосовуються в якості найелементарніших програмованих універсальних логічних ІС (рис.2.4).

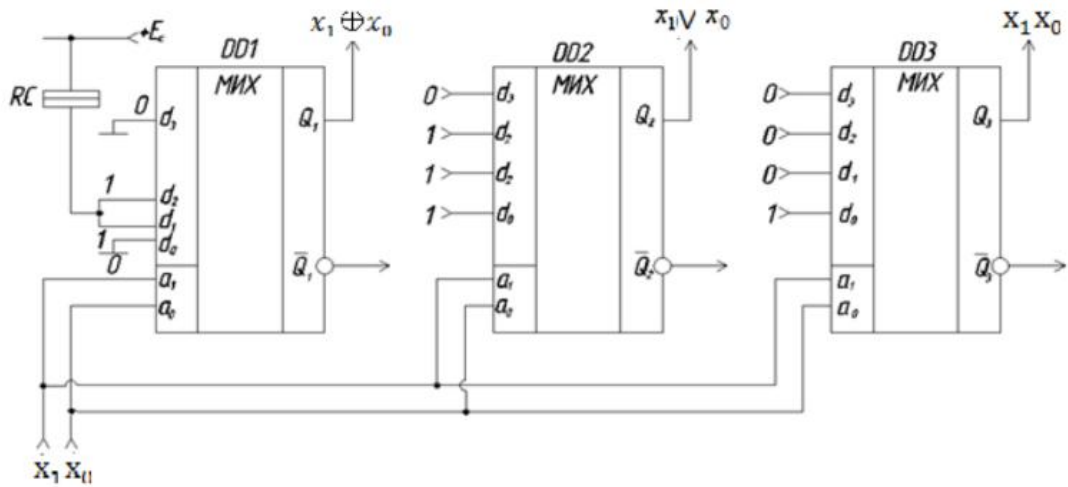


Рис.2.4 Універсальні можливості застосування одноелектронних мультиплексорів

Запам'ятовуючі пристрої, у складі яких є квантові точки, нарисовано на рис.2.5.

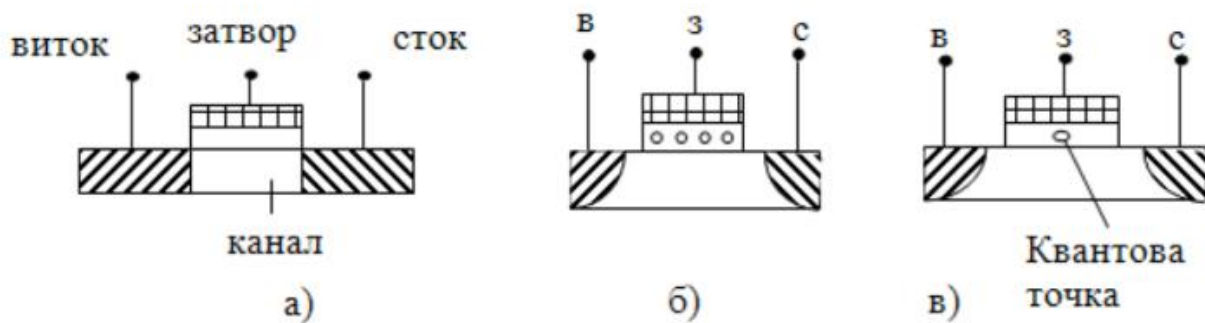


Рис.2.5. Ряд квантових приладів

Такі прилади майже не відрізняються від звичайних МОН-транзисторів. Під затвором розташовується шар полікремнію нанокристалічного розміру. Території, на яких утворюється кулонівський бар'єр та збираються електрони, виконують функцію надмалих областей провідності та творяться за допомогою великих температур.

За допомогою зарядового стану квантових точок можливо здійснювати керування приладами, вмикати або вимикати. Широке поширення ці квантові прилади знайшли у статистичних запам'ятовуючих пристроях (СЗП).

Друга квантова половинка пам'яті реалізується у нанометровому шарі кремнію на ізоляторі (КНІ). Сапфір або двоокис кремнію використовуються в якості ізолятора. Такий ланцюг представляє одноелектронний транзистор до складу якого входять електроди виток, стоку та два затвори (рис.2.6,а).

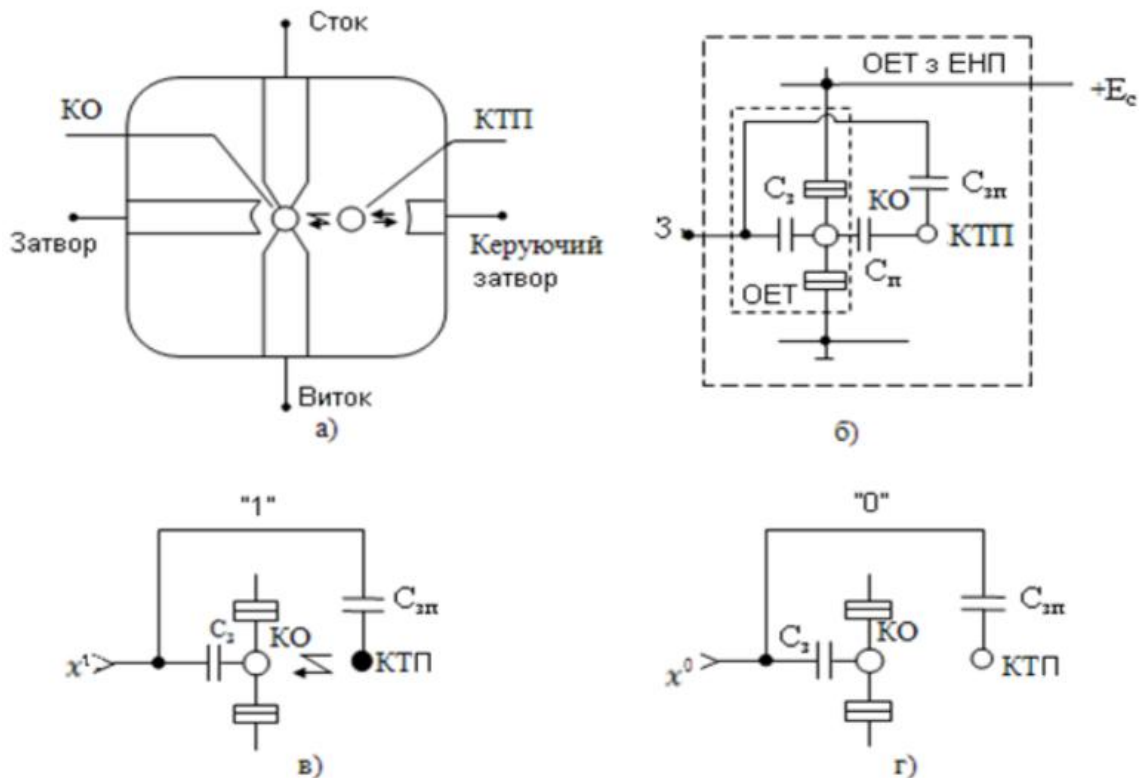


Рис.2.6. Одноелектронний транзистор (ОЕТ) з енергонезалежною пам'яттю (ЕНП) на квантовій точці пам'яті (КТП) (а), його електрична схема (б), стани КТП після запису логічної одиниці (заповнена) x (в) і логічного нуля при відсутності запису (порожня) x (г)

Після накладання напруги запису або рахування на затвор, який керує, відбувається ефект розрядження-зарядження спеціально утвореної квантової точки КТП. Відбувається зміна струму, що проходить через центральний острівець КО.

Одноелектронний транзистор енергонезалежною пам'яттю зображено на рисунку 2.6, б. Для спрощення схеми показано тільки один затвор. Обсяг пам'яті у одноелектронних транзисторах енергонезалежною пам'яттю дорівнює 4-1024 Гбіт.

Інформація в елементарних запам'ятовуючих елементах (ЕЗЕ) динамічних оперативних запам'ятовуючих пристроїв (ОЗП) зберігається у стані заряду, яка накопичуються в нанорозмірному конденсаторі C_n (рис. 2.7).

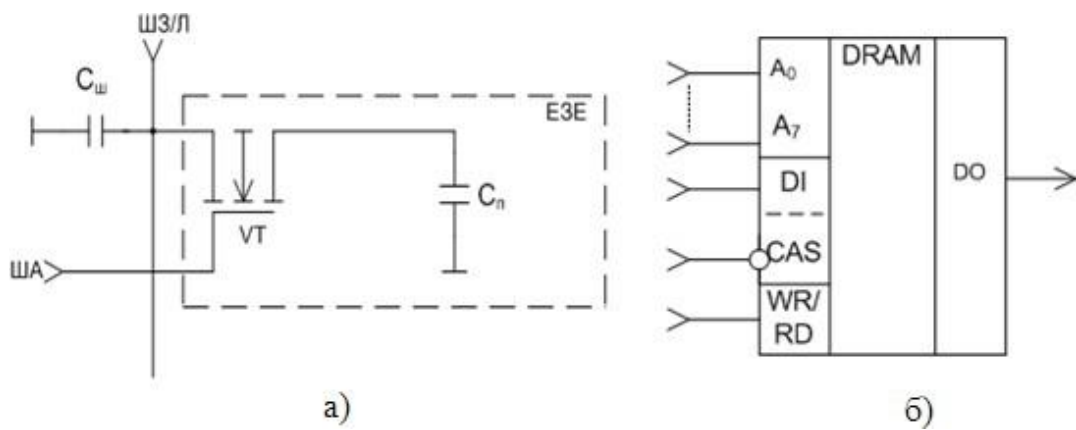


Рис.2.7. Наносхема одностранзисторного ЕЗЕ з нанорозмірним конденсатором пам'яті $C_{\text{п}}$ та приклад умовного позначення динамічного ОЗП (б) з вісьмома адресними входами ($A_0 \dots A_7$), виводами входу DI та виходу DO інформації, стробсигналу CAS і запису-лічіння WR/RD

МОН-транзистори (рис.2.6, а) застосовуються для того щоб збільшити час саморозряду конденсатора $C_{\text{п}}$ в динамічному ОЗП. Після підключення шини запису та одночасно подавати довільного сигналу на адресну шину починається запис інформації в ЕЗЕ. Через транзистор виконується зарядження конденсатора або може лишитися розрядженим.

Якщо записати логічну одиницю, то транзисторний ключ замикається, а $C_{\text{п}}$ розряджається. За допомогою цього на шині даних появляється сигнал.

Одноелектронний транзистор з острівцем КО, який налічує кілька електронів, застосовується на місці конденсатора $C_{\text{п}}$ (рис.2.8, б).

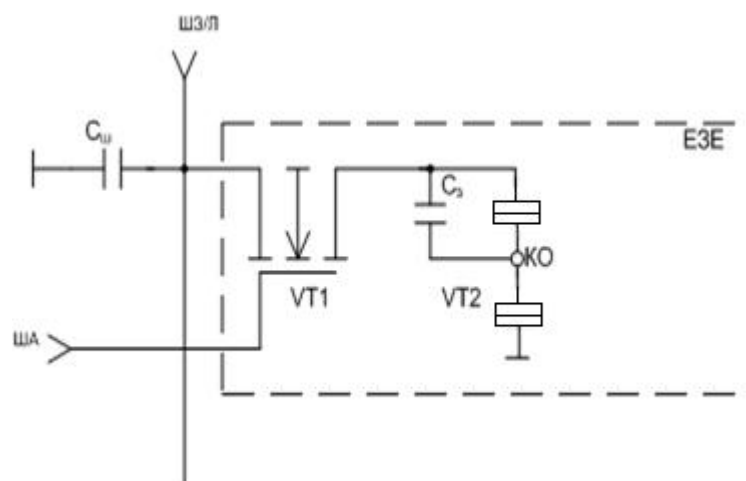


Рис.2.8. Наносхема одноелектронного ЕЗЕ

Скороченню площі ЕЗЕ сприяє використання ОЕТ, але цей елемент працездатний при $T < 4,2\text{K}$. Але розвиток електроніки не стоїть на місці, і вже розроблено експериментальну одноелектронну динамічну ОЗП об'ємом пам'яті 64 МБт на одному кристалі, яка працює при кімнатній температурі.

Репрограмовані постійні запам'ятовуючі пристрої (РПЗП) є такими ж, як статичні запам'ятовуючі пристрої. Квантовий транзистор слугує для ЕЗЕ, а транзистор VT1 використовується для комутування сигналу вибору (запису/лічіння) пам'яті (рис.2.9, а).

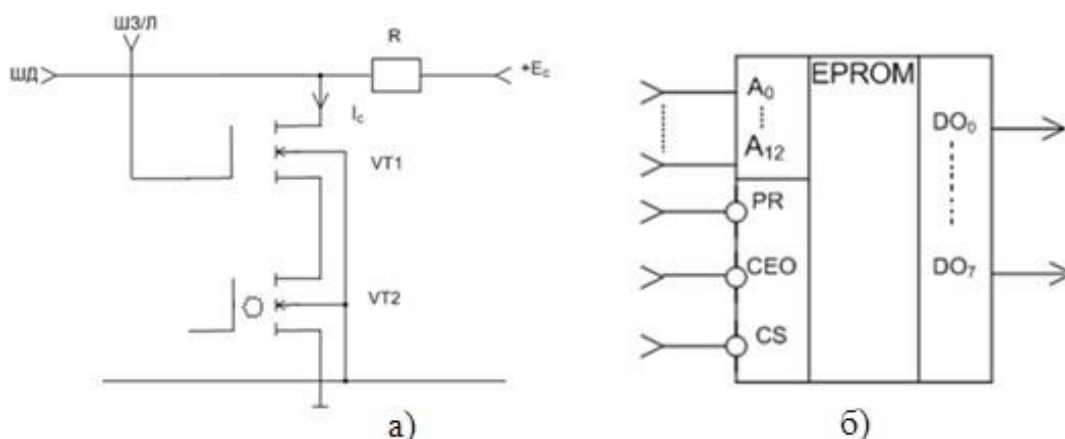


Рис.2.9. Схема ЕЗЕ репрограмованого запам'ятовуючого пристрою (а) та приклад умовного позначення РПЗП (б)

Можливо роками зберігати відкритий або закритий транзистор за допомогою того, що немає електричного зв'язку затвора VT2, тобто запам'ятовувати дискретну інформацію.

Відкритий транзистор відповідає логічному нулю, а логічному нулю відповідає закритий транзистор.

До джерела живлення $+E_c$ через резистор, що обмежує, з'єднується шина даних. Транзистор можна ввімкнути за допомогою подання сигналу на шину з'єднання. Стан запам'ятовуючого транзистора впливає на величину стокового струму.

Пускове реле, яке налічує 13 адресних входів, та вісім виходів зображено на рис.2.9, б.

Функцію пам'яті у електро-запам'ятовуючому приладі виконує одноелектронний транзистор. Польовий транзистор з однією квантовою точкою використовується для запису-лічіння інформації та її адресації показано на рис.2.10.

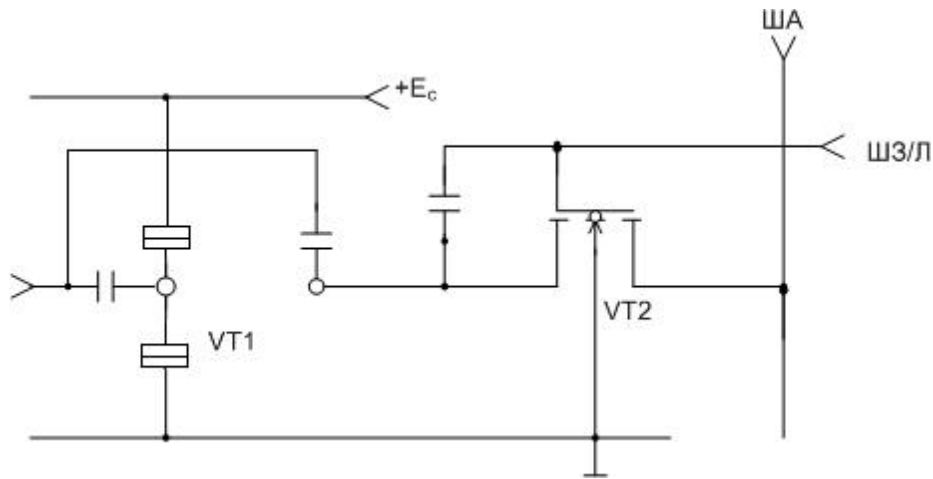


Рис.2.10. ОЕТ з енергонезалежною пам'яттю та одностранзисторний каскад VT2 з шинами запису-лічіння ШЗ/Л та адресації ША

Розвиток запам'ятовуючих приладів відповідає ідеям одноелектронних елементарних запам'ятовуючих елементів.

2.2. Мажоритарна наноелектроніка

Мажоритарний принцип голосування базується на співпадінням вихідного сигналу мажоритарного елементу та значеннями сигналів на непарних входах. Мажоритарний елемент на відміну від елементами АБО, НІ, І дають можливість скорочувати та уніфікувати системи, а також володіють більшою надійністю та завадостійкістю.

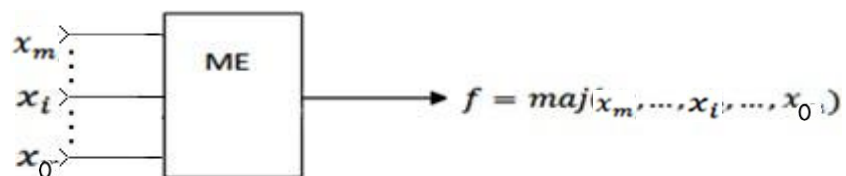


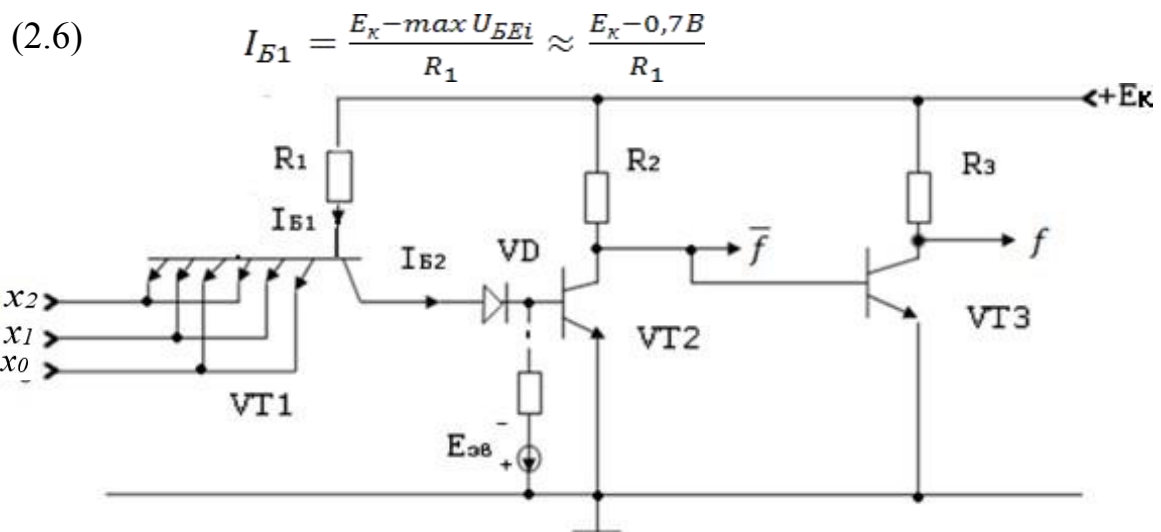
Рис.2.11. Мажоритарний елемент

Вихідний сигнал мажоритарного елементу f дорівнює:

$$(2.5) \quad f = \begin{cases} 0, & \sum_0 x_i > \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m x_i; \\ 1, & \sum_1 x_i > \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m x_i; \end{cases}$$

де $x_m, \dots, x_i, \dots, x_0$ – вхідні сигнали (0 або 1), \sum_0 та \sum_1 – додавання сигналів, які мають значення 0 або 1, відповідно, $m = (2n - 1)$ – непарна кількість входів елемента.

Усі шість переходів відкриті, якщо всі три входи дорівнюють нулю, за таких умов також відбувається пропускання струму через резистор від джерела до на вхід схеми:



а)

x_1	x_2	x_3	f	\bar{f}
0	0(1)	0	0	1
0	0	1(0)	0	1
0	1(0)	0	0	1
0(1)	1	1	1	0
1(0)	0	0	0	1
1	0(1)	1	1	0
1	1	0(1)	1	0
1	1(0)	1	1	0

б)

Рис.2.12. спрощена електрична схема (а) та таблиця дійсності (б) мажоритарного елемента (2 з 3)

У закритий діод пропускається мала кількість струму, та через емітерний перехід транзистора VT2:

$$(2.6.) \quad I_{B2} = \frac{E_K - U_{VD13\bar{e}}}{R_1} \approx 0$$

Додається додаткове джерело струму для того, щоб зменшити струм та для того, щоб швидше вимикався транзистор.

Функція дорівнює 0, якщо струм бази третього транзистора VT3 дорівнює значенню, якого достатньо для відкриття транзистора три та його насичення.

$$(2.7.) \quad I_{B3} = \frac{E_K - U_{BE3}}{R_2} = \frac{E_K - 0,7V}{R_2}$$

Мажоритарний принцип дії цієї мікросхеми, який відповідає таблиці дійсності, яка зображена на рисунку 2.12,в, отримується за допомогою поступової зміни вхідних сигналів.

Вихідні значення не змінюються навіть, якщо сигнали приймають протилежні значення в результаті дії завад. Вихідний сигнал не спотворюється, якщо на перший та останній набори виникають завади і сигнали змінюються. Розглянувши таблицю істинності бачимо, що мажоритарна функція 3-х аргументів дорівнює кількості співіснувань з 3 по 2:

$$f(x_2, x_1, x_0) = x_2 x_1 \vee x_2 x_0 \vee x_1 x_0 = maj(x_2, x_1, x_0) \quad (2.8)$$

Створюють мажоритарні елементи з додатковим інвертором щоб збільшити гнучкість та зручність застосовування, тобто отримують МЕ з прямим виходом у вигляді рівняння (2.9) та з інверсним \bar{f} (рис.2.11, а):

$$\bar{f}(x_2, x_1, x_0) = \bar{x}_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \bar{x}_0 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_0 \quad (2.9)$$

Елемент на рис.2.11,а зветься універсальним МЕ(УМЕ).

Деякі рівняння використовуються для утотоження перетворень мажоритарних функцій:

$$maj(x_2, x_1, x_0) = maj(x_0, x_1, x_2) = \dots,$$

$$maj(x_2, x_1, x_1) = x_1,$$

$$maj(x_2, x_1, \bar{x}_1) = x_2,$$

$$maj(x_2, 0, 0) = 0, \quad maj(x_2, 0, 1) = x_2,$$

$$\text{maj}(x_2, x_1, 1) = x_2 \vee x_1,$$

$$\text{maj}(x_4, x_3, x_2, 0, 0) = x_4 x_3 x_2,$$

$$\text{maj}(x_4, x_3, x_2, 1, 1) = x_4 \vee x_3 \vee x_2,$$

$$\text{maj}(x_4, x_3, x_2, 1, 0) = \text{maj}(x_4, x_3, x_2).$$

2.3. Одноелектронні наносхеми на квантових автоматах

На рисунку 2.13 зображено реалізацію мажоритарного елемента (2 з 3), який відповідає функції мажоритарного виробу, яка виконується на базі трьох одноелектронних логічних елементів DD1, DD2 та DD3 і одного ЗАБОDD4.

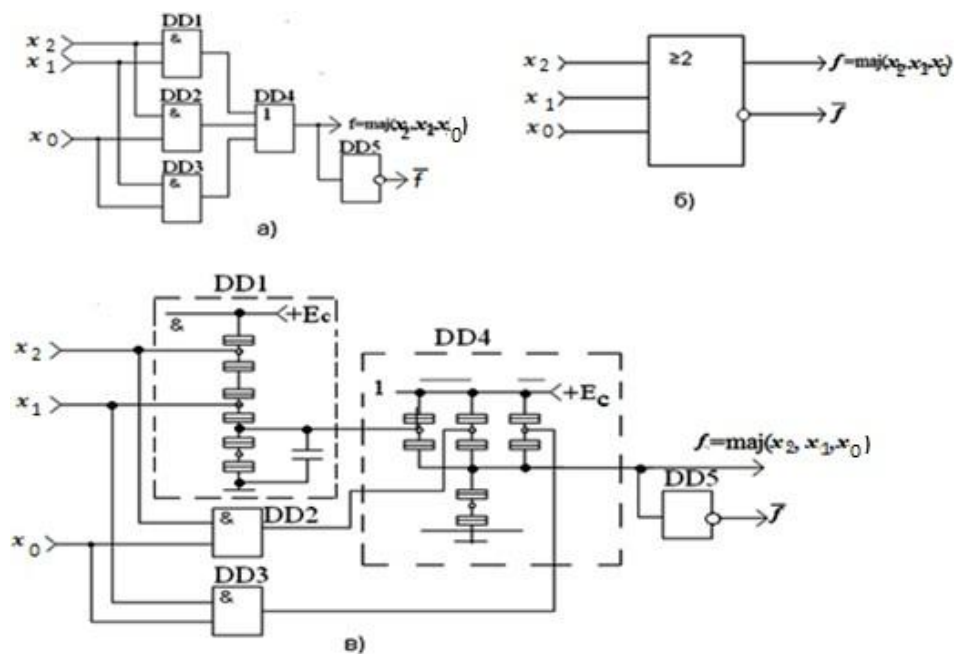


Рис. 2.13. Синтез МЕ 2 з 3 (а), умовне позначення (б) та одноелектронна наносхема
Інший спосіб створення МЕ на одноелектронних транзисторах показано на рис. 2.14.

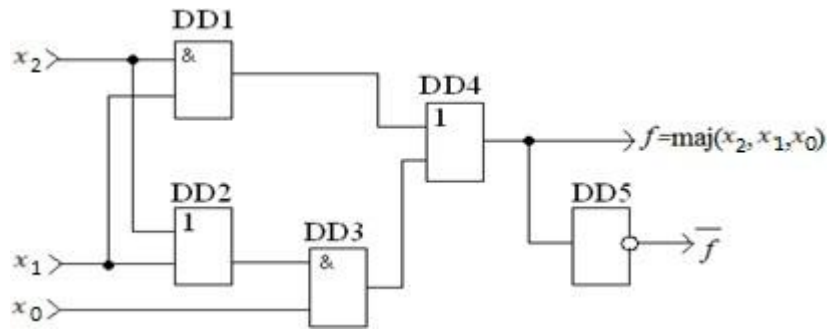


Рис.2.14. Схема МЕ (2 з 3)

До складу такої схеми входять 2 логічних елемента 2І DD1 та DD3, два елемента 2АБО DD2 та DD4 та один інвертор DD5.

Однорозрядний суматор реалізовується на одноелектронних універсальних мажоритарних елементах (рис.2.13, в).

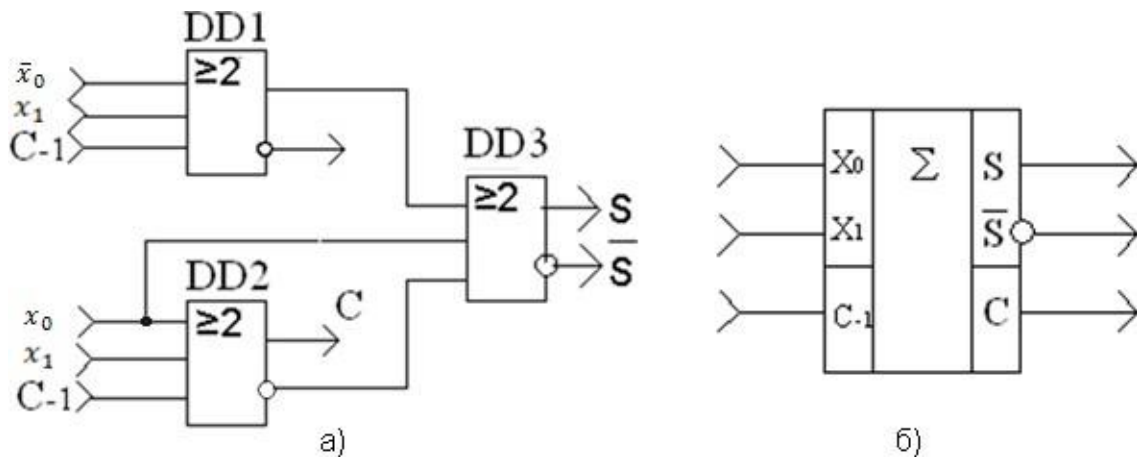
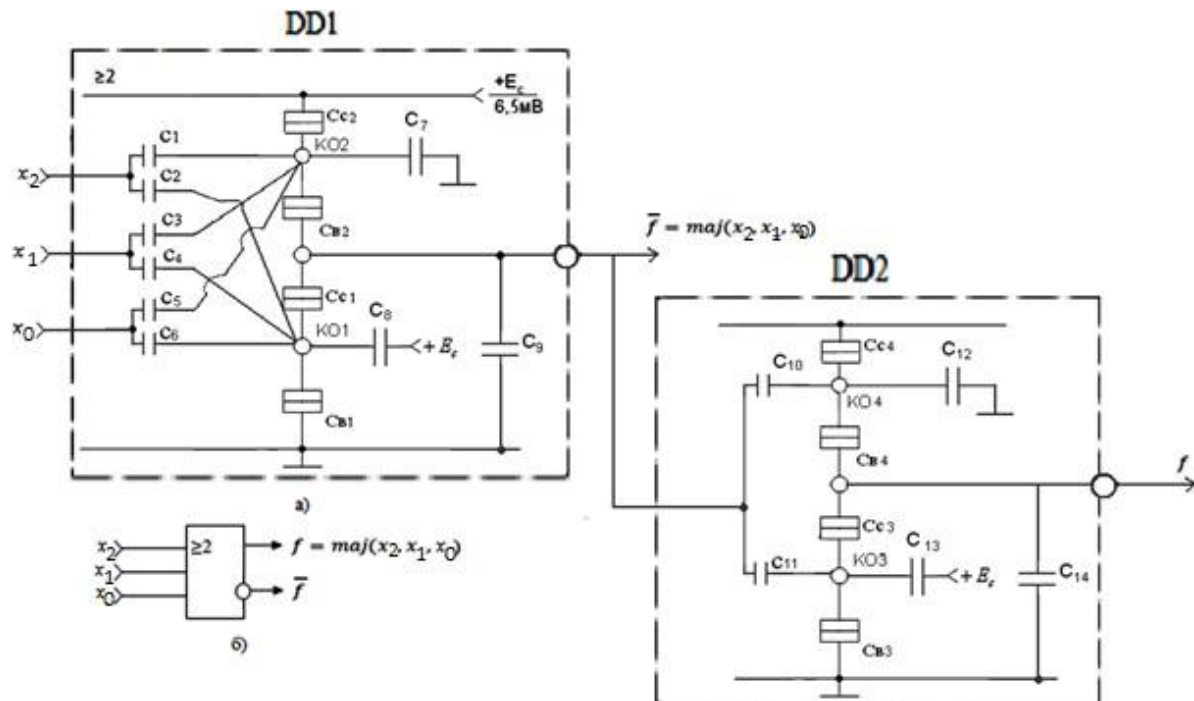


Рис.2.15. Однорозрядний суматор на універсальних МЕ (а) та його умовне позначення (б)

2.4. Нанохеми на мажоритарних одноелектронних елементах

До складу універсального мажоритарного елемента входять (рис.2.16) два логічних інвертора DD1 та DD2, елементна база яких є дві пари комплементарних



ОЕТ.

Рис.2.16. УМЕ 2 з 3 на базі КОЕТ-інверторів (а) та його умовне позначення (б)

Три входи універсального мажоритарного елемента з'єднуються через 6 налаштованих спеціально конденсаторів, які мають два кулонівські острівці, для того щоб було виконання функції мажоритарного вибору. Такі конденсатори мають нанорозмір, та схожі шістьом емітерним переходам транзистора ІС мажоритарного елемента, яку зображено на рис.2.12, б. Ємність такої схеми має відповідати:

$$C_1=C_2=C_3=C_4=C_5=C_6=\frac{C_{10}+C_{11}}{6} = 1a\Phi. \quad (2.12)$$

Електрони починають тунелюватися через переходи C_{B1} , C_{C1} , і C_{B2} , якщо відбувається зняття кулонівської блокади з острівців за допомогою трьох сигналів, які дорівнюють одиниці $x_2x_1x_0 = \{011, 101, 110, 111\}$. Після таких дій інвертор переходить у відкритий стан і на виході отримуємо логічний нуль, а інвертор DD2 є закритим та на виході отримуємо логічну одиницю.

Інвертор DD1 залишається закритим та на виходах функція та інвертована функція дорівнюють 0 та 1 відповідно, якщо два-три сигнали є нульовими $x_2x_1x_0$

$=\{001, 010, 100, 000\}$, а вхідний сигнал $U_{\text{ВХ}}^0$ дорівнює менше половини напруги кулонівської блокади $U_{\text{КБ}}$.

Запобігання між входовій перехресній заваді є дуже важливим коли виготовляється КОЕТ універсального мажоритарного елемента. Для цього необхідно слідувати умовам рівняння. Значення ємностей схеми: $C_{\text{В1}} = C_{\text{В3}} = C_{\text{С2}} = C_{\text{С4}} = 1a\Phi$, $C_{\text{В2}} = C_{\text{В4}} = C_{\text{С1}} = C_{\text{С3}} = 2a\Phi$, $C_7 = C_8 = C_{12} = C_{13} = 9a\Phi$, $C_9 = C_{14} = 24a\Phi$, а $E_c = +6,5\text{мВ}$.

Якщо на всі входи подати сигнали які рівні одиниці, то характеристика перемикання універсального мажоритарного елемента буде відповідати рис.2.17.

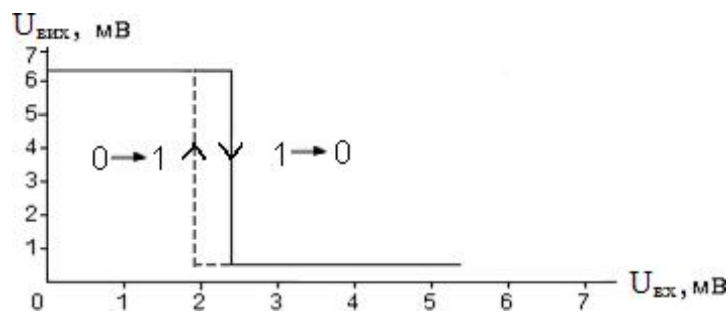


Рис.2.17. Характеристика перемикання УМЕ на двох КОЕТ-інверторах

Існування гісторизису викликано за допомогою вузької зони перемикання $U_{\text{ВХ}}$ 3,5мВ, яка отримана в умовах зняття ($U_{\text{ВХ}}^1 > 0,5 U_{\text{КБ}}$) та набуття ($U_{\text{ВХ}}^0 < 0$) кулонівської блокади, це можна побачити на характеристиці (рис.2.17). Гісторизис не впливає на роботу універсальних мажоритарних елементів, тому що він не має наскрізних струмів, це дозволяє мінімалізувати втрати потужності.

На рисунку 2.18. зображено однорозрядний наносуматор, який побудований на базі УМЕ.

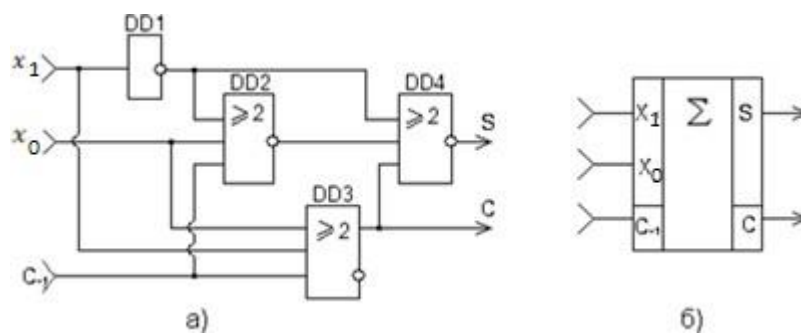
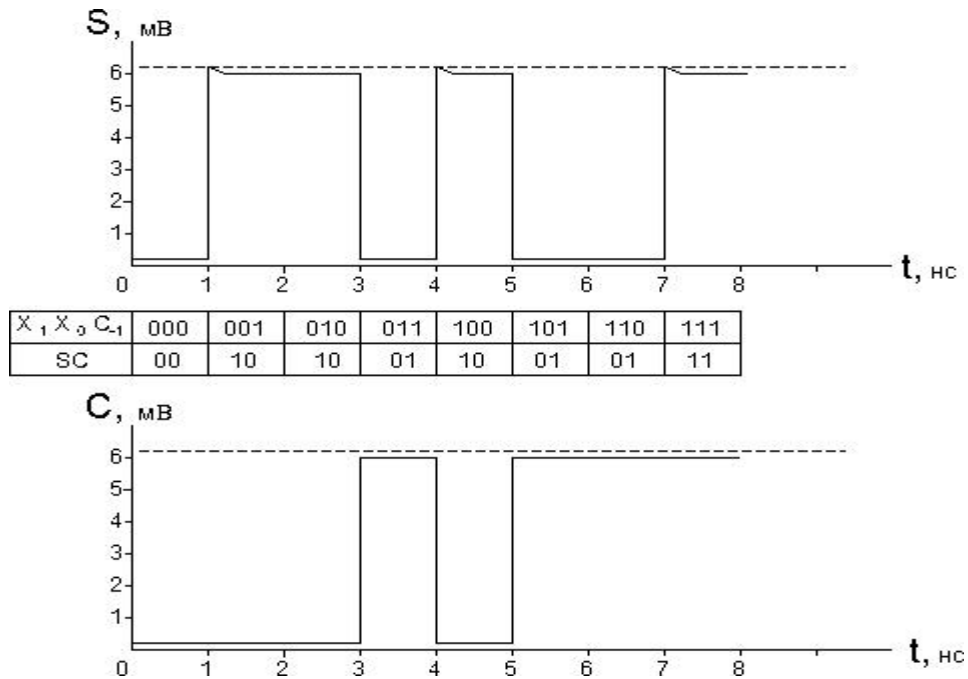


Рис.2.18. Схема однорозрядного наносуматора на УМЕ (а) та його умовне позначення (б)

Результати моделювання однорозрядного суматора показано на рис.2.19 у вигляді осцилограм. Такі часові характеристики є середньо-статистичними через малу кількість електронів, які тунелюються через переходи КОЕТ та назбируються



на кулонівських острівцях.

Рис.2.19. Часові діаграми виконання операції додавання суматором на УМЕ і таблиця дійсності

У всіх розрядах бінарних чисел багато-розрядних суматорів одночасно виконується додавання. До складу такого суматора потрібно, щоб входили вузли додавання у кожний розряд. Чотирьох-розрядний суматор, який побудовано за допомогою чотирьох одно-розрядних суматорів на базі універсальних мажоритарних елементів, зображено на рис.2.20. За допомогою часу переносу сигналу C до слідуючого розряду можна визначити час виконання операції додавання $(x_3x_2x_1x_0 + y_3y_2y_1y_0)$.

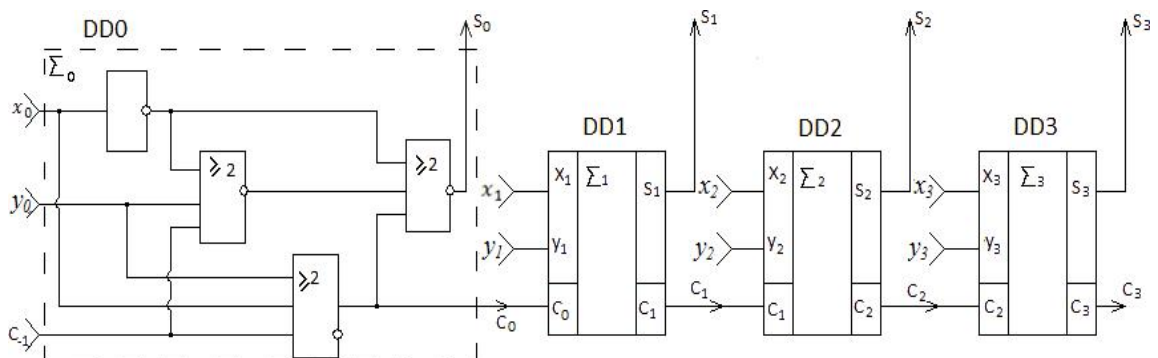


Рис.2.20. Структурна схема паралельного 4-розрядного суматора на універсальних МЕ

На рис. 2.21 побудовані модельні діаграми роботи 4-розрядного суматора та таблиця станів додавання чисел $x_3x_2x_1x_0 = 1111$ та $y_3y_2y_1y_0 = 0001$.

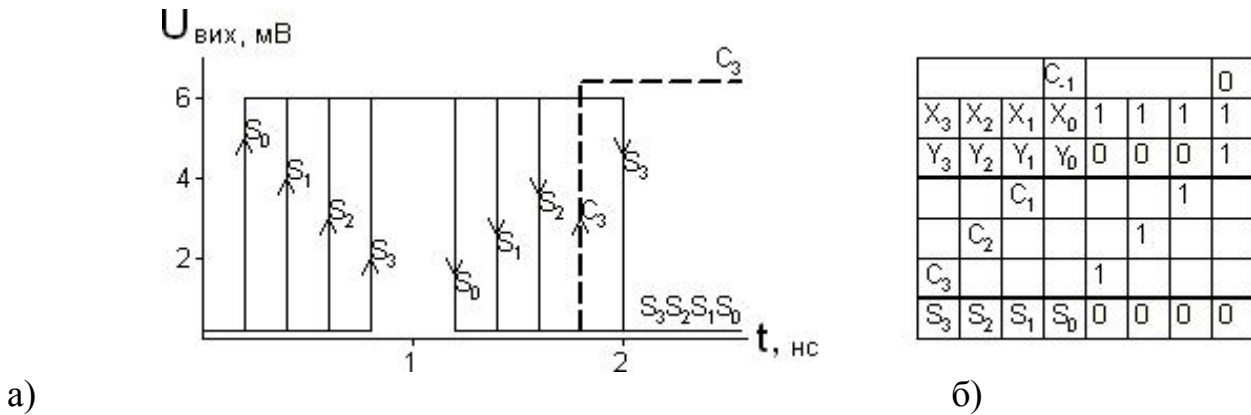


Рис.2.21. Часові діаграми (а) та таблиця станів 4-розрядного суматора (б) для додавання чисел $x_3x_2x_1x_0 = 1111$ та $y_3y_2y_1y_0 = 0001$

Час за який відбувається операція додавання та перенос до старшого розряду дорівнює 1,5 нс.

2.5. Висновок до другого розділу

У найшвидшому часі напівпровідникові ІС не зможуть відповідати вимогам швидкодії обчислювальної техніки та будуть досягнуті до квантово-технологічних обмежень. Для того, щоб збільшити ефективність інженерами та науковцями розробляється технології, які можуть це забезпечити. Квантові коміркові автомати і є такими новими розробленими технологіями. Головними плюсами коміркових автоматів є малий рівень енергоспоживання та висока щільність компонування. Інвертор та мажоритарний елемент є головними основами проектування на коміркових автоматах. Повну систему логічних функцій можливо отримати за допомогою реалізації логічних функцій та з використанням мажоритарного елемента. Проектування та виготовлення схем, які налічують велику кількість елементів, є проблемним, через недостатню кількість практичних результатів.

РОЗДІЛ 3

НАДІЙНІСТЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ОДНОЕЛЕКТРОННИХ НАНОСХЕМ

Усі властивості виготовлено пристрою та показники якості цього пристрою і є надійністю. Надійність не означає те, що пристрій є високоякісним, тому що виріб може мати низькі показники характеристик, але при тому бути надійним. Якщо виріб характеризується, як високоякісний, але має низьку надійність, то він автоматично зменшує своє практичне застосування, та не може повноцінно використовуватися в роботі. Надійність це одна з головних якостей будь-якого приладу, і характеризує вона загальні характеристики пристрою. У всьому світі важливою проблемою національної економіки, від якої залежить темп промислового розвитку, є завдання забезпечити якість та надійність. Така проблема, як надійність є складною, а складність полягає в тому, що технічна, соціальна та економічна сторони в ній розглядаються нерозривно одна від одної. Будь-який спроектований та виготовлений виріб охарактеризовується за трьома параметрами надійності, а саме: якість, технічний стан, працездатність.

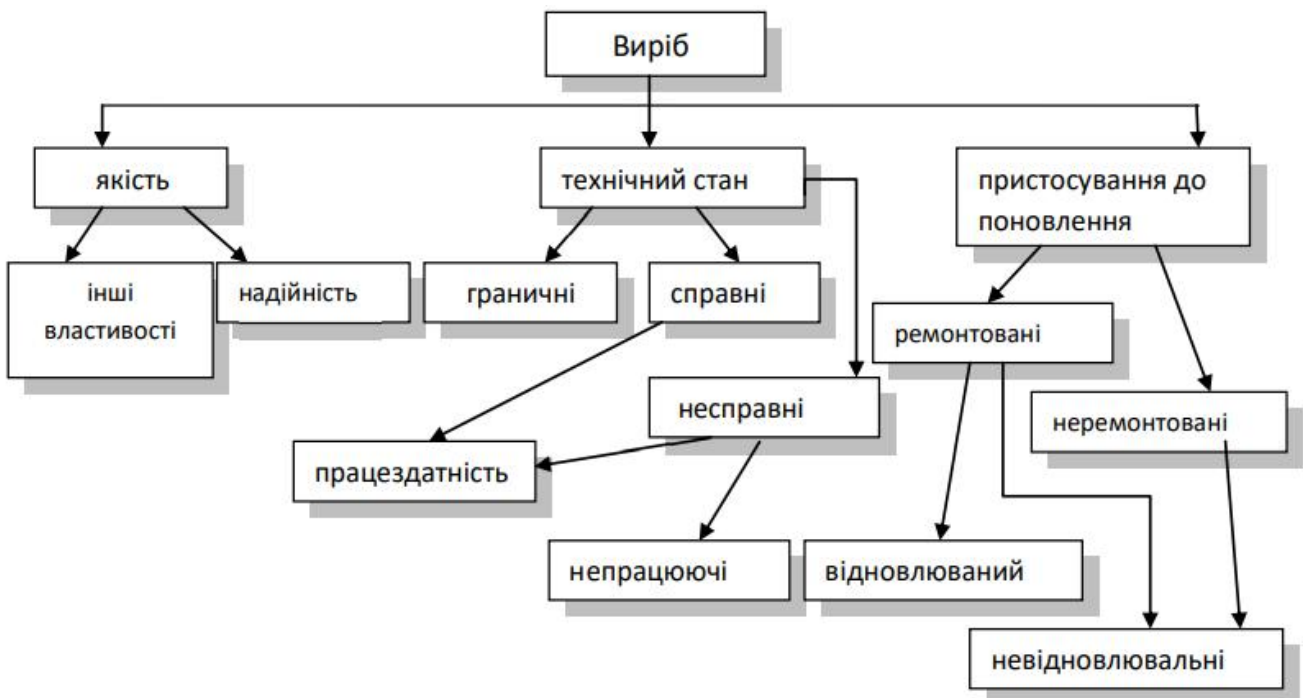


Рис.3.1 Характеристики приладів

Надійність має свій держаний стандарт України ДСТУ 2860-94.

3.1. Програмування логічних функцій

Маємо схему:

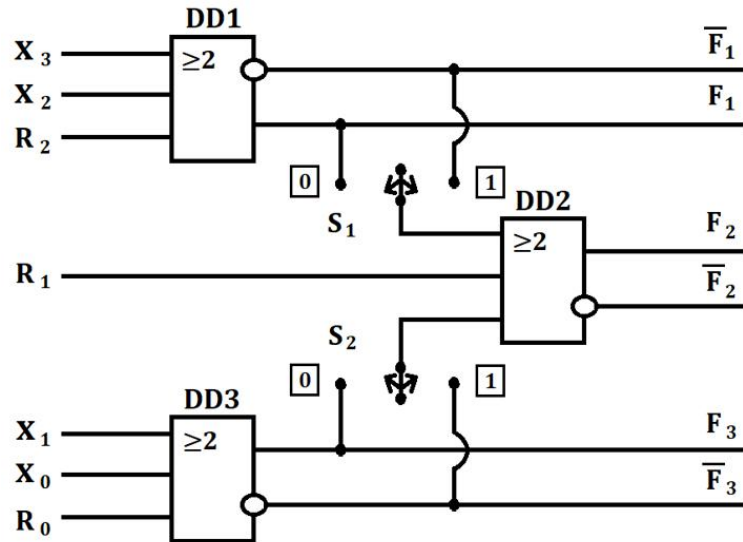


Рис.3.2 Одноелектронна схема

Потрібно перетворити ключі на програмовані мультиплектори:

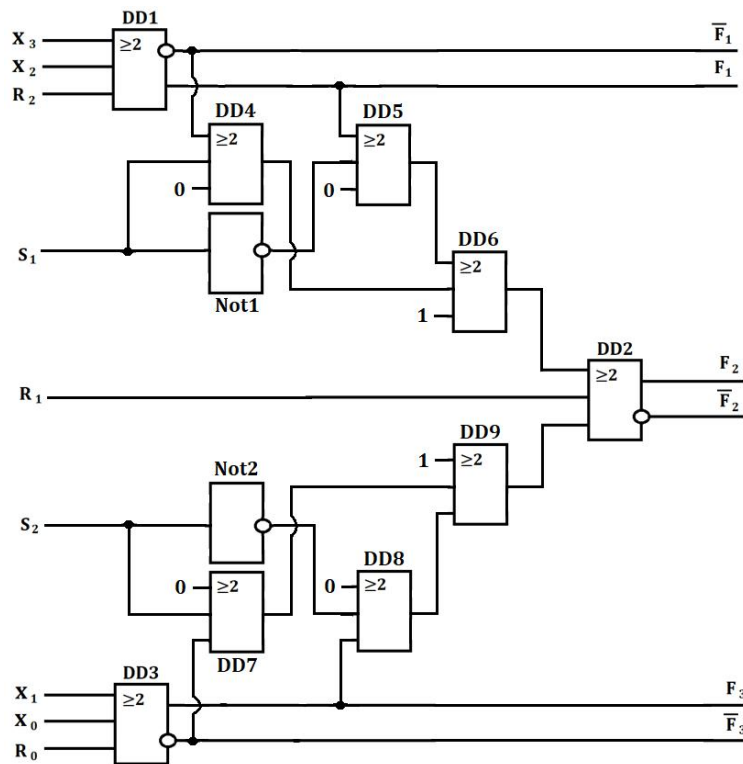


Рис.3.3

Рівняння для усіх логічних функцій ПНЕС в мажоритарному та булевому базисах:

$$f_1 = maj(x_3, x_2, 1) = x_3 \vee x_2, \quad (3.1)$$

$$\overline{f_1} = maj(\overline{x_3}, \overline{x_2}, 0) = \overline{x_3} \overline{x_2}, \quad (3.2)$$

$$f_2 = maj[maj(x_3, x_2, 1), maj(x_1, x_0, 0), 0] = (x_3 \vee x_2)(x_3 x_2), \quad (3.3)$$

$$\overline{f_2} = maj[maj(\overline{x_3}, \overline{x_2}, 0), maj(\overline{x_1}, \overline{x_0}, 1), 1] = (\overline{x_3} \overline{x_2}) \vee (\overline{x_1} \vee \overline{x_0}), \quad (3.4)$$

$$f_3 = maj(x_1, x_0, 0) = x_1 x_0, \quad (3.5)$$

$$\overline{f_3} = maj(\overline{x_1}, \overline{x_0}, 1) = \overline{x_1} \vee \overline{x_0}, \quad (3.6)$$

Виконуємо комп'ютерне моделювання ПНЕС на САПР QCA Designer для логічних функцій, які вказані вище.

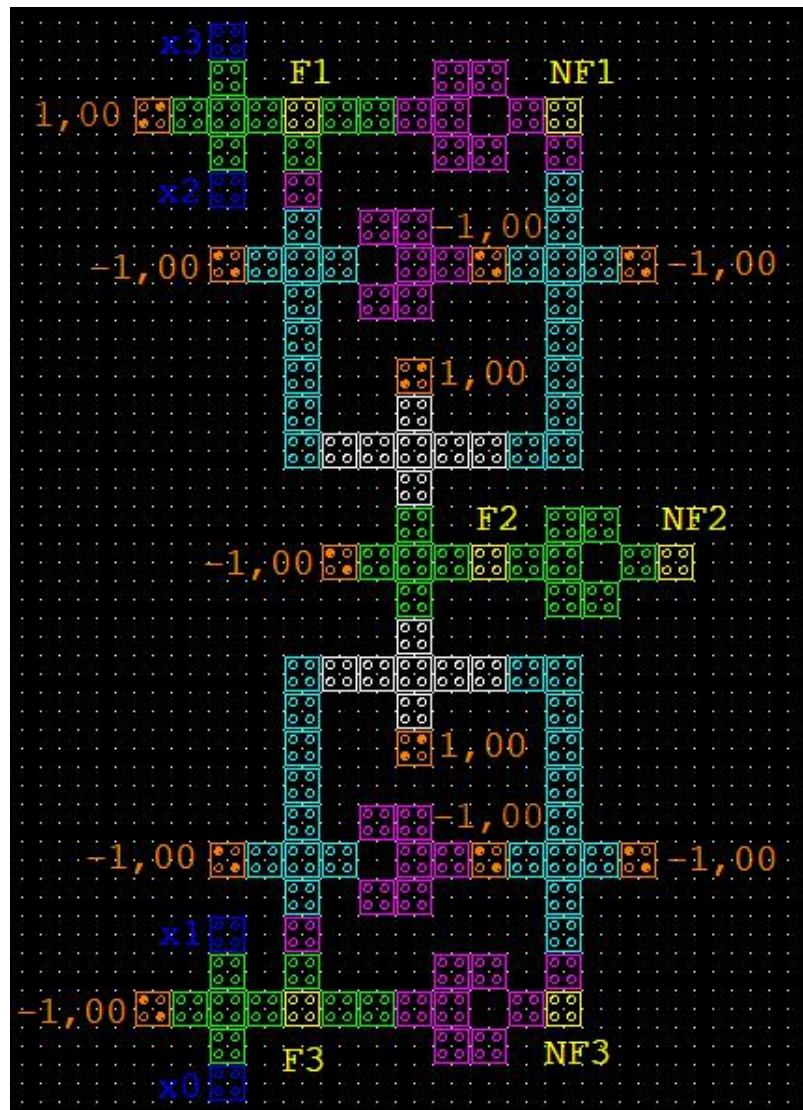


Рис.3.4. Змодельована одноелектронна схема САПР QCA Designer

Розраховуємо загальну кількість КА, їх розміри та відстані між їх центрами, діаметри квантових острівців і загальні розміри ПНЕС.

Виходи F_2 та \bar{F}_2 мають зсув на 180° .

Загальна кількість квантових комірок: 133, у яких 4 входи та 6 виходи

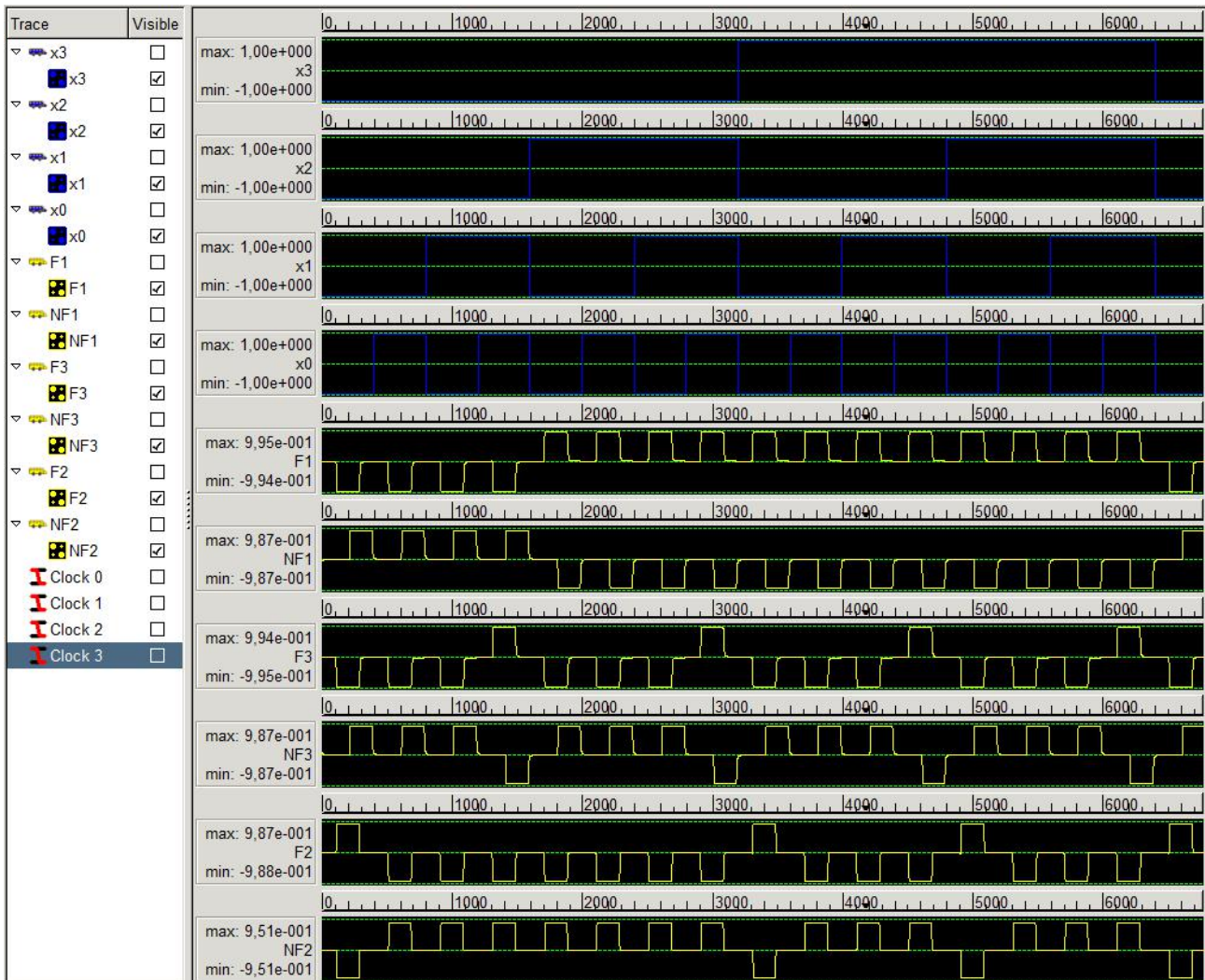
Розмір квантової комірки: (18x18)нм

Відстань між центрами КА: 20нм

Діаметр квантового острівця: 5нм

Загальні розміри наносхеми: (412x587) нм = 241844 нм² = 0,24 мкм²

Наступним кроком є часовий аналіз схеми.



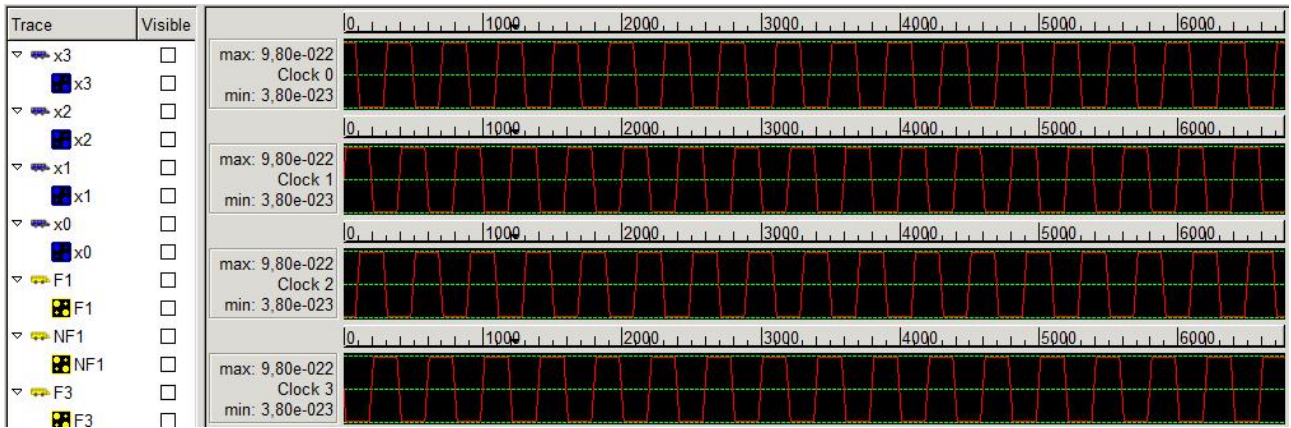


Рис.3.5. Часовий аналіз запрограмованої наносхеми

З результатів, які бачимо на екрані робочого ПК будемо таблицю істинності для запрограмованих функцій.

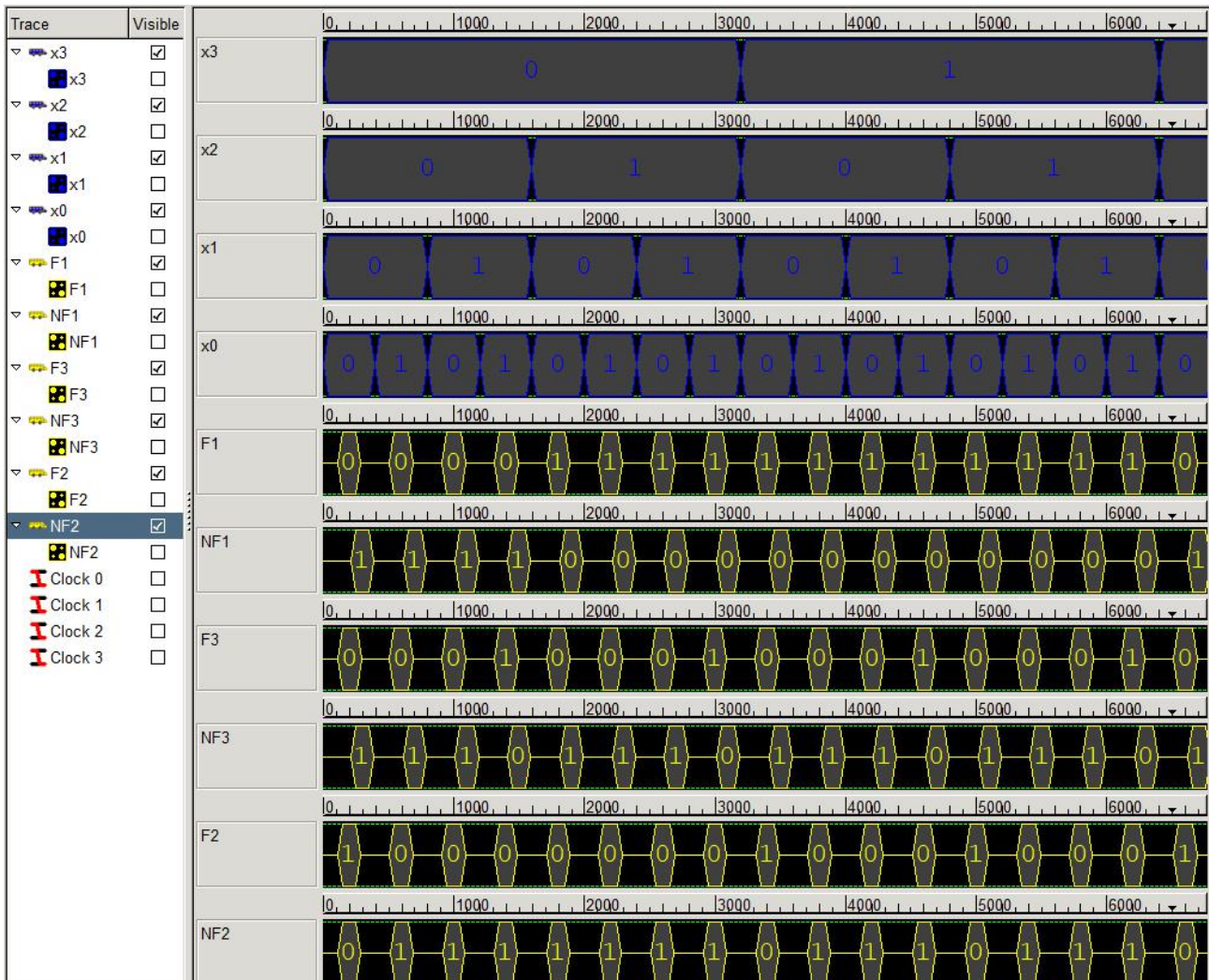


Рис.3.6. Діаграми вихідних запрограмованих логічних функцій

Таблиця 3.1

Таблиця істинності

№	x_3	x_2	x_1	x_0	f_1	$\overline{f_1}$	f_2	$\overline{f_2}$	f_3	$\overline{f_3}$
0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
3	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1
6	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
7	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0
8	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1
9	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
10	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
11	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0
12	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
13	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1
14	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
15	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0

Виконуємо моделювання схеми 2.

На мультиплексорі (4 \rightarrow 1) програмуємо такі логічні функції:

$$x_2(x_1x_0 \vee x_1\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1x_0) \vee \bar{x}_1\bar{x}_0 \quad (3.7)$$

Рівняння мультиплексора (4 → 1):

$$f = D_3x_1x_0 \vee D_2x_1\bar{x}_0 \vee D_1\bar{x}_1x_0 \vee D_0\bar{x}_1\bar{x}_0. \quad (3.8)$$

Перетворена функція програмування мультиплексора:

$$f_{pp} = x_2(x_1x_0) \vee x_2(x_1\bar{x}_0) \vee x_2(\bar{x}_1x_0) \vee 1(\bar{x}_1\bar{x}_0). \quad (3.9)$$

Таблиця 3.2

Таблиця програмування

x_1	x_0	D
0	0	$D_0 = 1$
0	1	$D_1 = x_2$
1	0	$D_2 = x_2$
1	1	$D_3 = x_2$

Таблиця 3.3

Таблиця істинності запрограмованої функції

x_2	x_1	\bar{x}_1	x_0	\bar{x}_0	f	\bar{f}
0	0	1	0	1	1	1
0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1

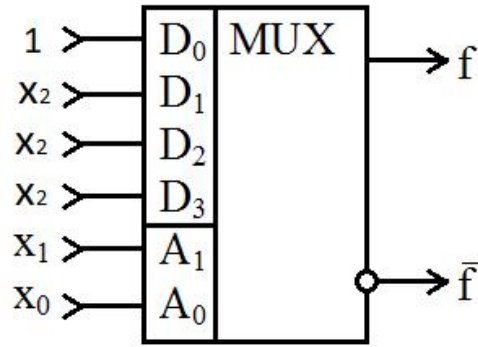


Рис.3.7. Схема мультиплексора із запрограмованими входами

Проектуємо мультиплексор мультиплексора (4 → 1), та отримуємо результати проектування у вигляді діаграм виходів заданих вхідних функцій. Проектування виконуємо на базі квантових коміркових автоматів (КА).

Моделювання функції запрограмованого мультиплексора на мозаритарних наноелементах:

$$f = x_2(x_1\bar{x}_0 \vee \bar{x}_1x_0) \vee \bar{x}_1x_0 \quad (3.10)$$

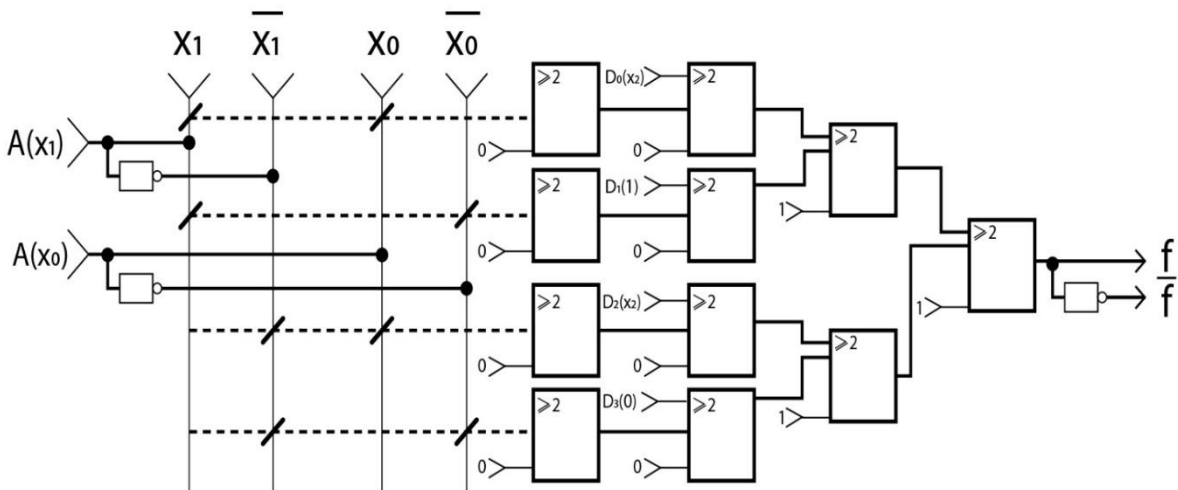


Рис.3.8 Схема моделювання мультиплексора

Наносхема запрограмованого мультиплексора (4→1) на базі квантових автоматів, яка реалізує задану функцію:

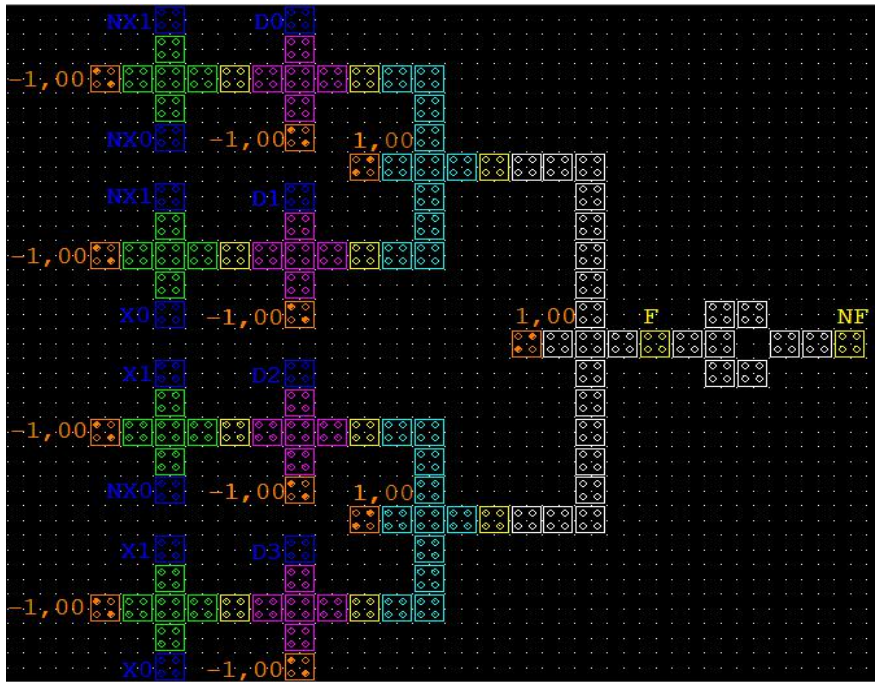


Рис.3.9. Змодельована схема запрограмованих функцій

Selection extents: (471,00,271,00)[98,00x58,00] = 5684,00 nm² = 0,01 um² Objects selected: 8
 Simulation found 12 inputs 12 outputs 124 total cells
 Starting initialization
 Total initialization time: 0 s
 Starting Simulation
 Total simulation time: 10 s

Часовий аналіз сигналів запрограмованої наносхеми:

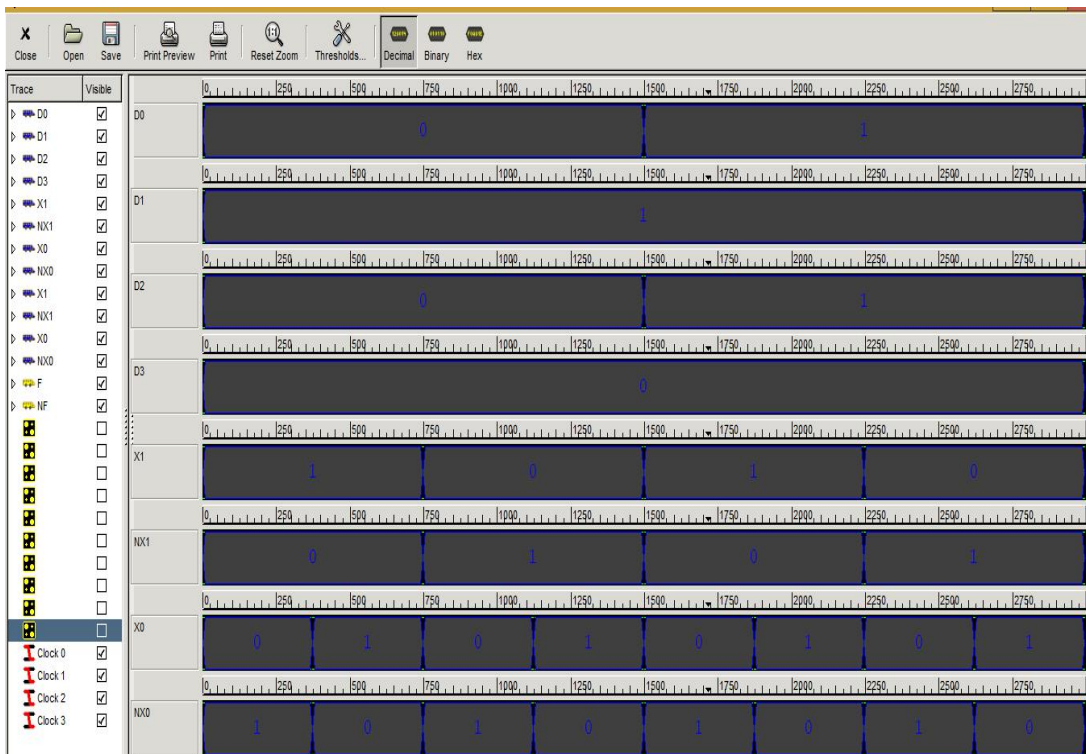


Рис.3.10

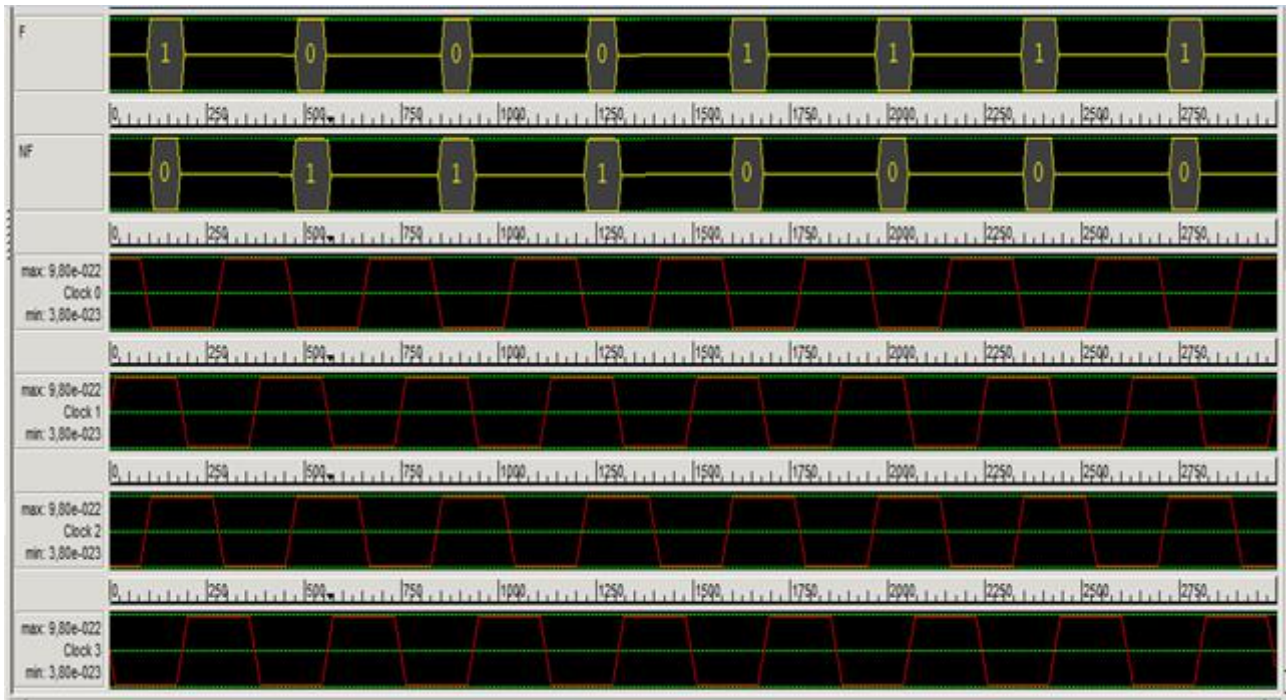


Рис.

3.11

Розраховуємо на САПР загальну кількість КА, їх розміри та відстань між їх центрами, діаметри квантових острівців і загальні розміри наносхеми з запрограмованими структурами.

Загальна кількість квантових комірок: 124, у яких 12 входів і 12 виходів

Розмір квантової комірки: (18x18)нм

Відстань між центрами КА: 20нм

Діаметр квантового острівця: 5нм

Загальні розміри запрограмованої наносхеми: (454,8x362,81) нм =

165005,988 нм² = 0,165 мкм²

3.2. Моделювання кріотемпературного впливу на виконання логічних функцій

Проводимо дослідження функцій, першої запрограмованої наносхеми, та температурний вплив

Оскільки, функції F1, F2, F3, та NF1, NF2, NF3 під час температурного дослідження змінювалися однаково, то відобразимо зміни на прикладі функцій F1 та NF1.

Стан функцій:

при температурі $T=0-10\text{ K}$ (рис.3.12)

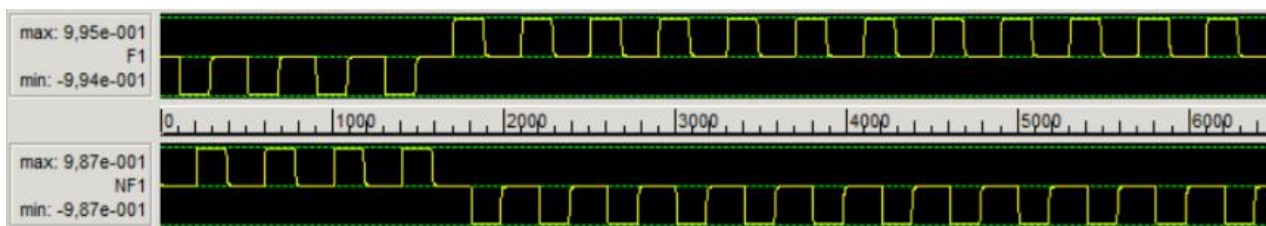


Рис.3.12

при $T=20\text{ K}$ (рис.3.13)

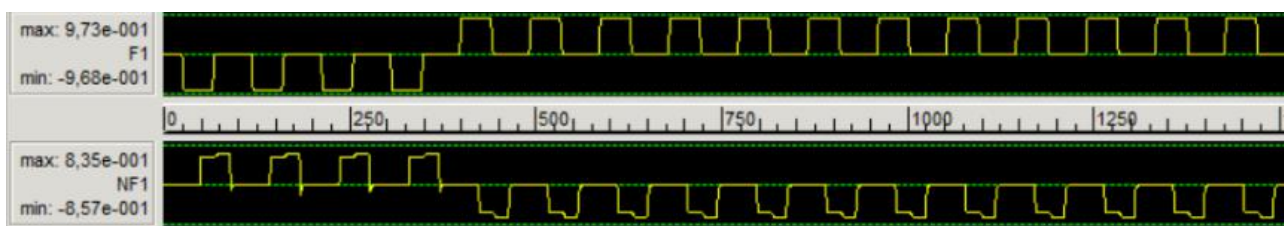


Рис.3.13

при $T=40\text{ K}$ (рис.3.14)

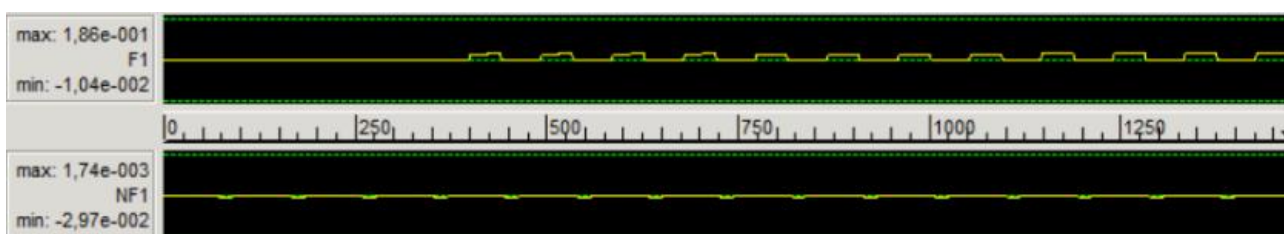


Рис.3.14

при $T=70\text{ K}$ (рис.3.15)

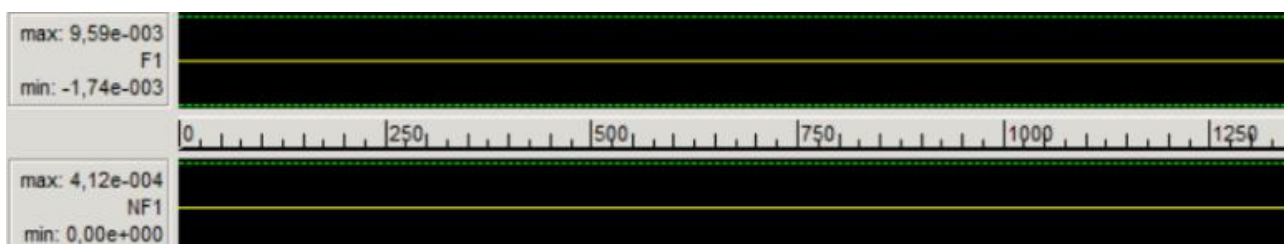


Рис.3.15

Із досліджених результатів поведіння функцій на зміну температури будемо графік залежності.

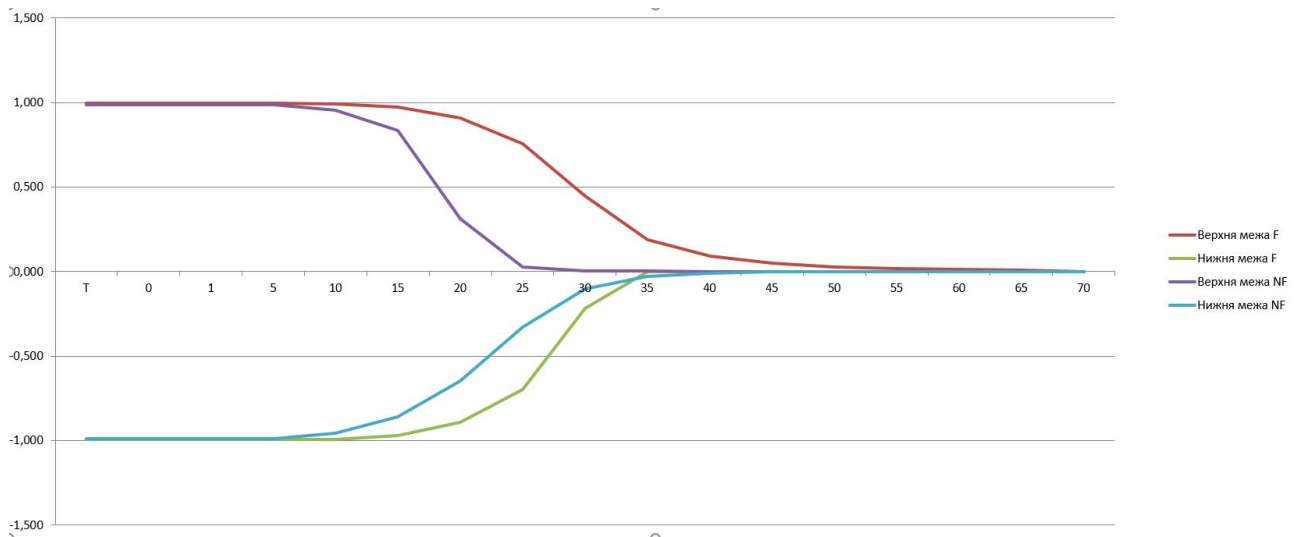


Рис.3.16. Графік залежності функцій від кріотемператури

Дослідивши запрограмований мультиплексор, друга досліджувана наносхема, також будуємо графік залежності від температури

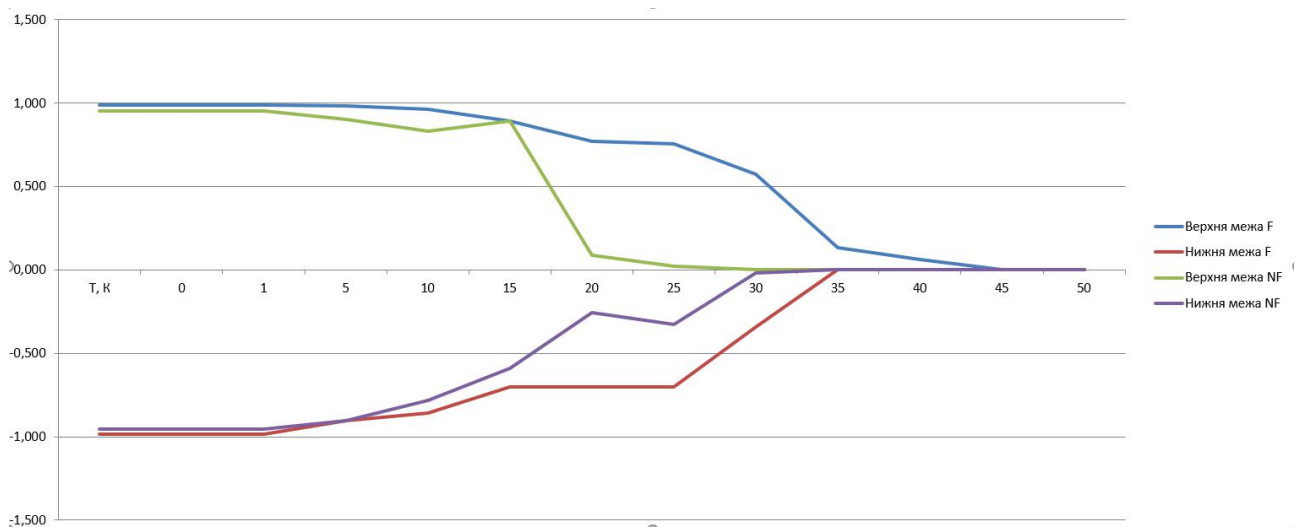
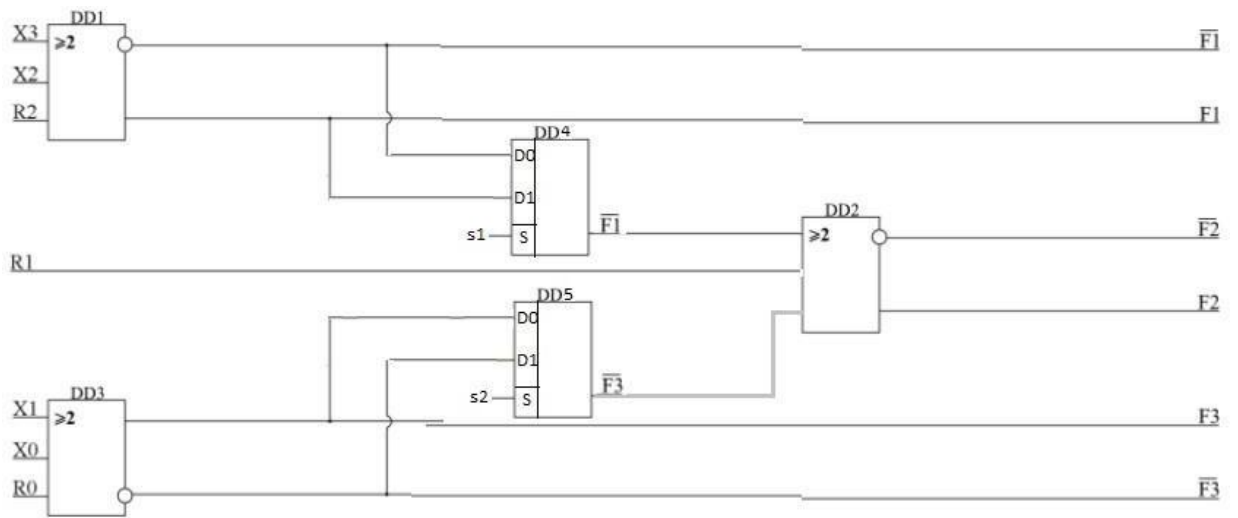


Рис.3.17. Графік залежності функцій запрограмованого мультиплексора від температури

3.3. Методологія розрахунків надійності наносхем

Щоб спроектувати модель надійності наносхеми потрібно замінити ключі S1 і



S2 наномультимплексорами (2→1) DD4 та DD5 відповідно:

Рис. 3.18

Кожен мультимплексор (2→1) замінюємо трьома мажоритарними елементами (ME) і одним наноінвертором:

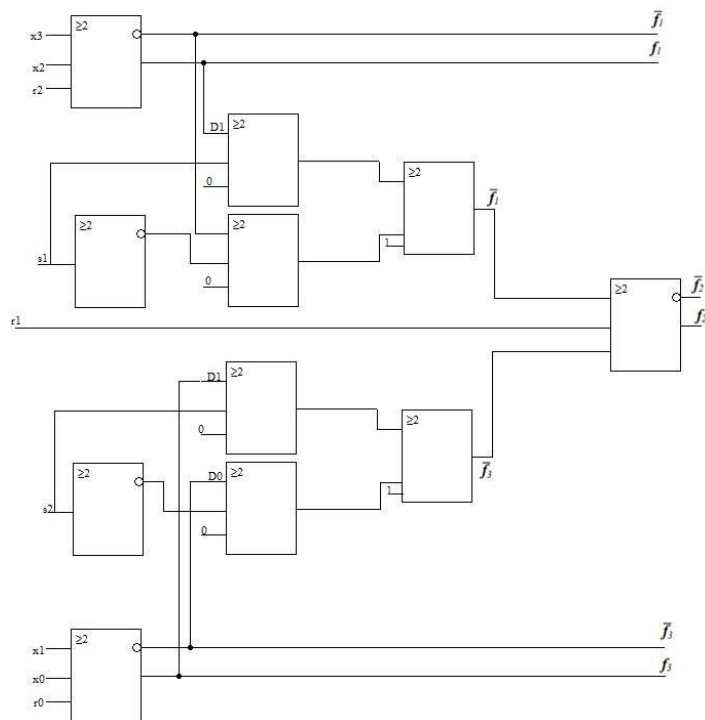


Рис.3.19

Побудова структурної моделі (схеми) розрахунку надійності (СМН,

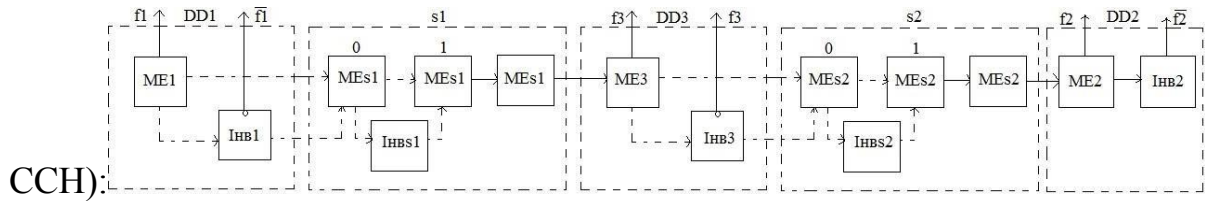


Рис. 3.20

Математичне моделювання надійності.

Ймовірність безвідмовної роботи (ЙБР) мажоритарного елемента (МЕ) при ідентичних вхідних квантових комірках має вигляд:

$$P_M(t) = pp(t) \cdot p(t)^2[3 - 2p(t)].$$

Для реальних значень ЙБР комірок $p(t) = 0,993$ і $pp(t) = 0,99$ отримують $P_M(t) = 0,98985515$.

Оскільки число квантових комірок інвертора (2..7) і МЕ (4...6) несуттєво різняться, то і ЙБР будуть практично однаковими $PI(t) = P_M(t) = 0,98985515$.

Передчасна відмова одного МЕ чи інвертора призводить до виходу з ладу усієї наносхеми. Такі елементи в розумінні надійності сполучені послідовно, хоча в електричній схемі вони не є послідовними. Тому СМН має вигляд, як це показано в пункті 3.

При реалізації вихідної функції f_2 і $f_2\psi$ в СМН буде відповідно $N = 9$ і $10 (s_1 = s_2 = 0)$, 10 і $11 (s_1 \neq s_2)$ та 11 і $12 (s_1 = s_2 = 1)$ елементів з ідентичними величинами надійності $P_M(t) = PI(t) = 0,98985515$.

Розраховуємо:

$$P_{CM}(t) = [P_M(t) = PI(t)]^9 = 0,91231;$$

$$P_M(t)^{10} = 0,90305;$$

$$P_M(t)^{11} = 0,89389; P_M(t)^{12} = 0,88482.$$

Ймовірність коректного виконання функцій f_1 і $f_1\psi$ та f_3 і $f_3\psi$ складає:

$$Pf_1(t) = Pf_3(t) = P_M(t) = 0,98985515;$$

$$Pf_1\psi(t) = Pf_3\psi(t) = P_M(t) \cdot PI(t) = 0,97981322.$$

Залежність надійності $P_{CM}(t)$ виконання функції від кількості елементів N наносхеми:

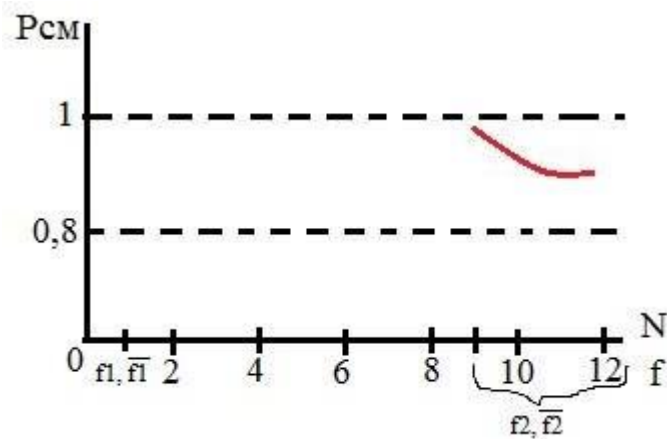


Рис. 3.21

З ненадійних елементів неможливо створити надійну послідовну складну ($N > 10$) схему.

Інтервал працездатності T_{CP} характеризує час безвідмовної роботи:

$$P_{CM}(t) = \exp\left(-\frac{t}{T_{CP}}\right)$$

Реально $T_{CP} = 1$ рік = 365 днів = 8760 год. Тоді інтервал часу, після якого

$$P_{CM}(t) \leq 0,5: t \geq 7991 \text{ год} \approx 332 - 333 \text{ дня.}$$

3.4. Висновок до третього розділу

Комп'ютерне моделювання задач з програмування функцій на квантових коміркових автоматах виконано за допомогою САПР QCA Designer. Часові діаграми запрограмованих функцій співпали з таблицею істинності.

Щонайекономічніші наносистеми з запрограмованою логікою споживають лише $(3.8-9.8)e^{-22}$ Дж енергії в колах синхронізації та живлення (рис.3.15).

Порівнюючи температурну залежність двох схем, бачимо, що запрограмована функція першої схеми більш надійна до працездатності. Це пов'язано з кількістю КА.

Під час аналізу надійності мажоритарної наносхеми, спочатку було змінено наносхему (кожний із мультиплексорів – трьома МЕ), побудовано структурну схему розрахунку надійності. Ймовірність безвідмовної роботи даної системи $P_M(t) = 0,98985515$. Оскільки ми маємо систему, що складається з N послідовно з'єднаних МЕ, далі визначаємо ЙБР для кожного з випадків, а потім і ймовірності відмови.

Згідно графіку, можемо зробити висновок, що зі збільшенням N елементів надійність такої системи знижується, а з ненадійних елементів неможливо побудувати надійну послідовну схему. Також було підраховано час, коли ЙБР системи знизиться: $P_{cm}(t) \leq 0,5$: $t \geq 7991$ год $\approx 332 - 333$ дня.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Темою кваліфікаційної роботи є проектування одноелектронних програмованих носієм.

Оскільки, в теперішній час електронні схеми проектуються та моделюються за допомогою персонального комп'ютера, то для цього потрібно приміщення, яке являє собою кімнату площею 32 м² та дозволяє помістити в собі 4 інженери для роботи (по 8 м² на кожну особу), обсяг 27 м³ на одного інженера-розробника.

4.1. Перелік шкідливих та небезпечних факторів у робочій зоні

У відповідність до ГОСТ 12.0.003-74(1999) інженер під час роботи у робочій зоні може перебувати у приміщенні, яке може бути шкідливим та небезпечним через деякі виробничі фактори:

- невідповідна стандартам температура приміщення (може бути нижче норми, або вище);
- температура матеріалів та поверхонь устаткування також може бути пониженою або підвищеною;
- низький рівень освітлення робочої території;
- вологість повітря нижче або вище відповідного рівня;
- менша або більша циркуляція повітря;
- занадто шумно в робочій зоні;
- електромагнітне випромінювання на підвищеному рівні;
- зависокий рівень статичної електрики.

Статистична електрика вище потрібного рівня. На робочому місці інженера рівень напруженості електростатичних полів не має підніматися вище ніж 60кВ/м за одну робочу годину, та 20кВ/м – до дев'яти робочих годин (ГОСТ 12.1.045-84 «Допустимі рівні напруженості електростатичних полів»). Максимальна позначка поверхневого електростатичного потенціалу має бути не більше 500 В. Нижче рівня або вище вологість повітря; невідповідна циркуляція повітря. Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88(1998) про «Загальні Санітарно-гігієнічні Вимоги до Повітря робочої

зони» під час виконання завдання з високим емоційним навантаженням температура повітря повинна бути на рівні 22-24 градуси за Цельсієм та рівнем вологості 60-40 відсотків, а також циркуляція повітря не має перевищувати 0.1 м/с. Зависокий рівень шуму. Головні характеристики та границі рівнів шуму в робочому приміщенні, вказані у ДСН 3.3.6.037-99 «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки». 60 дБА - це є рівень звукового тиску (SPL) для аналітичних та вимірювальних робіт. Освітленість приміщення нижче норми. Виконання завдань з приладами вимірювання входить до 5 класу зорової роботи, та є високоточною. Згідно з СНІП 23-05-95 норми для таких видів роботи є: комплексне освітлення - 300-400 люкс; в загальній системі освітленості 200-300 люкс.

4.2. Необхідні заходи для зменшення впливу небезпечних та шкідливих факторів на робочому місці

Вище перераховані небезпечні і шкідливі фактори, в будь-якому випадку негативно впливають на самопочуття людини, які впливають на зниження продуктивності працівника. Заходи за допомогою яких можливо знизити вплив факторів, які впливають на продуктивність роботи:

- для того щоб підвищити рівень статичної електрики потрібно: скоротити час роботи, коли рівень напруженості електростатичного поля має високий рівень, друге важливе правило полягає у використанні захисного екрану з тонкої сітки або скла, який буде приймати на себе електричний заряд, працівник повинен сидіти на відстані не менше 5 сантиметрів від екрану монітору, тому що рівень інтенсивності електричних компонентів може перевищувати 140 В/м, який є вище допустимої норми ДСанПіН 3.3.2-007-98;
- несприятливий мікроклімат: необхідно виконувати правила і норми, які зазначені в ГОСТ 12.1.005-88(1998) про «Загальні Санітарно-гігієнічні Вимоги до Повітря робочої зони»;
- запиленість робочої зони: потрібно регулярно робити вологе прибирання робочого місця;

- високий рівень шуму: використовувати звукоізоляцію, шумові екрани, поглинаючі фільтри для того щоб знизити рівень шуму під час його поширення;
- низький рівень освітлення;
- головне: раціонально використовувати перерви під час робочого часу.

Згідно з ГОСТ 12.1.005-88 (1998) про «Загальні Санітарно-гігієнічні Вимоги до Повітря робочої зони» у приміщеннях, в яких виконується робота, яка пов'язана з нервовою та емоційною напругою, а саме залах обчислювальної техніки, постах керування процесами, та ін., необхідно дотримуватися оптимальної температури повітря – 22-24° С.

На робочому місці температура повинна відповідати значенню вказаному в таблиці

Табл 4.1

Період року	Оптимальна	Допустимі границі
Холодний	22 - 24°С	18 - 25
Теплий	23 - 25°С	28 - 20

Температура в робочому кабінеті на різних висотах, та на різних ділянках робочої площі не повинна бути меншою або більшою, ніж вказано в таблиці.

Згідно з ГОСТ 12.1.005-88 (1998) про «Загальні Санітарно-гігієнічні Вимоги до Повітря робочої зони» температура не повинна виходити за межі оптимальних показників, які вказані в таблиці 4.1 більше ніж на 2 ° С, для того щоб забезпечувати оптимальний рівень показників мікроклімату, конструкцій, які обгороджують зону, в якій працює інженер, зовнішніх поверхонь всіх приладів та обладнання. Якщо було виміряно температуру поверхонь конструкцій, і вона виявилася нижче або вище норми, то в такому випадку потрібно робочі місця віддалити від них на 1 м не менше.

Для того аби забезпечити відповідні показники мікроклімату потрібно слідкувати за температурою внутрішніх поверхонь, які обгороджують робочу площу, і вона не має перевищувати або бути нижчою показників, які вказані в таблиці 4.1.

У холодні пори року необхідно застосовувати засоби, які захищають робоче місце від радіаційного охолодження, а в теплий період року потрібно засоби, які захищаються від прямих сонячних променів.

Теплове опромінення від нагрітих поверхонь обладнання не повинна бути більшою $35 \text{ Вт} / \text{м}^2$, якщо опромінення поверхні 50 відсотків та більше, $70 \text{ Вт} / \text{м}^2$ - якщо величина опромінення становить від 25 до 50% і $100 \text{ Вт} / \text{м}^2$ - якщо опромінено не більше 25 відсотків поверхні тіла.

За присутністю теплового опромінення температура не може перевищувати норми, які зазначені у таблиці вище, на постійному робочому місці, а також на тимчасовому робочому місці норми повинні відповідати тим само нормам.

В залежності від того який характер має зорова робота та який розмір має тіло встановлюється мінімальна допустима освітленість. Також потрібно враховувати який вид має освітлення, та вид джерела світла.

300-500 люкс це норми рівня освітлення за правилами, робочого місця в хої робочих інструментів інженера. Загальне освітлення, яке є в кімнаті, де працює інженер не повинно перевищувати яскравістю 300 люкс, та не повинно мати відблиски на поверхні екранів.

Найпопулярнішим використанням є люмінесцентні лампи, переваги цих ламп такі:

- тривалий цикл життя,
- ефективність,
- рівномірне освітлення
- освітлення максимально наближено до денного світла.

Рівень освітлення робочої зони полягає у виборі системи освітлення та у розрахунку необхідної кількості ламп. У робочому приміщенні буде використано системи штучного освітлення, джерелом світла є лампа.

В.2.5-28-2006 «Природне і штучні освітлення». Від освітлення залежить стан нервової системи людини та стан якості бачення.

У робочому кабінеті інженера використовується комплекс освітлення, що означає поєднання штучного та природного освітлення. Сонячні промені, які проходять через вікно і є природним освітленням. Використання штучного освітлення починається лише тоді, коли не вистачає природного. Тип світильника: підвісний світильник растровий для громадських приміщень ЛП071-4x18-571.

Розрахуємо загальне освітлення кабінету в горизонтальній площині за допомогою потоку світла, для розробки системи штучного освітлення.

Приміщення має висоту:

$$H = 3 \text{ м};$$

Висота поверхні стола:

$$hs = 0.8 \text{ м};$$

Висота плафона:

$$hh = 0.1 \text{ м}$$

Можемо знайти висоту плафону на робочим місцем:

$$b = H - hs - hh;$$

$$b = 3 - 0.8 - 0.1 = 2.1 \text{ м}; \quad (4.1)$$

Ширина приміщення:

$$A = 4 \text{ м}$$

Довжина приміщення:

$$B = 8 \text{ м}$$

Знайдемо площу освітлення

$$S = A \times B; \quad (4.2)$$

$$S = 4 \times 8 = 32 \text{ м}^2;$$

Отже, індекс приміщення:

$$i = Sb \times (A+B); \quad (4.3)$$

$$i = 32 \times 2.1 \times (4+8) = 1.26;$$

Коефіцієнт відбиття від стелі дорівнює 70%, від стіни на 50% і 10% - від підлоги.

Вибір характеристик ламп: лампи типу ЛЕЦ (754), напруга $110 + / - 11V$, життєвий цикл -5200 годин, освічування після 100 годин експлуатації 400 лм.

Характеристики лампи:

довжина: $LL = 625$ мм,

товщина: $Wl=625$ мм,

висота: 100 мм

Якщо взяти чотири таких лампи потужність яких від 18 Вт кожна, Тож світловий потік дорівнює:

$\Phi = 4000$ лм;

За допомогою індексу приміщення та всіх коефіцієнтів, а також типу світильника, знаходимо коефіцієнт світлового потоку:

$\eta = 40$;

Коефіцієнт затінення дорівнює:

$Ksh = 1.4$

Коефіцієнт затемнення заданої кімнати з зазначеним робочим місцем інженера:

$Ky = 0.9$;

Коефіцієнт зміни освітлення:

$Z = 1.3$;

Кількість люмінесцентних ламп у світильнику:

$n = 4$;

Освітлення дорівнює:

$E = 300$ лк;

Знаходимо кількість світильників, яка необхідна:

$Nc = 100 \times E \times S \times Kz \times Zni \times \Phi \times \eta \times Ky$; (4.4)

$Nc = 100 \times 300 \times 32 \times 1.4 \times 1.34 \times 4000 \times 40 \times 0.9 = 3.97$;

Виходячи з проведених розрахунків, що для даної кімнати потрібно чотири таких світильника.

Якщо використовувати світильники з люмінесцентними лампами, то потрібно лампи розміщувати в ряди, які будуть паралельні до вікна.

Спершу потрібно перевірити освітлення в кімнаті під час використання чотирьох світильників, а потім уже займатися розробкою штучного освітлення:

$$E_r = N_c \times n_i \times \Phi \times \eta \times K_y / 100 \times S \times K_z \times Z; \quad (4.5)$$

$$E_r = 4 \times 2 \times 3000 \times 40 \times 0.91 / 100 \times 32 \times 1.4 \times 1.3 = 340 \text{ lx};$$

В результаті отримано освітленість приміщення.

Створення нормальних умов для теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем є принципом нормування мікроклімату.

Температура та відносна вологість приміщення може змінитися, оскільки, обчислювальна техніка є тепловидільною. В кімнатах, в яких встановлено комп'ютери, потрібно виконувати певні правила параметрів мікроклімату. Величини параметрів мікроклімату, які створюють комфортні умови, встановлені в санітарних нормах. Такі норми залежать від характеру роботи, вид приміщення, пори року.

Якщо враховувати максимальну кількість працівників, які працюють одночасно в одну зміну, то об'єм приміщень не має бути меншим 19,5м³/людина. Норми, які потрібно дотримуватися щодо свіжого повітря в приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Параметри мікроклімату для кімнат, в яких є комп'ютери

Таблиця 4.2

Період року	Оптимальні умови	Граничні умови
Холодний	40 - 60%	40 - 75%
Теплий	40 - 60%	40 - 75%

Згідно з ГОСТ 12.1.005-88 (1998) про «Загальні Санітарно-гігієнічні Вимоги до Повітря робочої зони» вентиляція, опалювальна система, кондиціонування повітря використовуються, як технічні засоби для забезпечення комфортних умов.

Необхідна швидкість руху повітря в робочому приміщенні

Таблиця 4.3

Період року	Величина
Холодний	до 0,1м/с
Теплий	0,1.0,2м/с

Норми, яких потрібно дотримуватися щодо подачі свіжого повітря в робоче приміщення

Таблиця 4.4

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата свіжого повітря, що подається в приміщення, м ³ /на одну людину в годину
Об'єм до 20м ³ на людину	Не менше 30
20.40 м ³ на людину	Не менше 20
Більше 40м ³ на людину	Природна вентиляція

Принцип нормування шуму використовується на основі граничних спектрів в октавних смугових частотах в міжнародній організації зі стандартизації.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСІ 12.1.003-86. Виходячи з класифікації робочих приміщень встановлено певні параметри шуму для різних видів діяльності.

Рівень тиску та звуку на робочому місці потрібно вибирати з таблиці 4.5.

Застосовується принцип нормування, базою якого є регламентований звук в дБА, який потрібно вимірювати під час ввімкнення коректованої частоти.

Допустимі спектри рівнів звукового тиску

Таблиця 4.5

Рівень звуку I еквівалентний рівень звуку, дБА	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Рівень звукового тиску, дБ, в октавних смугах Із середньгеометричними частотами, Гц	71	61	54	49	45	42	40	38

Нормалізація напруженості електричної та магнітної складових полів у ближній зоні, яка відповідає фізичному значенню до 300 МГц.

Нормалізація густоти потоку енергії та енергетичного навантаження відбувається у дальній зоні, частота якої дорівнює 300 МГц - 300 ГГц, у якій перебуває персонал, що обслуговує ЕМВ.

Наступні значення відповідають напруженості ЕМП на робочих місцях в діапазоні частот 60 кГц — 300 МГц.

для електричних полів:

f, МГц 0,06-3 3-30 30-50 50-300

E, В/м 50 20 10 5

для магнітних полів:

f, МГц 0,06-1,5 30-50

H, А/м 5 0,3

Вибирати спосіб захисту від електромагнітного випромінювання потрібно виходячи з робочого діапазону частот, напруженості та щільності потоку енергії та характеру виконуваних робіт.

Організаційні заходи, інженерно-технічні, і також лікарсько-профілактичні допомагають зменшити вплив ЕМП на працівників.

Санітарний нагляд проводять органи санітарного нагляду, і це входить до організаційних заходів зменшення впливу ЕМП.

Інженерно-технічні заходи проводяться з метою змінити розташування джерел ЕМП, за допомогою чого можливо звести до мінімуму вплив на працівників. Наприклад, можна використовувати дистанційне керування апаратурою в умовах виробництва, також застосовувати халати, комбінезони з металу. Доцільним є використання окулярів ЗП5-90 для того щоб захистити очі. Скло в таких окулярах зроблено з напівпровідникового олова.

Засоби індивідуального захисту є незручними у використанні, обмежують можливість виконання трудових операцій та погіршують гігієнічні умови, тому їх застосовувати потрібно лише в крайніх випадках.

На діелектричних поверхнях обладнання, на незаземлених металевих поверхнях є можливість появи зарядів статистичної електрики. Причиною деяких захворювань є тривалий вплив статистичної електрики.

При роботі одну годину допустима напруженість електростатичного поля дорівнює 60 кВ/м, а при роботі 9 годин - 20 кВ/м .

Норми для пожежної безпеки є у ГОСТ 12.1.004-91(1996). Пожежа в приміщенні приводить до неприємних наслідків.

Відповідно до Закону України “Про пожежну безпеку” власники підприємств, установ та організацій або уповноважені ними органи, а також орендарі повинні:

- працювати над розробкою заходів комплексу, які будуть відповідати за пожежну безпеку, а також запроваджувати позитивні досягнення науки і техніки;
- потрібно розробляти та затверджувати всі інструкції, положення, та нормативні акти, які відповідатимуть нормативним актам з пожежної безпеки;

- дотримуватися протипожежних вимог, які зобов'язують виконувати органи державного пожежного нагляду, а також виконувати вимоги прописів цих органів;
- регулярно проводити навчання щодо правил пожежної безпеки для працівників;
- потрібно розробити необхідні умови для забезпечення пожежної безпеки, якщо відсутні нормативні акти щодо таких вимог, а також погодити їх з органами державного пожежного нагляду;
- заборонено використовувати протипожежний інвентар не за призначенням, також потрібно слідкувати за справністю цього інвентарю та засобами протипожежного захисту;
- необхідно створити матеріально-технічну базу для підрозділів пожежної безпеки, у разі якщо це потрібно;
- потрібно надавати відомості, звіти та інші документи в яких зазначено стан пожежної безпеки об'єктів та продукції на вимогу охорони державної протипожежної безпеки;
- впроваджувати та застосовувати автоматичні засоби виявлення та гасіння пожежі використовуючи для цього виробничу автоматику;
- одразу повідомляти про несправність пожежної техніки, протипожежних систем, про закриття доріг на території підприємства в пожежну охорону;
- допомагати у розслідуванні випадків пожеж.

Якщо приміщення орендується, то в договорі необхідно прописувати обов'язки сторін щодо забезпечення пожежної безпеки.

Відповідно до ГОСТ 12.1.010-76 параметри і властивості, які характеризують небезпечні райони:

- спалах;
- підвищена температура, яка є на межі запалення, а також концентрація;
- температура самозаймання;
- швидкість з якою поширюється огонь;
- в приміщенні об'єм кисню є на межі вибуху;

- енергія загоряння заходиться на мінімальному значенні;
- підвищена чутливість до ударів і тертя.

Факторами, які є характерними для вибуху, є:

- температура під час вибуху та максимальний тиск;
- збільшення швидкості тиску під час вибуху;
- рівень тиску у окрузі хвилі удару;
- характеристики середовища, яке є вибухонебезпечним.

Фактори, які несуть вплив на працівників після вибуху:

- зона, в якій тиск піднімається вище допустимого значення;
- пожежа;
- руйнування приміщення, обвалювання стін та інших конструкцій;
- пошкоджене обладнання після вибуху або під час вибуху виділяє шкідливі речовини, концентрація яких перевищує допустимі норми;
- дим;
- опускання концентрації тиску нижче допустимого рівня.

4.3. Основні правила техніки безпеки, пожежної та вибухової безпеки

На видному місці, у кожному приміщенні, має бути вивішена табличка з іменем та прізвищем, а також має бути вказана посада, людини, яка призначена відповідальним за пожежну безпеку.

Основні заходи щодо пожежної безпеки у даному приміщенні мають бути вказані в інструкції.

Всі правила, які прописані в інструкції повинен виконувати кожен працівник приміщення в обов'язковому порядку.

Робітники службових і конторських приміщень повинні виконувати вимоги загальної об'єктової та даної інструкції про заходи пожежної безпеки.

Працівники, які закінчили вступний протипожежний інструктаж можуть бути допущені до самостійної роботи.

Всі пожежні крани, вогнегасники, сигналізації пожежні завжди повинні бути у робочому стані.

Всі робітники мусять знати де знаходяться пожежні крани та вогнегасники, а також повинні вміти ними користуватися. Найбільша відстань між вогнегасником і приміщення не має бути більша ніж 20 метрів.

Кількість вогнегасників має бути відповідною до Типових норм належності вогнегасників НАПБ Б.03.001, що затверджені наказом МНС України від 02.04.2004 року N 151 та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 29 квітня 2004 року за N 554/9153 а саме:

Перед початком роботи в приміщенні необхідно переконатися у тому, що прохід до евакуаційних виходів вільний для проходження.

Потрібно перевірити на відсутність пошкоджень проводки, штепсельних вилок та розеток, а також вимикачів. якщо було виявлено порушення протипожежного режиму, тоді потрібно негайно вжити заходів по їх усуненню.

Всі електроприлади мають використовуватися виключно у справному стані. Якщо було виявлено пошкодження електроприладу потрібно одразу відключити його від живлення.

Всі горючі матеріали, в тому числі папери потрібно зберігати на відстані не менше 1 метра від електрощитів, а також не менше ніж 0.25 метра від опалювальних приладів.

На робочому місці забороняється:

- використовувати саморобні подовжувачі, які не відповідають стандартам, а також саморобні частини, які є плавкими.
- використовувати вимикачі, розетки не за призначенням (наприклад, вивішувати одяг на вимикачі або розетка, заклеювати електропроводку горючою тканиною).
- використовувати побутові прилади на робочому місці, а також залишати увімкненими комп'ютери, кондиціонери та іншу робочу техніку.
- заставляти чимось проходи до засобів пожежогасіння, також використовувати інвентар для гасіння пожежі не за призначенням.

- зберігати документи, різні матеріали, які не є інженерною комунікацією в інженерних шафах.
- палити.
- без оформлення дозволу, який дозволяє зварювальні та інші вогневі роботи, також використовувати рідини, які легко загоряються.

4.4. Висновок до четвертого розділу

Зобов'язання роботодавців:

- оцінка можливих небезпек: створення та проектування робочого місця, планування робочих процесів, робочий час;
- оцініть саму роботу: чи прийнятні умови праці;
- обов'язок обережності;
- вносити нові відкриття та постійно розробляти заходи;
- розпорядження працівників: повідомити про це працівників.
-

Обов'язки працівників:

- дотримуйтесь заходів безпеки (за потреби одягайте захисний одяг...);
- правильно користуватися машинами та іншим робочим обладнанням;
- обов'язок обережності: сприяйте безпеці та запобіжним заходам самі - як працівник ви також несете відповідальність за захист;
- зобов'язання повідомляти: якщо ви бачите, що щось несправне або не відповідає правилам охорони праці, негайно повідомте про це роботодавця.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Над швидкі технологічні переміни, оновлення способів запису (магнітні стрічки, MP3), зниження ціни, та планове зістарювання техніки призвели до того, що електронного сміття у всьому світі почало швидко зростати.

Для того щоб вирішити технічне питання потрібно редагування правової бази, системи збору, логістики. 50 мільйонів тон щороку накопляється відходів електроніки. Тільки 15-20% відходів електроніки йде на переробку, а все інше з цієї електроніки відповідно надходить до звалищ, за твердженнями агентства охорони навколишнього середовища.

До складу електронних відходів входять не лише небезпечні складові, а й цінні та рідкісні. У рештках електроніки можна знайти до 60 хімічних елементів. Майже 70 відсотків важких металів на смітниках є рештки електроніки, у США.

Найбільший ріст кількості пристроїв електроніки є в країнах, що розвиваються в виготовленні електронних виробів, а це Індія, Китай, та інші. Такий хід викликає побоювання, якщо враховувати те, що в цих країнах майже не займаються утилізацією відходів електроніки. На теперішній час щорічно на звалища в Китаї потрапляє: 500 тисяч тон холодильників, 300 тисяч тон ноутбуків, 1.3 мільйонів тон телевізорів. А в Індії: 275 тисяч тон холодильників, стільки ж само телевізорів, та близько 55 тисяч тон ноутбуків.

За прогнозами експертів, у 2023 році відходи електроніки збільшаться на 200-400 відсотків в Китаї, в Індії на 500%.

Відпрацьовані електронні прилади можуть бути джерелом вторинних ресурсів, але за оцінками Агентства з охорони навколишнього середовища, У Сполученій Америці всього 15-20% таких приладів використовується повторно.

Нині на території України використовується 53,6 млн. пристроїв мобільного зв'язку, щорічно імпортується 300 тис. портативних комп'ютерів, 277 млн. акумуляторів. У перерахунку на вагу на рік це 4,5 тис. тон батарейок та акумуляторів, які після використання є потенційно небезпечними відходами або, за умов утилізації, є джерелом цінних ресурсів, кольорових металів та хімікатів.

Утилізація електроніки має відбуватися на спеціалізованих заводах з дотриманням усіх вимог технологічного процесу правил техніки безпеки. Будівництво та робота підприємств з утилізації електроніки коштують досить дорого. Тому деякі підприємці часто нехтують усіма необхідними міжнародними правилами, допускаючи суттєві порушення у процесі виділення шкідливих речовин із електронних відходів та подальшої їх утилізації.

У відходах електроніки є велика кількість токсинів, які при попаданні у внутрішні органи через шкіру або дихальні шляхи здатні викликати розвиток небезпечних хронічних захворювань. Також при неправильній утилізації електронної техніки вони можуть потрапляти в повітря, ґрунт або водоймища, отруюючи їх та проникаючи в рослини та живі організми. До подібних елементів належать важкі метали, такі як: ртуть, миш'як, свинець, кадмій та інші.

До речовин, що активно забруднюють природу, належать так звані стійкі органічні забруднювачі. Вони активно виділяються в процесі розбирання, утилізації та переплавлення деталей електронної техніки. До них відносяться бромовані або хлоровані феніли та ефіри.

Крім того, при порушенні технології утилізації, може не повністю прогоряти паливо, що використовується для переплавлення. У цьому випадку відбувається виділення в навколишню атмосферу ароматичних вуглеводнів, що становлять небезпеку для людини. Дані продукти згоряння викликають захворювання дихальних шляхів та серцево-судинної системи людини.

Технології переробки відходів електроніки діляться кілька категорій. Усі категорії відрізняються вмістом та вартістю елементів, одержуваних у результаті переробки відходів.

До першої категорії відносяться елементи з малим вмістом дорогоцінних металів. Це електричні плати телевізорів, блоків живлення, комп'ютерів, мікрохвильових печей та іншої побутової електронної техніки.

Друга категорія – радіоелементи із вищою кількістю цінних металів.

Найбільш цінна категорія містить елементи з високим вмістом золота, платини, паладію та інших рідкісноземельних металів: інтегральні схеми, оптоелектроніка.

Під впливом різних факторів на смітниках проходить процес руйнування ЕЕО, батарейок, ламп, які зберігають енергію, наслідком чого хімічні елементи, які входять у їх склад, випаровуються та вимиваються в довкілля. Всі ці хімічні речовини переносяться вітром, а потім випадають на землю, проникаючи глибоко у воду і ґрунт.

Ці хімічні речовини потрапляють до організму людини завдяки харчовому ланцюгу, через що у людини можуть виникати тяжкі хвороби, а також це може змінювати генетику людини. Тільки один грам ртуті, який потрапив до навколишнього середовища може засмітити більше 3.3 мільйонів квадратних метрів повітря, а звичайна пальчикова батарейка може засмітити приблизно 20 квадратних метрів ґрунту або близько 400 літрів води.

Великою проблемою накопичення електронного сміття в Україні полягає не тільки в збільшенні кількості електроніки, а й у тому, що відсутня система збору, сортування та переробки.

5.1. Заходи, які дозволять зменшити негативний вплив електронних відходів

У передових країнах світу, переробка електронних пристроїв починається з демонтажу виробу, тобто різні частини (метал, плата, блоки, пластмаса) йдуть на переробку окремо. Найбільшим заводом в Європі, який займається такою переробкою є NADIN у місті Нові-Іськир, Болгарія. Плюсами такого процесу є те, що людина має змогу без ускладнень визначити та зберегти частини, які є робочими, а підлягають ремонту. Мінусом такої праці є низька оплата за таку роботу.

Регулювання щодо поводження з різними видами електронних відходів відбувається за Законом України «Про відходи» 115. Відповідно до цього Закону напрямки політики щодо відходів, належить:

- своєчасне знешкодження та видалення сміття, із дотриманням правил безпеки екології;
- якомога більше наближувати до мінімальної позначки утворення сміття, а також зменшувати їх небезпечність;
- зробити максимально можливу переробку відходів, за допомогою повторного використання елементів придатних до цього;
- за допомогою розроблених новітніх технологій безпечної утилізації відходів забезпечити екологічно безпечне видалення відходів;
- організація контролю за місцями чи об'єктами розміщення відходів для запобігання шкідливому впливу їх на навколишнє природне середовище та здоров'я людини;
- для оцінки цінності відходів, задля ефективнішого використання, здійснювати науково-технічні дослідження;
- вести обов'язково облік відходів;
- для того, щоб зробити можливим сортування побутового сміття створити відповідні для цього умови;
- запровадити механізм соціально-економічний, який буде спрямований на заохочення сортування відходів електроніки.

Обов'язки суб'єктів господарської діяльності у сфері з поводження з відходами знаходяться у 17 статті Закону України «Про відходи», які стосуються:

- виявляти та вести облік типу та складу відходів, їх кількості, відходів, які утворилися, зібрані, перевезені, збережені, оброблені, утилізувалися, видалилися, та подавати звіти щодо всіх процесів утилізації відходів;
- відповідно до технології, яка існує в Україні та яка відповідає вимогам екологічної безпеки забезпечувати повне збирання, та належно зберігати відходи;

- здійснювати сортування відходів відповідно до їх стану, відходи, які підлягають повторному використанню або ремонту передавати споживачам, установам, підприємствам, як займаються збиранням таких відходів, відходити, які підлягають лише утилізації, віддавати відповідним установам, які можуть забезпечити екологічно безпечне видалення таких відходів, так щоб ці дії відповідали науково-технічній утилізації.

Найкращим способом утилізації є подрібнення, за допомогою простого механічного сепаратора, до можливостей якого входить екранування та гранулювання для того, щоб ділити металеві складові та пластикові, які потім відповідно надходять або на переплавлення, або на заводи перероблення пластмаси. Такі механізми є повністю закритими, до їх можливостей також входить збирання пилю. До складу таких систем входять шітки та захисні екрани, за допомогою яких ловляться деякі викиди. Для того щоб відокремити скло, пластмасу, метал кольоровий та чорний використовуються магнітні екрани, екрани струмів та барабанні екрани, які потім легко розділити між переробними заводами. Наприклад, свинцеве скло, яке входить до складу променевих трубок, потім можна використовувати для виготовлення автомобільних акумуляторів та боєприпасів. Такі метали, як мідь, золото, срібло, паладій, олово також підлягають для продажу на переробні заводи. Для зменшення екологічної загрози під час використання сепаратора газу захоплюються та нейтралізуються. Такі методи переробки відходів електроніки забезпечують безпечну утилізацію матеріалів електронних приладів.

До складу портативних, акустичних, стерео пристроїв входять елементи та речовини, які придатні для повторного використання.

Основною проблемою є переробка друкованих плат. Переробка друкованих плат відбувається за допомогою механічного подрібнення, але ефективність такого методу є дуже низькою. Дослідники працюють над альтернативним методом, таким як криогенне розкладання друкованих плат, але такий спосіб утилізації знаходиться на етапі наукового дослідження.

5.2. Висновок до п'ятого розділу

У розділі було розглянуто відходи до складу яких входять цінні та рідкісні складові. До складу складної електроніки може входити до 60 хімічних елементів. Майже 70 відсотків всіх металів на звалищах є відходи з електроніки, за оцінками науковців у США.

Повторне використання викинутих пристроїв є найкращим рішенням у сфері переробки відходів. Завдяки покупці б/у техніки утилізацію та переробку електроніки можна значно відтермінувати.

Всі цінні метали повторно використовуються для приладів в яких це дозволяється, а також продаються на заводи, які займаються переробкою відходів.

ВИСНОВКИ

Тільки один біполярний транзистор можливо було розташувати на одному кристалі кремнію 50 років тому. З допомогою такого пристрою вдалося замінити електронну лампу. На сьогоднішній день інженери, які працюють у сфері нанотехнологій, розробляють великі інтегральні схеми на мільярди одноелектронних транзисторів.

Новітні транзистори використовуються, як основа, в нанотехнологіях. ЦЕ можуть бути або одноелектронні транзистори, або транзистори, які будуються на квантових точках.

Також нанотехнології впливають на нові ідеї, які тісно пов'язані з хвильовими характеристиками електронів, та з новими матеріалами, які використовуються у будівництві одноелектроніки. Це допомагає у реалізації нових елементів та приладів наноелектроніки, які будуються за повністю новими правилами, або за старими, але набагато модернізованішими.

Новітньою нанотехнологією є проектування за допомогою коміркових автоматів. Квантові коміркові автомати використовують два бінарних значення або логічний нуль, або логічна одиниця. За допомогою технології коміркових автоматів можна визначити поляризацію електронів, а КМОН система допомагає визначити напругу на різних рівнях схеми. Технологія з використанням коміркових автоматів відрізняється від інших своїм енергоспоживанням, та звичайно своїми нанорозмірами. Одноелектроніка є основою гітероструктурної наноелектроніки, що допомагає ігнорувати прешкоди, які виникають від тунелювання носіїв заряду.

Новітні технології дозволяють проектувати одноелектронні прилади з найменшою кількістю наноскладових.

У кваліфікаційній роботі розглянуто види одноелектронних транзисторів, та будовання ондноелектронних транзисторів за допомогою технології коміркових автоматів з мажоритарною логікою. У роботі моделювання та дослідження схем зроблено за допомогою САПР QCA Designer. Всі результати, які отримано у вигляді часових діаграм, відповідають даним, які зазначені в таблицях істинності.

Під час роботи на аналізуванні надійності одноелектронної наносхеми було зроблено заміну кожного мультиплектора на мажоритарний елемент, а потім було збудовано схему, яка дозволяє розраховувати надійність. За проведеними розрахунками було визначено, що ймовірність такої схеми $P_M(t) = 0,98985515$. Для початку потрібно знати ЙБР, у цьому допомагає система, складається з N послідовно з'єднаних мажоритарних елементів. Дивлячись на графік, який побудовано з урахуванням кількості N елементів надійність такої системи знижується, а з ненадійних елементів неможливо побудувати надійну послідовну схему. Також було підраховано час, коли ЙБР системи знизиться: $P_{cm}(t) \leq 0,5: t \geq 7991 \text{ год} \approx 332 - 333 \text{ дня}$.

Термогенерація носіїв заряду при криогенних умовах (0...50К) суттєво обмежує надійність працездатності наносхем. Генеровані електрони викликають спотворенн імпульсних характеристик одноелектронних наносхем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мельник О.С. Моделювання програмованих одноелектронних наносхем/ О.С. Мельник, В.О. Козаревич// Вісник НТУ "ХПІ". Серія: "Математичне моделювання в техніці та технологіях " #3(1357), -2020, с.64-69.
2. Melnik O.S., Yurchuk I.I. Nanodevices with Programmable Logic. // Int. Science Journal "Electronic and Control Systems". 2019, v.4, N62, p.47-51. Режим доступу: <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ES4/article/download/14383/20519>
3. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Ямненко Ю.С. Схемотехніка, т.1,2,3. Підручники. К.: Вища школа. 2014-2018
4. Мельник О.С., Миколушко А.М. Репрограмовані мультиплексорні наносхеми. // Математичне моделювання в техніці та технологіях. N8(1333), 2019. с.224-231. Режим доступу: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/42076/1/vestnik_KhPI_2019_8_Melnyk_Reprohramovani.pdf
5. Мельник О.С. Програмовані мікро- та наносистеми. Підручник. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://kafelec.nau.edu.ua/Materialu/MELNIK_%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%96%20%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE-%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B8%20%D0%B2%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%86%D1%96.pdf

6. Тишкова І.О. Програмовані мультиплексорні наносхеми на базі мажоритарних елементів // Кваліфікаційна бакалаврська робота. – Національний авіаційний університет. Режим доступу: https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/52823/1/DIPLOMA_%d0%a2%d0%b8%d1%88%d0%ba%d0%be%d0%b2%d0%b0.pdf
7. Тишкова І.О. Температурні обмеження працездатності програмованих наносхем // Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених . – Національний авіаційний університет. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/50170/1/Tishkova.pdf>
8. Мельник О.С., Тишкова І.О. Конфігуровані великі інтегральні схеми/Всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми аеронавігації електроніки та телекомунікації» 26-27.11.2020р.НАУ, Київ. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/50170/1/Tishkova.pdf>