

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОГРАМУВАННЯ ТА МАТЕМАТИКИ

До захисту допускається
В.о. завідувач кафедри
_____ Лифар В.О.
« ____ » _____ 2018 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

_____ бакалавр _____

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

НА ТЕМУ:

Розроблення програмного забезпечення приладу

цифрового-аналогового перетворювання

Керівник роботи:

Лифар В.О.

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Студент

Чуніхін М.В.

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

:

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Група:

ІТ-641

Сєвєродонецьк 2018

ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ І ОЦІНЮВАННЯ
дипломної роботи студента гр. ІТ-641 Чуніхін М.В.

Науковий керівник

Доцент, к.т.н.

Лифар В.О.

Оцінка наукового керівника:

Рецензент

ПІБ, місто роботи, посада

Оцінка рецензента:

Кінцева оцінка за результатами захисту:

Голова ЕК

Лифар В.О.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Інформаційних технологій та електроніки
Кафедра програмування та математики
Освітньо-кваліфікаційний
рівень бакалавр
Напрямок підготовки 6.050103 «Програмна інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. завідувач кафедри _____
В.О. Лифар
« _____ » _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чуніхін Максим Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Розроблення програмного забезпечення приладу у цифрового-аналогового перетворювання**
керівник проекту (роботи) Лифар В.О. кандидат технічних наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від " " _____ 201 р. № _____
2. Строк подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи Мікроконтролер STM 32 Discovery. Система P-CAD 2006
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз літератури. Теоретико-методологічна основа. Аналіз прилада та підбір компонентів і схем. Розрахунок параметрів елементів обв'язки мікросхем. Висновки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Складання плану роботи		
2	Аналіз літератури		
3	Вивчення і підбирання матеріалу		
4	Написання розділів		
5	Оформлення пояснювальної записки		
6	Оформлення графічного матеріалу		
7	Підготовка доповіді і слайдів для презентації		

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка включає 80 сторінок, 33 рисунків, 10 таблиць, 22 джерел за переліком посилань, 2 додатка.

У даній роботі досліджено і розглянуто сучасні методи проектування і трасування печатних плат, розглянуті переваги вимірювальних приладів реалізованих на мікроконтролері, розглянуто систему P-CAD 2006, за допомогою якої відбувається повний цикл розробки приладу, наведені основні рекомендації щодо створення схеми і трасуванні друкованої плати, розглянуто сімейство мікроконтролерів STM32.

Ключові слова: ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ, STM32, P-CAD 2006, ДРУКОВАНА ПЛАТА, МІКРОКОНТРОЛЕР.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА	8
1.1 Огляд системи P-CAD 2006.....	8
1.2 Схемотехніка.....	14
1.2.1 Цифро-аналогові перетворювачі.....	14
1.2.1.1 Основні поняття і загальні способи реалізації.....	14
1.2.1.2 Основні параметри і похибки ЦАП.....	20
1.2.1.2.1 Основні параметри.....	20
1.2.1.2.2 Способи ідентифікації та корекції похибок ЦАП.....	21
1.2.1.3 Особливості застосування ВІС ЦАП.....	25
1.2.2 Семисегментний індикатор.....	26
1.3 Розведення друкованих плат.....	29
1.3.1 Загальні відомості.....	29
1.3.2 Категорії друкованих плат.....	30
1.3.3 Кількість шарів друкованої плати.....	33
1.3.4 Заземлення.....	35
1.3.5 Паразитні ефекти друкованої плати.....	40
1.3.6 Розв'язка вхідних і вихідних сигналів, живлення.....	43
1.3.6.1 Розв'язка сигналів.....	43
1.3.6.2 Розв'язка живлення ІС.....	46
1.3.6.3 Розв'язка вхідних і вихідних сигналів.....	47
1.3.7 Об'ємний і поверхневий монтаж.....	48
1.4 EEPROM.....	49
2 АНАЛІЗ ПРИЛАДУ І ПІДБИРАННЯ КОМПОНЕНТІВ ТА СХЕМ.....	56
2.1 Вимоги до приладу.....	56
2.2 Підбирання компонентів.....	59
2.2.1 Енергонезалежна пам'ять.....	60
2.2.2 Перетворювач джерела живлення.....	63
2.2.2.1 Перетворювач MC33063AD.....	64
2.2.2.2 Перетворювач MCP1700T.....	65
2.2.3 Налагоджувальна плата.....	67
2.2.3.1 Сімейство мікроконтролерів STM32.....	67
2.2.3.2 Налагоджувальна плата STM32VL Discovery.....	69
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ОБВ'ЯЗКИ МІКРОСХЕМ	71
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
ДОДАТОК А Схема електрична принципова.....	79

ВСТУП

Актуальність досліджень. В останні роки в розвитку людства відбувається бурхливий ріст інформаційних технологій - все більше і більше людей займаються не переробкою матеріальних предметів, а обробляють інформацію. Тільки наявність повної і правильної інформації дозволяє приймати правильні рішення і діяти найбільш ефективно - так було завжди, але зараз різноманітної інформації стає все більше і, отже, зростає важливість її попередньої обробки, як "вручну", так і за допомогою автоматизованих пристроїв та систем, тобто із застосуванням комп'ютерів.

Актуальність роботи полягає у зростаючій популярності і широкому використанні малогабаритних дешевих вимірювальних приладів з низьким енергоспоживанням на основі мікроконтролерів.

Об'єкт дослідження – методи функціонування цифроаналогових перетворювачей, методи розв'язки вхідних і вихідних сигналів, алгоритми реалізації мікроконтролерів систем на мікроконтролері.

Предмет дослідження – алгоритми цифрової обробки сигналів.

Мета - дослідження методів і алгоритмів реалізації вимірювальних приладів на основі мікроконтролерів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати:

1. Вивчити алгоритми реалізації вимірювальних приладів на основі мікроконтролерів.
2. Вивчити методи перетворення цифрової інформації в аналогову форму
3. Вивчити алгоритми трасування плат.
4. Вивчити можливості програмного забезпечення для створення схем і трасування плат.
5. Проаналізувати вимоги до приладу та підібрати необхідні компоненти.

Методи дослідження: мова програмування мікроконтролерів, теорія апаратної реалізації вимірювальних приладів, теорія проектування мікросхем.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА

1.1 Огляд системи P-CAD 2006

Система P-CAD 2006 являє собою останню версію популярного пакету для наскрізного проектування аналогових, цифро-аналогових та аналогово-цифрових пристроїв. Зокрема, вона дозволяє виконувати наступні операції:

- підбирати елементну базу у відповідності з технічним завданням;
- вести бібліотеки символів, топологічних посадочних місць і моделей компонентів;
- здійснювати графічне введення схеми та її пакування на друковану плату;
- виконувати трасування в ручному, інтерактивному та автоматичному режимах;
- проводити змішане аналого-цифрове моделювання на основі ядра SPICE3;
- виявляти помилки у схемі та друкованій платі, аж до аналізу цілісності сигналів і перехресних спотворень;
- видавати повний комплект конструкторсько-технологічної документації для передавання на підприємство - виробник друкованих плат.

До складу даного програмного комплексу входить декілька тісно інтегрованих між собою модулів (рис. 1.1.).

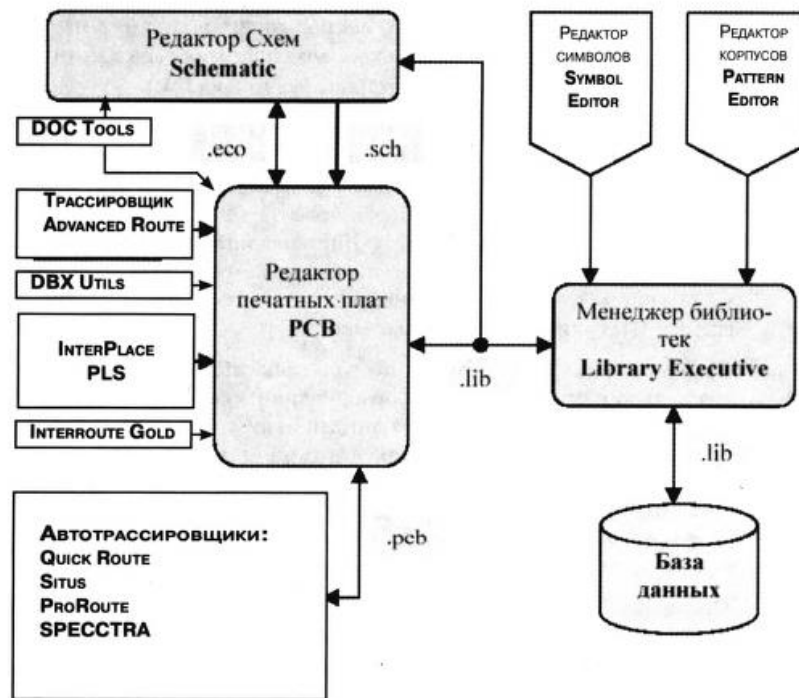


Рис. 1.1 - Структура пакета P-CAD 2006

• Library Executive — диспетчер бібліотек, що значно спрощує процес вибору елементної бази для конкретного проекту. Бібліотеки P-CAD відрізняються зручним інтерфейсом і дозволяють ефективно структурувати в табличній формі пакувальну інформацію про нумерацію та найменування висновків компонентів, логічної еквівалентності висновків та інших параметрах. Крім того, вони містять велику базу даних про продукцію провідних світових виробників мікроелектроніки (Motorola, Analog Devices, AMD, Texas Instr. і т. д.).

• Symbol Editor - графічний редактор для формування умовно - графічних позначень бібліотечних компонентів. Оснащений засобами для автоматизації розробки логічних компонентів і для перевірки правильності отриманих символів.

• Pattern Editor - графічний редактор для формування посадочних місць компонентів. До його складу входить програма-майстер Pattern Wizard,

полегшує процес створення корпусів для типових компонентів (наприклад, інтегральних мікросхем).

- Schematic - графічний редактор для введення принципів схем виробу. До його переваг варто віднести можливість отримання багатолістових схем (у тому числі з ієрархічною структурою), наявність засобів для перевірки проекту та редагування бібліотек символів компонентів. Застосування спеціально створених шрифтів, які задовольняють вимогам ГОСТів та вбудованих у систему проектування, дозволяє використовувати на схемі і ПП написи російською мовою.

- PCB - графічний редактор, що дозволяє користувачеві самостійно або з допомогою набору функцій Visual Placement Area (VPA) розмістити модулі на монтажно-комутаційному полі і провести трасування провідників в ручному, інтерактивному або автоматичному режимах. Здійснює контроль за дотриманням технологічних норм і правил та дає можливість створювати на платі особливі ділянки («кімнати»), в яких не діють призначені для всього проекту обмеження.

- Document Toolbox - включена до додатка PCB і Schematic утиліта, що значно полегшує підготовку конструкторської документації. Зокрема, вона призначена для нанесення на креслення допоміжної інформації: динамічно оновлюваних списків і звітів, діаграм і таблиць, технологічних та облікових відомостей, списків з'єднань, виводів підключення живлення т. д.

- Автотрасувальники - особливі модулі для автоматичної прокладки провідників на друкованій платі. Додаток Quick Route, що входить до складу базового пакету, дозволяє вести трасування на простих двосторонніх друкованих платах по фіксованих мережах. Для більш складних проектів, що передбачають використання компонентів з великим числом висновків і малою відстанню між ними, має сенс додатково придбати мережевий трасувальник Pro Route або безмережевий трасувальник Situs.

- **Interroute Gold** і **Advanced Route** - додаткові набори команд для PCB, що дозволяють в інтерактивному режимі прокладати провідники, автоматично розсовуючи перешкоди. Суттєво полегшують і прискорюють ручне та інтерактивне трасування.

- **DBX-utils** - великий набір утиліт, що використовують для роботи інтерфейс DBX (Data Base Exchange). Ці міні-програми отримують дані з відкритих проектів (схем або друкованих плат), обробляють їх, складають звіти або додають в проект атрибути або геометричні об'єкти.

- **InterPlace/PCS** - багатофункціональна DBX-утиліта, що полегшує розміщення компонентів. Інструмент PCS (Parametric Constraint Solver), що входить до її складу, дозволяє на початковій стадії реалізації проекту сформулювати набір правил проектування, якими згодом стануть керуватися інші модулі системи.

- **Protel Advanced Sim** - заснована на мові опису Spice 3f5 система цифрового, аналогового і цифро-аналогового моделювання. Забезпечує можливість виконувати аналіз за різними параметрами (постійному струмі, частоті, спектральним характеристикам, шуму, температурі, перехідним процесам), а також статистичний аналіз методом Монте-Карло, розрахунок передавальної функції, нулів і полюсів.

- **Signal Integrity** - інструмент для аналізу впливу конструкції друкованої плати на умови поширення сигналів (затримка, втрати, паразитні наведення, узгодження з джерелами і навантаженнями).

Система P-CAD 2006 виконує повний цикл проектування друкованих плат, а саме:

- графічне введення електричних схем;
- змішане аналого-цифрове моделювання на основі ядра SPICE3;
- пакування схеми на друковану плату;
- інтерактивне розміщення компонентів;
- інтерактивне та автоматичне трасування провідників;

- контроль помилок у схемі та друкованій платі;
- випуск документації;
- аналіз цілісності сигналів і перехресних викривлень;
- підготовку файлів Gerber і NC Drill для виробництва друкованих плат;
- підготовку бібліотек символів, топологічних посадкових місць і моделей компонентів.

Нижче наведені основні характеристики системи проектування P - CAD 2006.

Загальні характеристики:

- 32-розрядна база даних;
- роздільність — 0,001мм;
- кількість електричних ланцюгів у проекті — до 64 000;
- допускається включати в окрему бібліотеку до 20 000 компонентів і одночасно відкривати необмежену кількість бібліотек;
- кожен компонент може містити до 10 000 висновків і до 5000 секцій (вентилів);
- програма підтримує до 8 символів в імені файлу, до 16 символів в назві типу компонента, до 20 символів в імені виводу і ланцюга та в позиційному позначенні виводу і до 30 символів у позиційному позначенні компонента;
- передбачений багатокроковий «відкат» вперед і назад (по замовчуванню кількість кроків, що запам'ятовуються, дорівнює 10, але цю величину можна при необхідності змінити, редагуючи файл конфігурації *.ini).

Особливості графічного редактора принципів схем P-CAD Schematic:

- до 999 аркушів схем в одному проекті;
- максимальний розмір аркуша — 60x60 дюймів;
- підтримка стандартних форматів аркушів (A-E та ін.);
- дискретність кута повороту символу компоненту і тексту — 90°;

- наявність утиліти ERC, яка дозволяє в полуавтоматичному режимі працювати з виявленими помилками на принципових схемах: передивлятися, сортувати, швидко переходити до проблемної ділянки;

- передбачена можливість автоматичного формування списку з'єднань NetList;

- інтеграція з P-CAD PCB дозволяє відслідковувати відповідність ланцюгів на схемі провідникам на друкованій платі (і навпаки);

- передбачена можливість передачі даних в програму моделювання змішаних аналого-цифрових пристроїв Advanced Sim.

Особливості графічного редактора друкованих плат P-CAD PCB:

- гранична кількість шарів в друкованій платі — 999 (з них 11 визначені за замовчанням);

- максимальний розмір друкованої плати — 60x60 дюймів;

- передбачено автоматичне оновлення принципових схем в разі внесення змін в друковану плату (і навпаки);

- максимальна ширина провідника на ПП — 10 мм;

- до 64 000 стилів стеків контактних майданчиків у проекті;

- мінімальна дискретність кута поворота тексту і графічних об'єктів - 0,1;

- користувачеві надано право задіяти в проекті нестандартні елементи, такі як полігони з необмеженим числом вершин у полігоні, контактні майданчики різних форм (еліпс, овал, прямокутник, округлений прямокутник, а також безпосереднє з'єднання, тепловий бар'єр з перемичками);

- програма відстежує дотримання зазорів топологічного малюнка і повноту розведення ПП;

- додаток підтримує керуючі файли фотоплоттерів Gerber і свердлувальних верстатів з ЧПУ типу Excellon.

1.2 Схемотехніка

Схемотехніка – це науково-технічний напрям, що охоплює проблеми проектування та дослідження схем електронних пристроїв радіотехніки і зв'язку, обчислювальної техніки, автоматики.

1.2.1 Цифро-аналогові перетворювачі

1.2.1.1 Основні поняття і загальні способи реалізації

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) – це пристрій для перетворення цифрового коду в аналоговий сигнал за величиною, пропорційною значенню коду.

ЦАП застосовуються для зв'язку цифрових керуючих систем з пристроями, що управляються рівнем аналогового сигналу. Також, ЦАП є складовою частиною у багатьох структурах аналого-цифрових пристроїв та перетворювачів.

ЦАП характеризується функцією перетворення. Вона пов'язує змінення цифрового коду зі зміненням напруги або струму. Функція перетворення ЦАП виражається наступним чином (рис. 1.2):

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{MAX}}}{N_{\text{MAX}}} N_{\text{ВХ}}, \text{ де}$$

$U_{\text{вих}}$ - значення вихідної напруги, що відповідає цифровому коду $N_{\text{ВХ}}$, який подається на входи ЦАП.

U_{MAX} - максимальна вихідна напруга, що відповідає поданню на входи максимального коду N_{MAX}



Рис. 1.2 - Функція перетворення ЦАП

Величину $K_{\text{цап}}$, яка визначається співвідношенням $\frac{U_{\text{MAX}}}{N_{\text{MAX}}}$, називають коефіцієнтом цифроаналогового перетворення. Незважаючи на ступінчастий вигляд характеристики, зв'язаний з дискретною зміною вхідної величини (цифрового коду), вважається, що ЦАП є лінійними перетворювачами.

Якщо величину $N_{\text{вх}}$ представити через значення ваги його розрядів, функцію перетворення можна відобразити наступним чином:

$$U_{\text{вих}} = K_{\text{цап}} \sum_1^n A_i U_i, \text{ де}$$

I - номер розряду вхідного коду $N_{\text{вх}}$;

A_i – значення i -го розряду (ноль або одиниця); U_i – вага i -го розряду; n – кількість розрядів вхідного коду (число розрядів ЦАП).

Вага розряду визначається для конкретної розрядності та обчислюється за наступною формулою:

$$U_i = \frac{U_{\text{оп}}}{2^n}, \text{ де}$$

$U_{\text{оп}}$ - опорна напруга ЦАП

Принцип роботи більшості ЦАП – це підсумовування часток аналогових сигналів (ваги розряду), в залежності від вхідного коду.

ЦАП можна реалізувати з допомогою підсумовування струмів, підсумовування напруг і розподілу напруг. У першому і другому випадку у відповідності зі значеннями розрядів вхідного коду, підсумовуються сигнали генераторів струмів і джерел Е. Р. С. Останній спосіб представляє собою керований кодом діляк напруги. Два останніх способи не знайшли широкого розповсюдження в зв'язку з практичними труднощами їх реалізації.

Розглянемо побудову найпростішого ЦАП з виваженим підсумовуванням струмів (рис. 1.3).

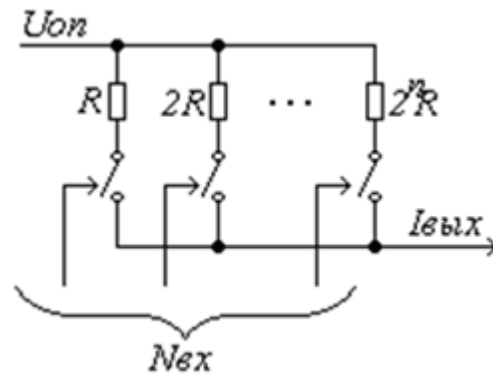


Рис. 1.3 - Схема ЦАП з виваженим підсумовуванням струмів

Цей ЦАП складається з набору резисторів і набору ключів. Число ключів і число резисторів дорівнює кількості розрядів n вхідного коду. Номінали резисторів обираються у відповідності з двійковим законом. Якщо $R=3$ Ом, то $2R=6$ Ом, $4R=12$ Ом, і так далі, тобто кожний наступний резистор більше попереднього в 2 рази. При приєднанні джерела напруги і замиканні ключів, через кожен резистор потече струм. Значення струмів по резисторах, завдяки відповідному вибору їх номіналів, теж будуть розподілені за двійковим законом. При поданні вхідного коду $N_{вх}$ включення ключів проводиться у відповідності зі значенням відповідних їм розрядів вхідного коду. Ключ замикається, якщо відповідний йому розряд дорівнює одиниці. При цьому у вузлі підсумовуються струми, пропорційні вазі цих розрядів, і величина струму, який надходить з вузла, в цілому буде пропорційна значенню вхідного коду $N_{вх}$.

Опір резисторів матриці обирають достатньо великий (десятки кОм). Тому для більшості практичних випадків для навантаження ЦАП відіграє роль джерело струму. Якщо на виході перетворювача необхідно отримати напругу, то на виході такого ЦАП встановлюється перетворювач "струм-напруга", наприклад, на операційному підсилювачі (рис. 1.4).

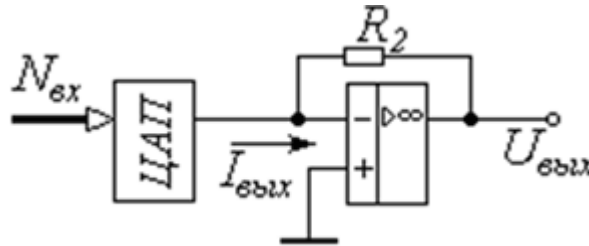


Рис. 1.4 - ЦАП з перетворювачем «струм-напруга»

$$U_{\text{вих}} = I_{\text{вих}} * R_2$$

Однак при зміні коду на входах ЦАП змінюється величина струму, який відбирається від джерела опорної напруги. Це є головним недоліком такого способу побудови ЦАП. Такий метод побудови можна використовувати тільки в тому випадку, якщо джерело опорної напруги буде з низьким внутрішнім опором. В іншому випадку в момент зміни вхідного коду змінюється струм, який відбирається у джерела, що приводить до зміни падіння напруги на його внутрішньому опорі i , в свою чергу, до додаткової безпосередньо не пов'язаної зі зміною коду зміни вихідного струму. Виключити цей недолік дозволяє структура ЦАП з ключами, що перемикаються (рис. 1.5).

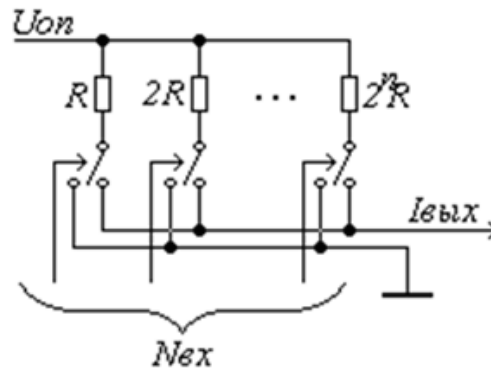


Рис.1.5 - ЦАП з ключами, що перемикаються

У такій структурі є два вихідних вузла. В залежності від значень розрядів вхідного коду відповідні їм ключі підключаються до вузла, пов'язаного з виходом пристрою, або до іншого вузла, який найчастіше заземлюється. При цьому через резистор матриці струм тече постійно, незалежно від положення ключа, а величина струму, що споживається від джерела опорної напруги, постійна.

Загальним недоліком обох розглянутих структур є велике співвідношення між найменшим і найбільшим номіналом резисторів матриці. Разом з тим, не дивлячись на велику різницю номіналів резисторів, необхідно забезпечувати однакову абсолютну точність підгонки як самого великого, так і найменшого за номіналом резистора. В інтегральному виконанні ЦАП при числі розрядів більше 10 це забезпечити досить важко.

Від усіх зазначених вище недоліків вільні структури на основі резистивних R-2R матриць (рис. 1.6).

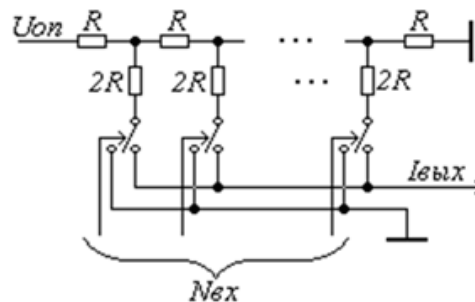


Рис.1.6 - Структури на основі резистивних R-2R матриць

За такої побудови резистивної матриці струм у кожній наступній паралельній гілці менше, ніж у попередній, в два рази. Наявність лише двох номіналів резисторів у матриці дозволяє досить просто здійснювати підгонку їх значень.

Вихідний струм для кожної з представлених структур пропорційний одночасно не тільки величині вхідного коду, але і величині опорної напруги. Часто кажуть, що він пропорційний добутку цих двох величин. Тому такі ЦАП називають помножуючими. Такими властивостями будуть володіти всі ЦАП, в яких формування зважених значень струмів, відповідних ваг розрядів, проводиться за допомогою резистивних матриць.

Інтегральні технології дозволяють досить просто формувати на кристалі резистори, наприклад, КМОН - технологія. Як і всі інші ІС, створені на її основі, такі ЦАП характеризуються низькою вартістю і низьким споживанням. Недоліки даної технології - це паразитні ємності та впливаюча з нього низька швидкодія. Більшої швидкодії допоможе досягти біполярна технологія. Але вона не розрахована для створення точних резисторів, тому при використанні таких технологій ЦАП робиться на основі транзисторних джерел струму. Залежність вихідного струму транзисторних джерел струму від величини живлячої напруги не лінійна, тому такі ЦАП не є помножуючими.

Окрім використання за прямим призначенням, помножуючі ЦАП використовуються як аналого-цифрові перемножувачі, як кодокерованих опорів і провідностей. Вони широко застосовуються як складові елементи при побудові кодокерованих (мультиплексори) підсилювачів, фільтрів, джерел опорних напруг, формувачів сигналів і т. д.

1.2.1.2 Основні параметри і похибки ЦАП

1.2.1.2.1 Основні параметри

Основні параметри:

1. Число розрядів – кількість розрядів вхідного коду.
2. Коефіцієнт перетворення – відношення приросту вихідного сигналу до збільшення вхідного сигналу для лінійної функції перетворення.
3. Час встановлення вихідної напруги або струму – інтервал часу від моменту зміни заданого коду на вході ЦАП до моменту, при якому вихідна напруга або струм остаточно увійдуть в зону шириною молодшого значущого розряду (МЗР).
4. Максимальна частота перетворення – найбільша частота зміни коду, при якій задані параметри відповідають встановленим нормам.

Існують й інші параметри, що характеризують виконання ЦАП та особливості його функціонування. У їх числі: вхідна напруга низького і високого рівня, струм споживання, діапазон вихідної напруги або струму.

Найважливішими параметрами для ЦАП є ті, які визначають його точнісні характеристики.

Точнісні характеристики кожного ЦАП, насамперед, визначаються нормованими за величиною похибками.

Похибки поділяються на динамічні та статичні. Статичними похибками називаються похибки, що залишаються після завершення всіх перехідних процесів, пов'язаних зі зміною вхідного коду. Динамічні похибки визначаються перехідними процесами на виході ЦАП, що виникли внаслідок зміни вхідного коду.

Основні типи статичних похибок ЦАП:

Абсолютна похибка перетворення в кінцевій точці шкали – відхилення значення вихідної напруги (струму) від номінального значення, що

відповідає кінцевій точці шкали функції перетворення. Вимірюється в одиницях молодшого розряду перетворення.

Напруга зміщення нуля на виході – напруга постійного струму на виході ЦАП при вхідному кодi, що відповідає нульовому значенню вихідної напруги. Вимірюється в одиницях молодшого розряду. Похибка коефіцієнта перетворення (масштабна) – пов'язана з відхиленням нахилу функції перетворення від необхідного.

Нелінійність ЦАП – відхилення дійсної функції перетворення від обумовленої прямою лінією. Є найгіршою похибкою, з якою важко боротися.

Похибки нелінійності в загальному випадку поділяють на два типи – інтегральні і диференційні.

Похибка інтегральної нелінійності – максимальне відхилення реальної характеристики від ідеальної. Фактично при цьому розглядається узагальнена функція перетворення. Визначають цю похибку у відсотках від кінцевого діапазону вихідної величини.

Диференційна нелінійність пов'язана з неточністю завдання ваг розрядів, тобто з похибками елементів дільника, розкиданням залишкових параметрів ключових елементів, генераторів струму і т. д.

1.2.1.2.2 Способи ідентифікації та корекції похибок ЦАП

Бажано, щоб корекція похибок проводилася при виготовленні перетворювачів (технологічна підгонка). Однак, часто вона бажана і при використанні конкретного зразка БІС в тому чи іншому пристрої. У цьому випадку корекція проводиться введенням в структуру пристрою крім БІС ЦАП додаткових елементів. Такі методи одержали назву структурних.

Найскладнішим процесом є забезпечення лінійності, так як вона визначається пов'язаними параметрами багатьох елементів і вузлів. Найчастіше здійснюють підгонку тільки зміщення нуля, коефіцієнта.

Точнісні параметри, що забезпечуються технологічними прийомами, погіршуються при впливі на перетворювач різних дестабілізуючих факторів, у першу чергу температури. Необхідно пам'ятати і про фактор старіння елементів.

Похибка зсуву нуля і масштабна похибка легко коригуються на виході ЦАП. Для цього у вихідний сигнал вводять постійне зміщення, що компенсує зміщення характеристики перетворювача. Необхідний масштаб перетворення встановлюють, або коригуючи коефіцієнт підсилення, що встановлюється на виході перетворювача підсилювача, або підлаштовуючи величину опорної напруги, якщо ЦАП є помножуючим.

Компенсаційні методи полягають у введенні в структуру перетворювача допоміжних резистивних матриць, керованих кодом, зворотним кодом, який подається на основну матрицю. Це дозволяє зменшити паразитний вплив кодозалежних струмів, що протікають по загальним шинам землі і живлення, стабілізує потужність, що розсіюється, і тепловий режим схеми.

Методи корекції з тестовим контролем полягають в ідентифікації похибок ЦАП на всій безлічі припустимих вхідних впливів і додаванням розрахованих на основі цього поправок до вхідної або вихідної величини для компенсації цих похибок.

При будь-якому методі корекції з контролем за тестовим сигналом передбачаються наступні дії:

1. Вимірювання характеристики ЦАП на достатній для ідентифікації похибок безлічі тестових впливів.
2. Ідентифікація похибок обчисленням їх відхилень за результатами вимірювань.
3. Обчислення коригувальних поправок перетворених величин або необхідних коригувальних впливів на кориговані блоки.
4. Проведення корекції.

Контроль може проводитись один раз перед встановленням перетворювача в пристрій за допомогою спеціального лабораторного вимірювального обладнання. Може проводитися і за допомогою спеціалізованого обладнання вбудованого в пристрій. При цьому контроль, як правило, проводиться періодично протягом того часу, доки перетворювач не бере участь безпосередньо в роботі пристрою. Така організація контролю і корекції перетворювачів може здійснюватися при його роботі в складі мікропроцесорної вимірювальної системи.

Основний недолік будь-якого методу наскрізного контролю – великий час контролю поряд з різномірністю і великим обсягом використовуваної апаратури.

Визначені тим чи іншим способом величини поправок зберігаються, як правило, в цифровій формі. Корекція ж похибок з урахуванням цих поправок може проводитися як в аналоговій, так і в цифровій формі.

При цифровій корекції поправки додаються з урахуванням їх знака до вхідного коду ЦАП (рис. 1.7). В результаті на вхід ЦАП надходить код, при якому на його виході формується необхідне значення напруги або струму. Найбільш проста реалізація такого способу корекції складається з коригованого ЦАП, на вході якого встановлено цифровий запам'ятовуючий пристрій (ЗП). Вхідний код відіграє роль адресного ВЗП, за відповідними адресами занесені заздалегідь розраховані з урахуванням поправок значення кодів, що подаються на коригований ЦАП.

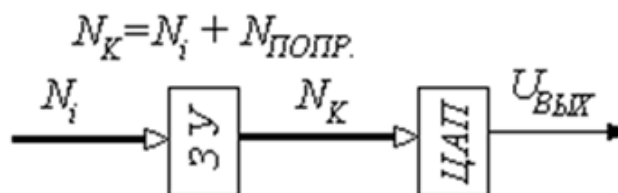


Рис.1.7 - Цифрова корекція поправки

При аналоговій корекції крім основного ЦАП використовується ще один додатковий ЦАП (рис. 1.8). Діапазон його вихідного сигналу відповідає максимальній величині похибки коригованого ЦАП. Вхідний код одночасно надходить на входи коригованого ЦАП і на адресні входи ЗП поправок. З ЗП поправок вибирається відповідна даному значенню вхідного коду поправка. Код поправки перетворюється в пропорційний йому сигнал, який підсумовується з вихідним сигналом коригованого ЦАП. Зважаючи на малу величину необхідного діапазону вихідного сигналу додаткового ЦАП порівняно з діапазоном вихідного сигналу коригованого ЦАП власними похибками першого нехтують.

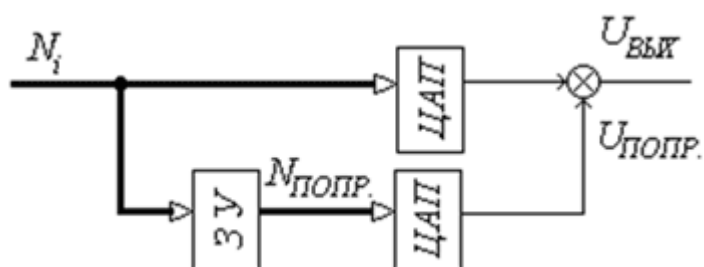


Рис.1.8 - Аналогова корекція поправки

У деяких випадках виникає необхідність проведення корекції динаміки роботи ЦАП.

Перехідна характеристика ЦАП при зміні різних кодових комбінацій буде різною, іншими словами – різними буде час встановлення вихідного сигналу. Тому при використанні ЦАП необхідно враховувати максимальний час встановлення. Однак у ряді випадків вдається коригувати поведінку передатної характеристики.

1.2.1.3 Особливості застосування ВІС ЦАП

Для успішного застосування сучасних ВІС ЦАП недостатньо знати перелік їх основних характеристик і основні схеми їх включення.

Істотний вплив на результати застосування ВІС ЦАП надає виконання експлуатаційних вимог, обумовлених особливостями конкретної мікросхеми. До таких вимог належать не тільки використання допустимих вхідних сигналів, напруги джерел живлення, ємності і опору навантаження, але і виконання черговості включення різних джерел живлення, поділ ланцюгів підключення різних джерел живлення й загальної шини, застосування фільтрів і т. д.

Для прецизійних ЦАП особливого значення набуває вихідна напруга шуму. Особливість проблеми шуму в ЦАП полягає в наявності на його виході сплесків напруги, викликаних перемиканням ключів всередині перетворювача. По амплітуді ці сплески можуть досягати декількох десятків значень ваг МЗР і створювати труднощі в роботі наступних за ЦАП пристроїв обробки аналогових сигналів. Рішенням проблеми притушення таких сплесків є використання на виході ЦАП пристроїв вибірки-зберігання (ПВЗ). ПВЗ керується від цифрової частини системи, формує нові кодові комбінації на вході ЦАП. Перед подачею нової кодової комбінації ПВЗ переводиться в режим зберігання, розмикаючи ланцюг передачі аналогового сигналу на вихід. Завдяки цьому сплеск вихідної напруги ЦАП не потрапляє на вивід ПВЗ, яка потім переводиться в режим спостереження, повторюючи вихідний сигнал ЦАП.

Спеціальну увагу при побудові ЦАП на базі ВІС необхідно приділяти вибору операційного підсилювача, що служить для перетворення вихідного струму ЦАП в напругу. При подачі вхідного коду ЦАП на виході ОП буде діяти помилка DU , обумовлена його напругою зсуву і дорівнює

$$\Delta U = U_{зм} \left(1 + \frac{R_{oc}}{R_{н}}\right), \text{ де}$$

$U_{зм}$ – напруга зміщення ОП;

R_{oc} – величина опору в ланцюзі зворотного зв'язку ОП;

R_m – опір резистивної матриці ЦАП (вихідний опір ЦАП), залежний від величини поданого на його вхід коду.

Оскільки співвідношення $\frac{R_{oc}}{R_m}$ змінюється від 1 до 0, похибка, обумовлена $U_{зм}$, змінюється в межах $(1...2)U_{зм}$. Впливом $U_{зм}$ нехтують при використанні ОП, у якого $U_{зм} \ll \frac{U_{оп}}{2^N}$.

Внаслідок великої площі транзисторних ключів у КМОН ВІС істотна вихідна ємність ВІС ЦАП (40...120 пФ залежно від величини вхідного коду). Ця ємність істотно впливає на час встановлення вихідної напруги ОП до необхідної точності. Для зменшення цього впливу $R_{зз}$ шунтують конденсатором $C_{зз}$.

У деяких випадках на виході ЦАП необхідно отримувати двополярну вихідну напругу. Цього можна досягти введенням на виході зміщення діапазону вихідної напруги, а для примножуючих ЦАП перемиканням полярності джерела опорної напруги.

Слід звернути увагу, що якщо ви використовуєте інтегральний ЦАП, наявне число розрядів більше ніж вам потрібно, то входи невикористаних розрядів підключають до земляної шини, однозначно визначаючи на них рівень логічного нуля. Причому для того, щоб працювати по можливості з великим діапазоном вихідного сигналу ВІС ЦАП за такі розряди приймають розряди, починаючи з самого молодшого.

1.2.2 Семисегментний індикатор

Для відображення цифрової інформації в системах на базі мікроконтролерів використовуються світлодіодні семисегментні індикатори. Вони прості в управлінні, мають високу яскравість, широкий діапазон

робочих температур і низьку вартість. До недоліків світлодіодних індикаторів відносяться високе енергоспоживання, відсутність керуючого контролера і незначні можливості по виведенню літерної інформації.

Світлодіодний семисегментний індикатор являє собою групу світлодіодів, розташованих у певному порядку та об'єднаних конструктивно. Запалюючи одночасно кілька світлодіодів, можна формувати на індикаторі символи цифр. Індикатори розрізняються за типом з'єднання світлодіодів – загальний анод, загальний катод, за кількістю відображуваних розрядів – однорозрядні, дворозрядні і т. д., та за кольором – червоні, зелені, жовті і т. д. Розглянемо розташування світлодіодів в семисегментному індикаторі на рис. 1.9:

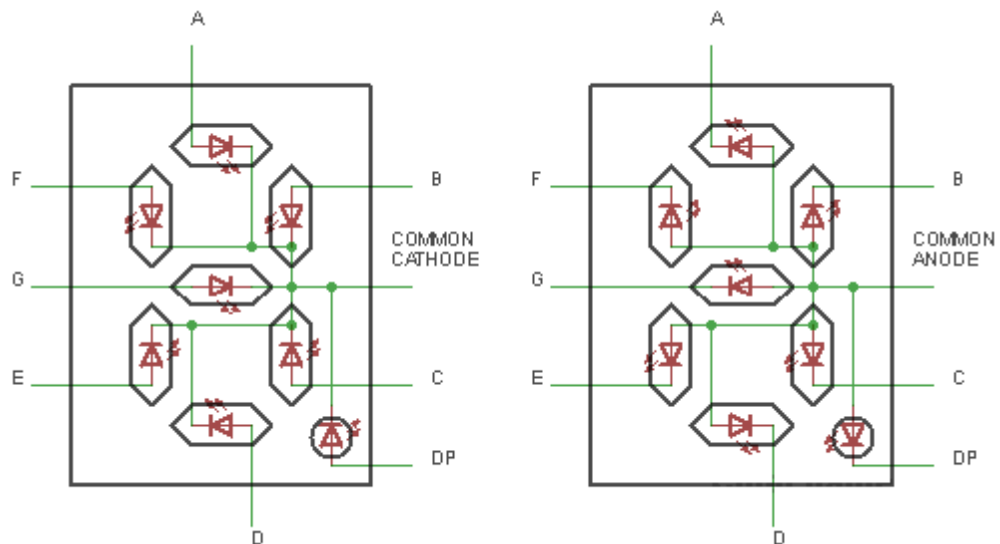


Рис.1.9 - Розташування світлодіодів в семисегментному індикаторі

Семисегментним індикатором можна керувати статично або динамічно. При статичному управлінні розряди індикатора підключені до мікроконтролера незалежно один від одного і інформація на них виводиться постійно. Цей спосіб управління простіше динамічного, але без використання додаткових елементів, як-то зсувні регістри, підключити багаторозрядний семисегментний індикатор до мікроконтролера буде проблемно - може не вистачити виводів. Статична індикація зображена на рис. 1.10.

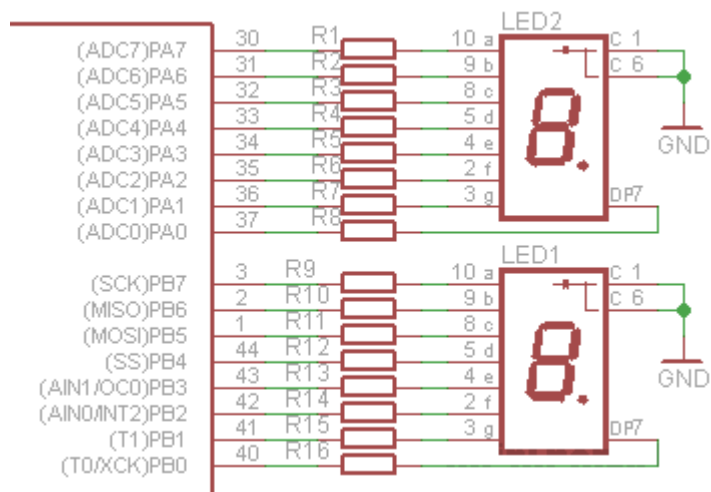


Рис.1.10 - Статична індикація

Динамічне управління (динамічна індикація) передбачає почергове запалювання розрядів індикатора з частотою, яка не сприймається людським оком. Схема підключення індикатора(рис. 1.11) в цьому випадку на порядок економічніше завдяки тому, що однакові сегменти розрядів індикатора об'єднані.

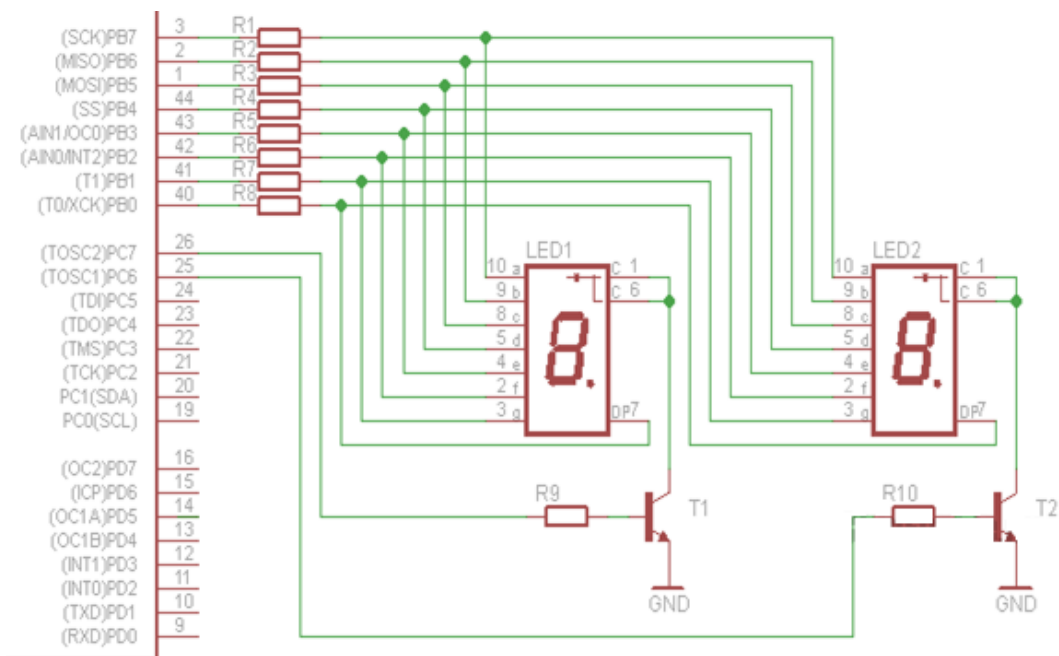


Рис.1.11 - Динамічна індикація

При подачі напруги на світлодіод він починає різко споживати струм при включенні. Тому у цей момент він може перегоріти. Щоб обмежити струм, послідовно зі світлодіодом включається в ланцюг резистор. Тому в схемах семисегментні індикатори застосовуються із резисторами на кожному виводі.

1.3 Розведення друкованих плат

1.3.1 Загальні відомості

Із-за істотних відмінностей аналогової схемотехніки від цифрової, аналогова частина схеми повинна бути відокремлена від іншої частини, а при її розведенні повинні дотримуватися особливі методи і правила. Ефекти, що виникають із-за неідеальності характеристик друкованих плат, стають особливо помітними в високочастотних аналогових схемах, але похибки загального виду, описані далі, можуть впливати на якісні характеристики пристроїв, що працюють навіть у звуковому діапазоні частот.

Лише в рідкісних випадках друкована плата аналогової схеми може бути розведена так, щоб внесений нею вплив ніяким чином не відбивався на роботі схеми. В той же час, будь-який такий вплив може бути мінімізовано так, щоб характеристики аналогової схеми пристрою були такими ж, як і характеристики моделі і прототипу.

Розробники цифрових схем можуть скоригувати невеликі помилки на виготовленій платі, доповнюючи її перемичками або, навпаки, видаляючи зайві провідники, вносячи зміни в роботу програмованих мікросхем і т. п., переходячи дуже скоро до наступної розробки. Для аналогової схеми справа йде не так. Деякі з поширених помилок не можуть бути виправлені доповненням перемичок або видаленням зайвих провідників. Вони можуть і будуть приводити в неробочий стан друковану плату цілком.

Шум і перешкоди є основними елементами, що обмежують якісні характеристики схем. Перешкоди можуть як випромінюватися джерелами, так і наводитися на елементи схеми. Аналогова схема часто розташовується на друкованій платі разом з цифровими швидкодіючими компонентами, включаючи цифрові сигнальні процесори (DSP).

Високочастотні логічні сигнали створюють значні радіочастотні перешкоди (RFI). Кількість джерел випромінювання шуму величезна: ключові джерела живлення цифрових систем, мобільні телефони, радіо і телебачення, джерела живлення ламп денного світла, персональні комп'ютери, грозові розряди і т. д. Навіть якщо аналогова схема працює в звуковому частотному діапазоні, радіочастотні перешкоди можуть створювати помітний шум у вихідному сигналі.

1.3.2 Категорії друкованих плат

Вибір конструкції друкованої плати є важливим чинником, що визначає механічні характеристики при використанні пристрою в цілому. Для виготовлення друкованих плат використовуються матеріали різного рівня якості. Найбільш прийнятним і зручним для розробника буде, якщо виробник друкованих плат знаходиться неподалік. У цьому випадку легко здійснити контроль питомого опору та діелектричної постійної - основних параметрів матеріалу друкованої плати. Нажаль, цього буває недостатньо і часто необхідне знання інших параметрів, таких як займистість, високотемпературна стабільність і коефіцієнт гігроскопічності. Ці параметри може знати тільки виробник матеріалів, використовуваних при виробництві друкованих плат.

Шаруваті матеріали позначаються індексами FR (flame resistant, опірність до займання) і G. Матеріал з індексом FR-1 володіє найбільшою горючістю, а FR-5 - найменшою. Матеріали з індексами G10 і G11 володіють

особливими характеристиками. Матеріали друкованих плат наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Матеріали друкованих плат.

Категорія	Компоненти, коментарі
FR-1	папір, фенольна композиція: пресування і штампування при кімнатній температурі, високий коефіцієнт гігроскопічності
FR-2	папір, фенольна композиція: може бути застосований для односторонніх друкованих плат побутової техніки, невисокий коефіцієнт гігроскопічності
FR-3	папір, епоксидна композиція: розробки з хорошими механічними та електричними характеристиками
FR-4	склотканина, епоксидна композиція: прекрасні механічні та електричні властивості
FR-5	склотканина, епоксидна композиція: висока міцність при підвищених температурах, відсутність запалення
G10	склотканина, епоксидна композиція: високі ізоляційні властивості, найбільш висока міцність склотканини, низький коефіцієнт гігроскопічності
G11	склотканина, епоксидна композиція: висока міцність на вигин при підвищених температурах, висока опірність розчинників

Використання друкованих плат категорії FR-1 не рекомендується. Є багато прикладів використання друкованих плат FR-1, на яких є ушкодження від теплового впливу потужних компонентів. Друковані плати цієї категорії більше схожі на картон.

FR-4 часто використовується при виготовленні промислового обладнання, в той час як FR-2 використовується у виробництві побутової техніки. Ці дві категорії стандартизовані в промисловості, а друковані плати FR-2 і FR-4 підходять для більшості додатків. Але іноді неідеальність характеристик цих категорій змушує використовувати інші матеріали. Наприклад, для дуже високочастотних додатків в якості матеріалу друкованих плат використовуються фторопласт і навіть кераміка. Однак, чим екзотичніше матеріал друкованої плати, тим вище може бути ціна.

При виборі матеріалу друкованої плати необхідно звертати особливу увагу на його гігроскопічність, оскільки цей параметр може надати сильний негативний ефект на бажані характеристики плати - поверхневий опір, витоки, високовольтні ізоляційні властивості (пробої та іскріння) і механічну міцність. Також необхідно звертати увагу на робочу температуру. Ділянки з високою температурою можуть зустрічатися в несподіваних місцях, наприклад, поряд з великими цифровими інтегральними схемами, перемикачів яких відбуваються на високій частоті. Якщо такі ділянки розташовані безпосередньо під аналоговими компонентами, підвищення температури може позначитися на зміні характеристик аналогової схеми.

Гігроскопічність - властивість матеріалу поглинати (сорбувати) вологу з повітря. Гігроскопічність мають: змочувані водою (гідрофільні) матеріали капілярно-пористої структури, в тонких капілярах яких відбувається конденсація вологи. Кількість поглиненої пористим матеріалом вологи (гігроскопічна вологість, $W_{\text{гг.}}$) зростає із збільшенням вологовмісту повітря, досягаючи максимуму при відносній вологості повітря 100%.

Після того, як матеріал друкованої плати обраний, необхідно визначити товщину фольги друкованої плати. Цей параметр, в першу чергу, обирається виходячи з максимальної величини протікаючого струму. По можливості, рекомендується уникати застосування дуже тонкої фольги.

1.3.3 Кількість шарів друкованої плати

В залежності від загальної складності схеми і якісних вимог розробник повинен визначити кількість шарів друкованої плати.

Одношарові друковані плати - дуже прості електронні схеми виконуються на односторонніх платах з використанням дешевих фольгованих матеріалів (FR-1 або FR-2) і часто мають багато перемичок, нагадуючи двосторонні плати. Такий спосіб створення друкованих плат рекомендується тільки для низькочастотних схем. З причин, які будуть описані нижче, односторонні друковані плати у великій мірі сприйнятливі до наведень. Гарну односторонню друковану плату досить складно розробити по багатьох причинах. Тим не менш гарні плати такого типу зустрічаються, але при їх розробці потрібно дуже багато обмірковувати заздалегідь.

На наступному рівні стоять двосторонні друковані плати, які у більшості випадків використовують в якості матеріалу підкладки FR-4, хоча іноді зустрічається і FR-2. Застосування FR-4 переважніше, оскільки в друкованих платах з цього матеріалу отвори виходять кращої якості. Схеми на двосторонніх друкованих платах розводяться набагато легше, тому що в двох шарах простіше здійснити розведення пересічних трас. Однак для аналогових схем перетинання трас виконувати не рекомендується. Де можливо, нижній шар (bottom) необхідно відводити під полігон землі, а інші сигнали розводити у верхньому шарі (top). Використання полігону в якості земляної шини дає декілька переваг:

- загальний дріт є таким, що найчастіше підключається в схемі, тому резонно мати багато загального дроту для спрощення розведення;
- збільшується механічна міцність плати;
- зменшується опір всіх підключень до загального дроту, що, в свою чергу, зменшує шум і наведення;

- зростає розподілена ємність для кожного ланцюга схеми, допомагаючи притушувати шум, що випромінюється;
- полігон, який є екраном, пригнічує наведення, що випромінюються джерелами, розміщеними з боку полігону.

Двосторонні друковані плати, незважаючи на всі свої переваги, не є кращими, особливо для малосигнальних або високошвидкісних схем. У загальному випадку товщина друкованої плати, тобто відстань між шарами металізації, дорівнює 1,5 мм, що занадто багато для повної реалізації деяких переваг двошарової друкованої плати, наведених вище. Розподілена ємність, наприклад, дуже мала.

Для відповідальних схемотехнічних розробок потрібні багатошарові друковані плати (БДП). Деякі причини їх застосування очевидні:

- така ж зручна, як і для шин загального дроту, розводка шин живлення; якщо в якості шин живлення використовуються полігони на окремому шарі, то досить просто за допомогою перехідних отворів здійснити підведення живлення до кожного елемента схеми;
- сигнальні шари звільняються від шин живлення, що полегшує розведення сигнальних провідників;
- між полігонами землі і живлення з'являється розподілена ємність, яка зменшує високочастотний шум.

Крім цих причин застосування багатошарових друкованих плат існують інші, менш очевидні:

- краще притушення електромагнітних (EMI) і радіочастотних (RFI) перешкод завдяки ефекту відбиття (image plane effect), відомому ще у часи Марконі. Коли провідник розміщується близько до плоскої провідної поверхні, більша частина зворотних високочастотних струмів буде протікати по площині безпосередньо під провідником. Напрямок цих струмів буде протилежний напрямку струму в провіднику. Таким чином, відображення провідника в площині створює лінію передачі сигналу. Оскільки струми в

провіднику і в площині рівні за величиною і протилежні за напрямком, створюється деяке зменшення випромінюваних перешкод. Ефект відбиття ефективно працює тільки при нерозривних суцільних полігонах (ними можуть бути як полігони землі, так і полігони живлення). Будь-яке порушення цілісності буде призводити до зменшення притушення перешкод;

- зниження загальної вартості при дрібносерійному виробництві.

Незважаючи на те, що виготовлення багатошарових друкованих плат обходиться дорожче, їх можливе випромінювання менше, ніж у одно - та двошарових плат. Отже, в деяких випадках застосування лише багатошарових плат дозволить виконати вимоги по випромінюванню, поставлені при розробці, і не проводити додаткових випробувань та тестувань. Застосування БДП може знизити рівень випромінюваних перешкод на 20 дБ у порівнянні з двошаровими платами.

1.3.4 Заземлення

Гарне заземлення - загальна вимога насиченої, багаторівневої системи. І воно повинно плануватися з першого кроку дизайнерської розробки.

Розподіл землі на аналогову і цифрову частини - один з найпростіших і найбільш ефективних методів притушення шуму. Один або більше шарів багатошарової друкованої плати зазвичай відводиться під шар земляних полігонів. Якщо розробник не дуже досвідчений або неуважний, то земля аналогової частини буде безпосередньо з'єднана з цими полігонами, тобто аналоговий зворотний струм буде використовувати такий ж ланцюг, що і цифровий зворотний струм. Авторозвідники працюють приблизно також і об'єднують всі землі разом.

Якщо переробці підлягає раніше розроблена друкована плата з єдиним земляним полігоном, об'єднуючим аналогову і цифрову землі, то необхідно спочатку фізично розділити землі на платі (після цієї операції робота плати

стає практично неможливою). Після цього виробляються всі підключення до аналогового земляного полігону компонентів аналогової схеми (формується аналогова земля) і до цифрового земляного полігону компонентів цифрової схеми (формується цифрова земля). І лише після цього в джерелі проводиться об'єднання цифрової і аналогової землі.

Інші правила формування землі:

- Шини живлення і землі повинні знаходитися під одним потенціалом по змінному струму, що передбачає використання конденсаторів розв'язки і розподіленої ємності.

- Не рекомендується допускати перекриття аналогових і цифрових полігонів (рис. 1.12). Потрібно розташовувати шини та полігони аналогового живлення над полігоном аналогової землі (аналогічно для шин цифрового живлення). Якщо в якому-небудь місці існує перекриття аналогового і цифрового полігону, розподілена ємність між ділянками, що перекриваються, буде створювати зв'язок за змінним струмом, і наведення від роботи цифрових компонентів потраплять в аналогову схему. Такі перекриття анулюють ізоляцію полігонів.



Рис.1.12 - Розіщення полігонів аналогових і цифрових сигналів

- Розподіл не означає електричної ізоляції аналогової землі від цифрової (рис. 1.13). Вони повинні з'єднуватися разом в якомусь, бажано одному, низькоімпедансному вузлі. Правильна, з точки зору землі, система має тільки

одну землю, яка є виведенням заземлення для систем з живленням від мережевої змінної напруги або загальним виведенням для систем з живленням від постійної напруги (наприклад, акумулятора). Всі сигнальні струми і струм живлення в цій схемі повинні повертатися до цієї землі в одну точку, яка буде служити системної землею. Такою точкою може бути виведення корпусу пристрою. Важливо розуміти, що при приєднанні загального виведення схеми по декількох точках корпусу можуть утворюватися земляні контури. Створення єдиної спільної точки об'єднання земель є одним з найбільш складних аспектів системного дизайну.

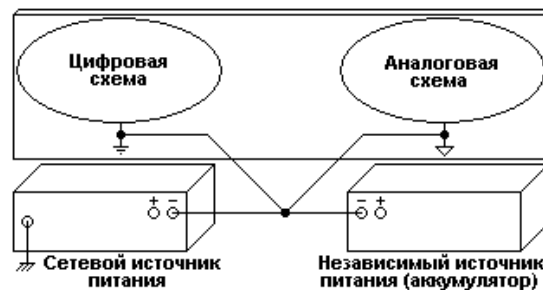


Рис.1.13 - Розділення аналогової та цифрової землі

- По можливості рекомендується розділяти виведення роз'ємів, призначені для передачі зворотних струмів - зворотні струми повинні об'єднуватися тільки в точці системної землі. Старіння контактів роз'ємів, а також часте розстикування їх відповідних частин, призводить до збільшення опору контактів, отже, для більш надійної роботи необхідно використання роз'ємів з декількома додатковими виведеннями. Складні цифрові друковані плати мають багато шарів і містять сотні або тисячі провідників. Додавання ще одного провідника рідко створює проблему, на відміну від створення додаткових виводів роз'ємів. Якщо це не вдається зробити, то необхідно створювати два провідника зворотного струму для кожного силового ланцюга на платі, дотримуючись особливих заходів безпеки.

• Важливо відокремлювати шини цифрових сигналів від місць на друкованій платі, де розташовані аналогові компоненти схеми. Це передбачає ізоляцію (екранування) полігонами, створення коротких трас аналогових сигналів та уважне розміщення пасивних компонентів при наявності розташованих поруч шин високошвидкісних цифрових і відповідальних аналогових сигналів. Шини цифрових сигналів повинні розводитися навколо ділянок з аналоговими компонентами і не перекриватися з шинами і полігонами аналогової землі і аналогового живлення. Якщо цього не робити, то розробка буде містити новий непередбачуваний елемент - антену, випромінювання якої буде впливати на високоімпедансні аналогові компоненти і провідники (рис. 1.14).



Рис.1.14 - Випромінювання провідниками друкованої плати.

Майже всі сигнали тактових частот є досить високочастотними сигналами, тому навіть невеликі ємності між трасами і полігонами можуть створювати значні зв'язки. Необхідно пам'ятати, що може викликати проблему не тільки основна тактова частота, але й її вищі гармоніки.

• Гарною концепцією є розміщення аналогової частини схеми близько до вхідних/вихідних з'єднань плати. Розробники цифрових друкарських плат, що використовують потужні інтегральні схеми, часто схильні розводити шини шириною 1 мм і довжиною декілька сантиметрів для з'єднання

аналогових компонентів, вважаючи, що малий опір траси допоможе позбутися від наведень. Те, що при цьому виходить, являє собою протяжний плівковий конденсатор, на який будуть наводитися паразитні сигнали від цифрових компонентів, цифрової землі і цифрового живлення, посилюючи проблему.

На рисунку 1.15 показано можливий варіант розміщення усіх компонентів на платі, включаючи джерело живлення. Тут використовуються три відокремлених один від одного та ізольованих полігона землі/живлення: один для джерела, один для цифрової схеми і один для аналогової. Ланцюги землі і живлення аналогової і цифрової частин об'єднуються тільки в джерелі живлення. Високочастотний шум фільтрується в ланцюгах живлення дроселями. У цьому прикладі високочастотні сигнали аналогової і цифрової частин стоять далеко один від одного. Такий дизайн має дуже високу ймовірність на сприятливий результат, оскільки забезпечено гарне розміщення компонентів і дотримання правил поділу ланцюгів.

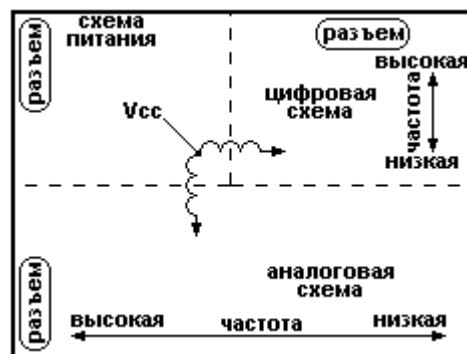


Рис.1.15 - Приклад гарного розміщення компонентів на платі

Є лише один випадок, коли необхідно об'єднання аналогових і цифрових сигналів над областю полігону аналогової землі. Аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі розміщуються в корпусах з виведеннями аналогової і цифрової землі. Беручи до уваги попередні міркування, можна припустити, що виведення цифрової землі і виведення аналогової землі повинні бути

підключені до шин цифрової і аналогової землі відповідно. Проте в даному випадку це не вірно.

Назви висновків (аналоговий або цифровий) відносяться лише до внутрішньої структури перетворювача, до його внутрішніх з'єднань. У схемі ці висновки повинні бути підключені до шини аналогової землі. З'єднання може бути виконане і всередині інтегральної схеми, однак отримати низький опір такого з'єднання досить складно через топологічні обмеження. Тому при використанні перетворювачів передбачається зовнішнє з'єднання виведень аналогової і цифрової землі. Якщо цього не зробити, то параметри мікросхеми будуть значно гіршими, ніж наведені у специфікації.

Необхідно враховувати те, що цифрові елементи перетворювача можуть погіршувати якісні характеристики схеми, привносячи цифрові перешкоди в ланцюзі аналогової землі і аналогового живлення. При розробці перетворювачів враховується цей негативний вплив так, щоб цифрова частина споживала якомога менше потужності. При цьому перешкоди від перемикачів логічних елементів зменшуються. Якщо цифрові виведення перетворювача не сильно навантажені, то внутрішні перемикачів зазвичай не викликають особливих проблем. При розробці друкованої плати, що містить АЦП або ЦАП, необхідно належним чином поставитися до розв'язки цифрового живлення перетворювача на аналогову землю.

1.3.5 Паразитні ефекти друкованої плати

Між провідниками друкованої плати, що перебувають на різних шарах, виникає ємнісний зв'язок, коли вони перетинаються. Іноді це може створити проблему. Провідники, що знаходяться один над одним на суміжних шарах, створюють довгий плівковий конденсатор. Ємність такого конденсатора розраховується за формулою, наведеною на малюнку 1.16.

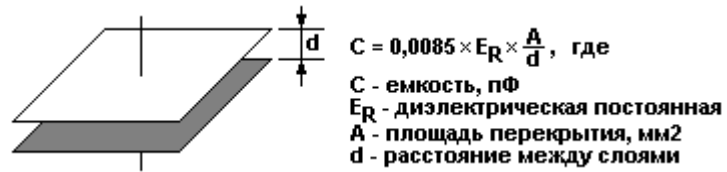


Рис. 1.16 - Розрахунок міжшарової ємності

Цей ефект породжує численні проблеми, для вирішення яких, тим не менш, існує багато способів. Найочевидніший з них - зменшення довжини провідників. Інший спосіб - зменшення їх ширини. Ще один спосіб вирішення проблеми - видалення частини полігону під входом, що інвертується, та під відповідним йому провідником.

Ширину провідників друкованої плати неможливо нескінченно зменшити. Гранична ширина визначається як технологічним процесом, так і товщиною фольги. Якщо два провідники проходять близько один до одного, то між ними утворюється ємнісний та індуктивний зв'язок (рис. 1.17).

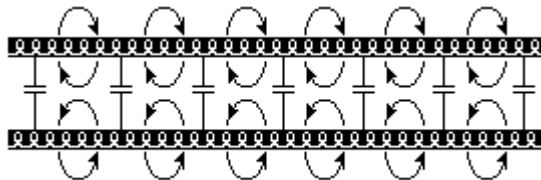


Рис. 1.17 – Взаємний зв'язок між паралельними сигнальними провідниками

Всякий раз, коли при розведенні друкованої плати з'являється необхідність у створенні перехідного отвору, тобто міжшарового з'єднання (рис. 1.18), необхідно пам'ятати, що при цьому також виникає паразитна індуктивність. При діаметрі отвору після металізації d і довжині каналу h індуктивність можна обчислити за такою наближеною формулою:

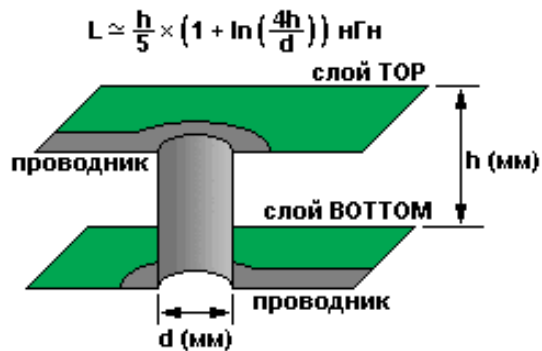


Рис. 1.18 - Індуктивність перехідного отвору

Наприклад, при $d=0,4$ мм і $h=1,5$ мм (достатньо розповсюджені величини) індуктивність отвору дорівнює 1,1 нГн.

Індуктивність отвору разом з такою ж паразитною ємністю формують резонансний контур, що може позначитися при роботі на високих частотах. Власна індуктивність отвору досить мала, і резонансна частота знаходиться десь в гігагерцовому діапазоні, але якщо сигнал протягом свого шляху змушений проходити через кілька перехідних отворів, то їх індуктивності складаються (послідовне з'єднання), а резонансна частота знижується. Висновок: потрібно намагатися уникати великого числа перехідних отворів при розведенні відповідальних високочастотних провідників аналогових схем. Інше негативне явище: при великій кількості перехідних отворів в полігоні землі можуть створюватися петльові ділянки. Найкраща аналогова розводка - всі сигнальні провідники розміщуються на одному шарі друкованої плати.

Крім розглянутих вище паразитних ефектів існують ще такі, які пов'язані з недостатньо чистою поверхнею плати.

Якщо в схемі присутні великі опори, то особливу увагу слід приділити очищенню плати. На заключних операціях виготовлення друкованої плати повинні виводитися залишки флюсу і забруднень. Останнім часом при монтажі друкованих плат досить часто застосовуються водорозчинні флюси. Будучи менш шкідливими, вони легко видаляються водою. Але при цьому

відмивання плати недостатньо чистою водою може призвести до додаткових забруднень, які погіршують діелектричні характеристики. Отже, дуже важливо здійснювати відмивання друкованої плати з високоімпедансною схемою свіжою дистильованою водою.

1.3.6 Розв'язка вхідних і вихідних сигналів, живлення

1.3.6.1 Розв'язка сигналів

Перешкоди можуть проникати в аналогову частину схеми через ланцюги живлення. Для зменшення таких перешкод застосовуються розв'язуючі (блокувальні) конденсатори, зменшують локальний імпеданс шин живлення.

Якщо необхідно розвести друковану плату, на якій є і аналогова, і цифрова частини, то необхідно мати хоч би невелике уявлення про електричні характеристики логічних елементів.

Типовий вихідний каскад логічного елемента містить два транзистора, послідовно з'єднані і розташовані між ланцюгами живлення і землі (рис. 1.19).

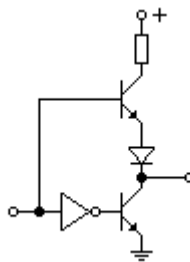


Рис. 1.19 - Структура вихідного каскаду логічного елемента

Ці транзистори в ідеальному випадку працюють суворо в протифазі, тобто коли один з них відкритий, то в цей же момент другий закритий, формуючи на виході або сигнал логічної одиниці, або логічного нуля. У сталому логічному стані споживана потужність логічного елемента невелика.

Ситуація кардинально змінюється, коли вихідний каскад перемикається з одного логічного стану в інший. У цьому випадку протягом короткого проміжку часу обидва транзистора можуть бути відкриті одночасно, а струм живлення вихідного каскаду сильно збільшується, оскільки зменшується опір ділянки шляху струму від шини живлення до шини землі через два послідовно з'єднаних транзистора. Споживана потужність стрибкоподібно зростає, а потім швидко зменшується, що призводить до локальної зміни напруги живлення і виникнення різкої, короткочасної зміни струму. Такі зміни струму приводять до випромінювання радіочастотної енергії. Навіть на порівняно простій друкованій платі можуть бути десятки або сотні розглянутих вихідних каскадів логічних елементів, тому сумарний ефект від їх одночасної роботи може бути дуже великим.

Неможливо точно передбачити діапазон частот, в якому будуть знаходитися ці викиди струму, оскільки частота їх виникнення залежить від багатьох причин, в тому числі і від затримки поширення перемикачів транзисторів логічного елемента. Затримка, в свою чергу, також залежить від безлічі випадкових причин, що виникають у процесі виробництва. Шум від перемикачів має широкосмуговий розподіл гармонійних складових у всьому діапазоні. Для притушення цифрового шуму існує кілька способів, застосування яких залежить від спектрального розподілу шуму.

В таблиці 1.2 наведені максимальні робочі частоти для розповсюджених типів конденсаторів.

Таблиця 1.2 - Максимальні робочі частоти для розповсюджених типів конденсаторів.

Тип	Максимальна частота
алюмінієвий електролітичний	100 кГц
танталовий електролітичний	1 МГц
слюдяний	500 МГц

З таблиці очевидно, що танталові електролітичні конденсатори застосовуються для частот нижче 1 МГц, на більш високих частотах повинні застосовуватися керамічні конденсатори. Необхідно пам'ятати, що конденсатори мають власний резонанс, і їх неправильний вибір може не тільки не допомогти, але й посилити проблему. На рисунку 1.20 показано типові власні резонанси двох конденсаторів загального застосування – 10 мкФ танталового електролітичного і 0,01 мкФ керамічного.

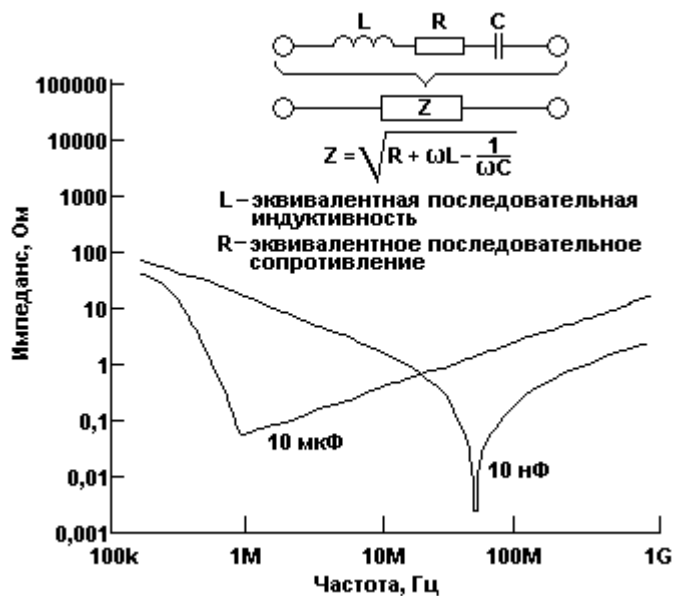


Рис. 1.20 - Власний резонанс конденсатора

Реальні характеристики можуть відрізнятися у різних виробників і навіть від партії до партії в одного виробника. Важливо розуміти, що для ефективної роботи конденсатора притушувані їм частоти повинні знаходитися в більш низькому діапазоні, ніж частота власного резонансу. В іншому випадку характер реактивного опору буде індуктивним, а конденсатор перестане ефективно працювати.

Не варто помилятися щодо того, що один 0,1 мкФ конденсатор буде притушувати всі частоти. Невеликі конденсатори (10 нФ і менше) можуть працювати ефективніше на більш високих частотах.

1.3.6.2 Розв'язка живлення ІС

Принцип розв'язки живлення інтегральних схем з метою притушення високочастотного шуму полягає в застосуванні одного або декількох конденсаторів, підключених між виводами живлення і землі. Важливо, щоб провідники, що з'єднують виводи з конденсаторами, були короткими. Якщо це не так, то власна індуктивність провідників буде відігравати помітну роль і зводити нанівець вигоди від застосування розв'язуючих конденсаторів.

Розв'язуючий конденсатор повинен бути підключений до кожного корпусу мікросхеми, незалежно від того, скільки операційних підсилювачів знаходиться всередині корпусу - 1, 2 або 4. Якщо ОП живиться двополярним живленням, то, само собою зрозуміло, що розв'язуючі конденсатори повинні розташовуватися біля кожного виводу живлення. Значення ємності повинно бути ретельно обране в залежності від типу шумів і перешкод, присутніх у схемі.

В особливо складних випадках може з'явитися необхідність додавання індуктивності, включеної послідовно з виводом живлення. Індуктивність повинна розташовуватися до, а не після конденсаторів.

Іншим, більш дешевим способом є заміна індуктивності резистором з малим опором (10...100 Ом). При цьому разом з розв'язуючим конденсатором резистор утворює низькочастотний фільтр. Цей спосіб зменшує діапазон живлення операційного підсилювача, який до того ж стає більш залежним від споживаної потужності.

Зазвичай для притушення низькочастотних перешкод у ланцюгах живлення буває досить застосувати один або декілька алюмінієвих або танталових електролітичних конденсаторів у вхідного роз'єму живлення. Додатковий керамічний конденсатор буде притушувати високочастотні перешкоди від інших плат.

1.3.6.3 Розв'язка вхідних і вихідних сигналів

Безліч шумових проблем є результатом безпосереднього з'єднання вхідних і вихідних виводів. В результаті високочастотних обмежень пасивних компонентів реакція схеми на вплив високочастотного шуму може бути досить непередбачуваною.

У ситуації, коли частотний діапазон наведеного шуму в значній мірі відрізняється від частотного діапазону роботи схеми, рішення просте і очевидне - розміщення пасивного RC-фільтра для притушення високочастотних перешкод. Однак при застосуванні пасивного фільтра треба бути обережним: його характеристики (за неідеальності частотних характеристик пасивних компонентів) втрачають свої властивості на частотах, що в 100...1000 разів перевищують частоту зрізу (f_{3db}). При використанні послідовно з'єднаних фільтрів, налаштованих на різні частотні діапазони, більш високочастотний фільтр повинен бути найближчим до джерела перешкод. Також для притушення шуму можуть застосовуватися індуктивності на феритових кільцях, вони зберігають індуктивний характер опору до деякої певної частоти, а вище їх опір стає активним.

Наведення на аналогову схему можуть бути настільки великими, що позбутися від них (або, принаймні, зменшити) можливо тільки за допомогою застосування екранів. Для ефективної роботи вони повинні бути ретельно спроектовані так, щоб частоти, що створюють найбільші проблеми, не змогли потрапити в схему. Це означає, що екран не повинен мати отвори або вирізи з розмірами більшими, ніж $1/20$ довжини хвилі екранованого випромінювання. Хороша ідея відводити достатнє місце під передбачуваний екран з самого початку проектування друкованої плати. При використанні екрану можна додатково використовувати феритові кільця (або намистинки) для всіх підключень до схеми.

1.3.7 Об'ємний і поверхневий монтаж

При використанні корпусів типу DIP і пасивних вивідних корпусів в першу чергу потрібна наявність посадочних отворів для їх монтажу. Такий тип компонентів використовується в тих випадках, коли немає вимог до розмірів друкованої плати розроблюваного пристрою. Зазвичай подібний монтаж застосовується з метою здешевлення розробки. Але ціна, як правило, стає дешевше, та різниця з планарним монтажем залишається невелика. Це пояснюється великою кількістю отворів свердління.

У разі використання навісного монтажу істотно збільшуються габаритні розміри плати і довжина провідників, що не дозволить працювати пристрою на високих частотах. Тому навісний монтаж не рекомендують використовувати при розробці високочастотних пристроїв, а так само аналогових пристроїв, розташованих поблизу високошвидкісних логічних схем.

Деякі розробники з метою зменшення довжини провідників розташовують резистори вертикально. Але при такому включенні компоненту збільшується шлях проходження струму через резистор, а сам резистор являє собою петлю (виток індуктивності). У цьому випадку здатність випромінювання у цього компонента зростає. Також компонент з подібним включенням наводить велику кількість перешкод і шумів.

При використанні планарного (поверхневого) монтажу отвори під посадку не потрібні. Проте труднощі виникають при налагодженні та тестуванні, монтажі. Тобто виникає необхідність в установці додаткових контрольних точок. Але при поверхневому монтажі взаємний вплив компонентів на ВЧ можливо звести до мінімуму. Так само істотно зростає трудомісткість монтажу при використанні малого типорозміру компонентів.

1.4 EEPROM

Пам'ять даних EEPROM - це енергонезалежний масив пам'яті, відокремлений від ОЗП пам'яті даних і пам'яті програм, який призначений для довготривалого зберігання записаних даних. Вона не відображена безпосередньо ні в файлі реєстрів, ні в просторі пам'яті програм, але побічно адресується через реєстри спеціального призначення (*Special Function Registers - SFRs*). У нормальному режимі роботи EEPROM можна читати і записувати на всьому діапазоні V_{DD} .

Для читання і запису даних EEPROM, так само як і пам'яті програм, використовуються п'ять реєстрів загального призначення:

- EECON1
- EECON2
- EEDATA
- EEADR
- EEADRH

Пам'ять даних EEPROM дозволяє здійснювати читання і запис по одному байту. При взаємодії з блоком пам'яті даних в реєстрі EEDATA містяться 8 бітів даних для читання/запису, а в реєстровій парі EEADRH:EEADR міститься адреса клітинки EEPROM, до якої здійснюється доступ.

Пам'ять даних EEPROM розрахована на високу зносостійкість циклів читання/запису. При записі байта осередок автоматично стирається, і потім в неї записуються нові дані (стирання перед записом). Час запису управляється вбудованим таймером, воно змінюється в залежності від напруги і температури, а також буде відрізнятися для кожної мікросхеми.

Реєстри EEADR і EEADRH.

Реєстрова пара EEADRH:EEADR використовується для адресації пам'яті даних EEPROM в операціях читання і запису. EEADRH зберігає два старших біти адреси, решта 6 старших бітів реєстра ігноруються. За допомогою 10-

бітної адреси в реєстровій парі можна адресувати діапазон пам'яті до 1024 байтів (от 00h до 3FFh).

Регістри EECON1 і EECON2.

Доступ до пам'яті даних EEPROM управляється двома регістрами: EECON1 і EECON2. Ці ж регістри використовуються для управління доступом до пам'яті програм.

Регістр EECON1 (рис. 1.21) відповідає за управління доступом до пам'яті даних і пам'яті програм. Керуючий біт EEPGD визначає, до якої пам'яті здійснюється доступ до EEPROM або пам'яті програм. Якщо цей біт скинутий, то доступ здійснюється до пам'яті даних EEPROM, якщо встановлено - до пам'яті програм.

Керуючий біт CFGS визначає, чи доступ до конфігураційних регістрів, або до пам'яті програм/пам'яті даних EEPROM. Якщо цей біт встановлений, то операції будуть проводитися над конфігураційними регістрами. Якщо ж біт CFGS скинутий, то бітом EEPGD вибирається або Flash-пам'ять програм, або пам'ять даних EEPROM.

Біт PEH, будучи встановленим, дозволяє операції запису. При включенні живлення біт PEH скинутий. Біт WRERR встановлюється апаратно, коли встановлюється біт PEH, і скидається, коли закінчується внутрішній таймер запису і операція запису завершується. Якщо ж операція запису була перервана передчасно скидання (Reset), або була зроблена неналежним чином, біт WRERR не скидається, вказуючи таким чином, що сталася помилка.

Керуючий біт WR ініціює операцію запису. Біт можна скинути програмно, можна лише встановити; він скидається апаратно по завершенні операції запису.

Примітка: біт прапора переривання EEIF встановлюється по завершенні запису. Його необхідно скидати програмно.

Керуючі біти RD і WR запускають відповідно операції читання і стирання/запису. Ці біти встановлюються програмно, а скидається апаратно по завершенні операції.

Біт RD не можна встановити при доступі до пам'яті програм. Пам'ять програм читається за допомогою команд табличного читання. Регістр EECON2 фізично не існує. Він використовується виключно в послідовностях запису і стирання пам'яті. Всі біти регістра EECON2 читаються як "0".

R/W-x	R/W-x	U-0	R/W-0	R/W-x	R/W-0	R/S-0	R/S-0
EEPGD	CFGS	–	FREE	WRERR	WREN	WR	RD
бит 7	бит 6	бит 5	бит 4	бит 3	бит 2	бит 1	бит 0

Рис. 1.21 - Регістр EECON1 - перший регістр керування пам'яттю даних EEPROM

Примітки до регістру EECON1 приведені в таблиці 1.3

Читання пам'яті даних EEPROM.

Щоб прочитати комірку пам'яті даних, необхідно записати адресу в реєстрову пару EEADRH:EEADR, скинути керуючий біт EEPGD, і потім встановити керуючий біт RD. Дані доступні безпосередньо на наступному командному циклі, тому регістр EEDATA можна вважати наступною командою. EEDATA буде зберігати це значення до наступної операції читання, або поки він не буде перезаписаний користувачем (під час операції запису).

Таблиця 1.3 - Перший регістр керування пам'яттю даних EEPROM

Біт №	Назва	Примітка
біт 7	EEPGD - біт вибору Flash-пам'яті програм або EEPROM-пам'яті даних	1 = доступ буде здійснюватися до пам'яті програм. 0 = доступ буде здійснюватися до пам'яті даних.
біт 6	CFGS - біт вибору Flash-пам'яті програм/пам'яті даних EEPROM або конфігураційних регістрів	1 = доступ буде здійснюватися до конфігураційних регістрів. 0 = доступ буде здійснюватися до Flash-пам'яті програм або EEPROM-пам'яті даних.
біт 5	Не реалізований, читається як "0"	
біт 4	FREE - біт дозволу порядкового стирання Flash-пам'яті	1 = на наступній команді WR (запис) стерти рядок пам'яті програм, адресуемую регістром TBLPTR (скидається по завершенню операції стирання). 0 = виконати тільки запис.
біт 3	WRERR - біт прапора помилки Flash-пам'яті програм або EEPROM-пам'яті даних	1 = операція запису перервана передчасно (будь скидання в процесі запису в нормальному режимі роботи, або некоректна спроба запису). 0 = операція запису завершена. Примітка: коли виникає WRERR, біти EEGD і CFGS не скидаються. Це дозволяє відстежити причину помилки.

біт 2	PEH - біт дозволу запису Flash-пам'яті програм або EEPROM-пам'яті даних	1 = дозволяє цикли запису в Flash-пам'ять програм або EEPROM-пам'ять даних. 0 = забороняє цикли запису в Flash-пам'ять програм або EEPROM-пам'ять даних.
біт 1	WR - біт керування записом	1 = ініціює цикл стирання/запису для пам'яті даних EEPROM, або цикл стирання або цикл запису для пам'яті програм (самотактируемая операція, біт скидається апаратно, як тільки запис завершиться. Біт WR можна лише програмно, але не скинути.). 0 = цикл запису в EEPROM завершений.
біт 0	RD - біт керування читанням	1 = ініціює читання EEPROM (Читання займає один цикл. RD скидається апаратно. Біт RD можна лише програмно, але не скинути. Біт RD не можна встановити, коли EEPGD=1 (робота з пам'яттю програм) або CFGS=1 (робота з конфігураційними регістрами)). 0 = не ініціює читання EEPROM.

Запис в пам'ять даних EEPROM.

Щоб виконати запис у комірку пам'яті даних EEPROM, спочатку необхідно записати адресу в реєстрову пару EEADRH:EEADR, а потім записати дані в реєстр EEDATA.

Крім того, необхідно встановити біт PEHA в реєстрі EECON1, щоб дозволити запис. Цей механізм запобігає випадковий запис в пам'ять даних

EEPROM через непередбачуваного виконання коду (тобто вихід програмного лічильника за межі програми). Біт PЕН повинен залишатися скинутим весь час, крім запису в EEPROM. Біт PЕН не скидається апаратно.

Після ініціації послідовності запису реєстри EECON1, EEADRH:EEADR і EEDATA не можуть бути змінені. Установка біта WR буде заборонена, поки не встановиться біт PЕН. Біт PЕН необхідно встановлювати командою, що передує встановленню біта WR. Не можна встановити біти WR і PЕН одночасно, тобто однією командою.

По завершенні циклу запису біт WR скидається апаратно, і встановлюється біт прапора переривання EEPROM (EEIF). Користувач може або дозволити це переривання, або опитувати цей біт. EEIF повинен скидатися програмно.

Перевірка запису.

У залежності від програми, практика хорошого програмування може диктувати необхідність порівняння записаного в пам'ять значення з вихідним значенням. Це необхідно використовувати в тих додатках, де надмірна запис може піддавати біти навантаження, близькою до граничної характеристики.

Робота під час захисту коду.

Пам'ять даних EEPROM має свої власні біти захисту коду в слові конфігурації. Зовнішні операції читання і запису заборонені, якщо захист коду включена.

Сам мікроконтролер може читати і записувати у внутрішню пам'ять даних EEPROM незалежно від стану конфігураційного біта захисту коду.

Захист від фіктивного запису.

Існують умови, при яких пристрій може не захотіти записати дані в пам'ять EEPROM. Для захисту від фіктивної запису реалізовані різні механізми. Один з них полягає в тому, що при включенні живлення біт PЕН скидається. Крім того, запис в EEPROM блокується під час періоду таймера по включенню живлення.

Послідовність ініціації запису і біт PЕН разом запобігають випадковий запис під час скидання по включенню живлення, при збої живлення і неправильній роботі програмного забезпечення.

Використання пам'яті даних EEPROM.

Пам'ять даних EEPROM - це масив з високою зносостійкістю і можливістю побайтової адресації, який оптимізований для зберігання часто змінюваної інформації (наприклад, програмних змінних або інших даних, які часто оновлюються). Якщо не так, то повинна виконуватися регенерація (відновлення) масиву пам'яті. З цієї причини, змінні, які змінюються рідко (такі як константи, ідентифікатори, калібрувальні дані тощо) повинні зберігатися в Flash-пам'яті програм.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ПРИЛАДУ І ПІДБИРАННЯ КОМПОНЕНТІВ ТА СХЕМ

2.1 Вимоги до приладу

Розроблюваний прилад «Simple Board STM32F» призначений для:

- вимірювання постійної напруги по 2-му каналах;
- перетворення вимірюваної напруги в струм і виведення його за допомогою інтерфейсу 4-20мА на 2 аналогових виходи;
- надання доступу до результатів вимірювань по послідовному інтерфейсу RS-232;
- відображення результатів вимірювання на цифровому індикаторі.

Так само прилад повинен мати:

- дискретний вихід реалізований у вигляді реле для підключення різних пристроїв;
- зовнішню енергонезалежну пам'ять для калібрування вольтметра і збереження параметрів роботи.

Вимоги до аналогового входу:

Вихідні вимоги до аналогового входу описані таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики аналогового входу вимірювання постійної напруги

№	Найменування характеристики	Значення
1	Кількість аналогових входів	2
2	Діапазон вимірювання постійної напруги, В	Від 0 до 24
3	Основна приведена похибка вимірювання, % від ВПІ, не більше	$\pm 0,25$
4	Період оновлення результатів вимірювання, не більше, с	0,4

Вимоги до аналогового виходу:

Вихідні вимоги до аналогового виходу наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики аналогового виходу

№	Найменування характеристики	Значення
1	Кількість аналогових виходів	2
2	Діапазон сили струму, поданого на вихід, мА	від 4 до 20
3	Основна приведена похибка на виході, % від 20 мА, не більше	$\pm 0,5$

Вимоги до пам'яті приладу

Прилад повинен мати зовнішню енергонезалежну пам'ять.

Вимоги до інтерфейсів зв'язку

Прилад повинен мати в своєму складі послідовний інтерфейс RS-232.

Прилад повинен забезпечувати передачу даних по мережевому інтерфейсу RS-232 на швидкості 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 і 115 200 біт/с при довжині кабелю до 15 м. При цьому допустима кількість помилок при прийомі і передачі в сумі повинна бути не більше 3%.

Вимоги до індикації приладу

Для відображення результатів вимірювання прилад повинен мати цифровий індикатор і світлодіоди.

Кількість індикаторів – 1. 4-х розрядний 7-мисегментний індикатор, червоного кольору світіння.

Кількість діодів – 9. 8 зелених діодів і 1 двокольоровий (зелений, червоний) .

Вимоги до органів управління

Прилад повинен мати у своєму складі 3 тактові кнопки (Up, Down, Enter).

Вимоги до дискретних виходів

Прилад повинен мати у своєму складі дискретний вихід. Кількість дискретних виходів – 1. Дискретний вихід повинен бути реалізований у вигляді реле (250В АС, струм 3А).

Вимоги до живлення приладу

Напруга живлення приладу 24(±2)В постійного струму. Споживана приладом потужність від джерела живлення не повинна перевищувати 15Вт.

Вимоги до електромагнітної сумісності

По стійкості до електромагнітних перешкод прилад повинен відповідати вимогам, що пред'являються до обладнання класу Б відповідно ГОСТ Р 51522-99.

За рівнем випромінювання радіоперешкод прилад повинен відповідати нормам, наведеним у ГОСТ Р 51318.22 для обладнання класу Б.

Вимоги до механічної міцності

По стійкості до механічних впливів при експлуатації прилад повинен відповідати групі виконання L1 по ГОСТ Р 52931-2008 (Місця, захищені від істотних вібрацій. Можуть з'являтися вібрації тільки низької частоти. Частота синусоїдальної вібрації 5-35Гц. Амплітуда зсуву частоти нижче частоти переходу 0,350 мм).

Умови експлуатації

По стійкості до кліматичних впливів при експлуатації прилад відповідає групі В2 по ГОСТ Р 52931-2008.

Прилад повинний зберігати заявлені характеристики при експлуатації в наступних умовах:

- діапазон температур навколишнього середовища від плюс 5° С до плюс 40°С;
- відносна вологість повітря до 75% (при 30°С і нижче без конденсації вологи).

По стійкості до впливу атмосферного тиску при експлуатації прилад відповідає групі Р1 за ГОСТ Р 52931-2008.

Прилад повинен зберігати заявлені характеристики при експлуатації в наступних умовах:

діапазон значень атмосферного тиску від 84 до 106,7 КПа (діапазон висот над рівнем моря до 1000м).

Вимоги по електробезпеці

За способом захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом, прилад повинен ставитися до класу III за ГОСТ 12.2.007.0-75. Вироби, призначені для роботи при безпечному наднизькій напрузі, не мають ні зовнішніх, ні внутрішніх електричних ланцюгів, що працюють при іншій напрузі.

Вимоги до конструкції

Конструктивно прилад повинен бути виконаний без корпусу (плата на ніжках). Роз'єми входу, виходу повинні бути розташовані по периметру приладу.

Технологічні вимоги

Друковані плати мають бути розроблені з урахуванням вимог стандарту IPC-610 для автоматизованого монтажу компонентів.

Для забезпечення технологічного тестування друкованих плат повинні бути передбачені контрольні точки для установки зондового контролю якості монтажу компонентів.

Вимоги до маркування

Маркування повинне проводитися у відповідності з ГОСТ 26828. Транспортне маркування повинно відповідати ГОСТ 14192.

2.2 Підбирання компонентів

У цій главі підбираються необхідні елементи (мікросхеми) для коректної роботи приладу, описаної в розділі «2.1 Вимоги до приладу».

2.2.1 Енергонезалежна пам'ять

Досить часто в якості узагальненої назви цього класу мікросхем використовують аббревіатуру "ПЗП" - Постійний Запам'ятовуючий Пристрій (англ. ROM - Read Only Memory - пам'ять тільки для читання). Слід зауважити, що це не зовсім коректно. Перші, найбільш старі представники енергонезалежної пам'яті, дійсно використовувалися в апаратурі тільки в режимі читання, а їх запис (програмування) здійснювалося або в процесі виготовлення кристала, або перед установкою в апаратуру з допомогою досить складного приладу - програматора. Надалі, по мірі вдосконалення технології виробництва і спрощення методів і алгоритмів запису, їх сучасні модифікації все частіше стали використовувати в приладах і пристроях в режимах запису, стирання і перезапису. Наприклад, в модулях фіскальної пам'яті касових апаратів, у них заноситься підсумкова інформація про денну виручку та кількість покупок. В телевізорах ПЗП використовують для зберігання різних налаштувань. Всі ці застосування суперечать самому змісту поняття "пам'ять тільки для читання". Спроби усунути це протиріччя призвели до обростання аббревіатури "ПЗП" уточнюючими приставками: ППЗП - програмовані ПЗП, СППЗП - прані ППЗП, РПЗП - репрограмовані ПЗП (PROM - Programmable ROM, EPROM - Erasable PROM, EEPROM - Electrically Erasable PROM) і т. д. Однак, найбільш точною узагальнюючою назвою цього класу приладів є "енергонезалежна пам'ять".

MaskROM - Маскові ПЗУ.

Це найбільш старий сімейство мікросхем ЕП. Інформація в таку пам'ять заноситься в процесі виготовлення кристала і в подальшому не може бути змінена. Багаторічна популярність MaskROM обумовлювалася низькою ціною при великосерійному виробництві. В даний час, у зв'язку з різким зниженням цін на програмовану і перепрограммируемую пам'ять, застосовуються рідко.

PROM - Програмовані ПЗП.

Першими програмованими ПЗП, що прийшли на зміну MaskROM, стали мікросхеми пам'яті на базі плавких перемичок (наприклад, поширені десять років тому вітчизняні серії K556 і K1556). Можливість самостійної запису інформації в них робило їх придатними для штучного і дрібносерійного виробництва. Найбільш істотними недоліками були великий відсоток браку і необхідність спеціальної тривалої термічної тренування, без якої надійність зберігання даних була невисокою. В даний час, також майже не застосовуються.

EPROM.

Різні джерела по-різному розшифровують аббревіатуру EPROM - Erasable Programmable ROM або Electrically Programmable ROM (прани програмовані ПЗП або електрично програмовані ПЗП). Основу цієї серії складають ПЗУ, прани ультрафіолетовим випромінюванням. Корпуси таких мікросхем мають вікно з кварцового скла. Дані зберігаються у вигляді зарядів плаваючих затворів МДН-транзисторів, спрощено кажучи, що представляють собою конденсатори з дуже низькою витокон заряду.

Багато виробників пам'яті випускають серію EPROM також у виконанні "OTP" - One Time Programmable - одноразово програмовані (ті ж кристали, але в дешевому пластиковому корпусі без кварцового вікна).

Останнім часом одержали широке поширення електрично прани модифікації EPROM виробництва фірм Winbond і SST, також випускаються в пластмасових корпусах.

Flash і EEPROM.

Головною відмінною особливістю Flash (FlashROM, Flash-пам'яті, Флеш-пам'ять) і EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM - електрично прани ПЗП) від інших мікросхем ЕП є можливість їх перепрограмування при підключенні до стандартної системної шини мікропроцесорного пристрою. Для Flash перед записом потрібно виконати стирання (повне або поблочне), а для EEPROM стирання кожної комірки виконується автоматично при записі в неї нової інформації, тобто можна змінити дані в будь-якій комірці, не зачіпаючи

інших.

Існують мікросхеми Flash-пам'яті з автоматичним посторінковим автостираниєм і дуже дрібною розбивкою на сторінки, що наближає їх за можливостями до EEPROM.

Широко застосовуються також Flash EEPROM з доступом до інформації по послідовному каналу (Serial Flash, Serial Data Flash, Serial EEPROM або SEEPR0M). У цьому випадку, адреси, дані і управляючі команди передаються послідовно побітно по одному дроту і синхронізуються імпульсами на тактовому вході. При цьому використовуються різні послідовні шини (2-х, 3-х і 4-х провідні), як стандартні, так і нестандартні, найчастіше I2C, Microwire, у SPI та ін. Перевага послідовних мікросхем в малих габаритах і мінімальній кількості ліній введення-виведення, необхідних для їх підключення до мікропроцесора або мікроконтролеру, хоча швидкість звернення до них значно нижче. Переважна більшість послідовних EEPROM виконані у 8-вивідних корпусах.

Non-volatile RAM (NVRAM), FRAM.

Поняття "Незалежне ОЗУ" (Non-volatile RAM або NVRAM) включає в себе кілька підродин пам'яті. Всі вони відрізняються від інших видів ЕП моментальної записом. Тому, замість терміна "програмування", по відношенню до цих мікросхем зазвичай застосовують термін "запис".

Перша різновид NVRAM являє собою звичайні статичні ОЗП з вбудованим елементом живлення (найчастіше літєвим) і посиленням захистом від спотворення інформації в момент включення і виключення живлення. Важливою перевагою цих мікросхем є необмежену кількість циклів перезапису (для EPROM, Flash EEPROM воно зазвичай становить від однієї тисячі до 100 мільйонів). Світовим лідером виробництва такої пам'яті є фірма Dallas Semiconductor.

Інший різновидом NVRAM є мікросхеми, що містять на однім кристалі енергозалежна ОЗП (RAM) і резервну EEPROM-пам'ять, з можливістю

збереження (копіювання) вмісту ОЗУ в EEPROM і зворотного відновлення даних з EEPROM в ОЗП. Багато з цих мікросхем мають функцію автоматичного відновлення даних з EEPROM в ОЗП при включенні живлення. Поділяються на послідовні та паралельні.

Нове покоління NVRAM, при виготовленні яких використовуються найсучасніші технології з застосуванням матеріалів - ферроелектриков (FRAM), не вимагають для зберігання інформації жодного елемента живлення, зберігаючи всі інші властивості звичайних ОЗП. Часто випускаються у вигляді мікросхем, повністю сумісних з розташуванням висновків, алгоритмів та протоколів, і навіть збігаються з маркуванням з послідовними і паралельними EEPROM. Прикладом може служити серія 24Cxx фірми Ramtron.

2.2.2 Перетворювач джерела живлення.

З пункту «Вимоги до живлення приладу» описаному в розділі «2.1 Вимоги до приладу» напруга живлення приладу 24(±2)В постійного струму, а всередині схеми на різні компоненти повинно подаватися різне напруга живлення:

- 24В: реле;
- 5В: діоди і світлодіодний індикатор, ЦАП, EEPROM, налагоджувальна плата STM32;
- 3.3В: 2 аналогових входа, кнопки управління, RS-232 інтерфейс, налагоджувальна плата STM32;

Для цього в схему блоку живлення додано 2 перетворювача постійної напруги:

24В в 5В або 5В в 3.3В;

Як перетворювач постійної напруги 24В в 5В була обрана мікросхема MC33063AD. Як перетворювач постійної напруги 5В 3.3 була обрана мікросхема MCP1700T.

2.2.2.1 Перетворювач MC33063AD

Мікросхема MC33063AD легка у використанні IC, що містить усю основну схему, необхідну для створення простого перетворювача DC-DC. Ці пристрої в основному складаються з визначника компенсації внутрішньої температури, компаратора, генератор, ШІМ-контролера з активним токоограничителем, і вихідного реле високого струму. Таким чином, пристрій вимагає мінімальних зовнішніх компонентів для побудови перетворювачів. MC33063AD охарактеризований для роботи від -40°C до 85°C .

Характеристики:

- Частота генератора до 100 кГц;
- Широкий діапазон вхідної напруги від 3 В до 40 В;
- Точність внутрішнього визначника 2%;
- Високий вихідний струм перемикання до 1,5 А;
- Обмеження струм короткого замикання;
- Регульована вихідна напруга;
- Низький струм в режимі очікування;

Розглянемо функціонально-блочну схему перетворювача на рисунку 2.1.

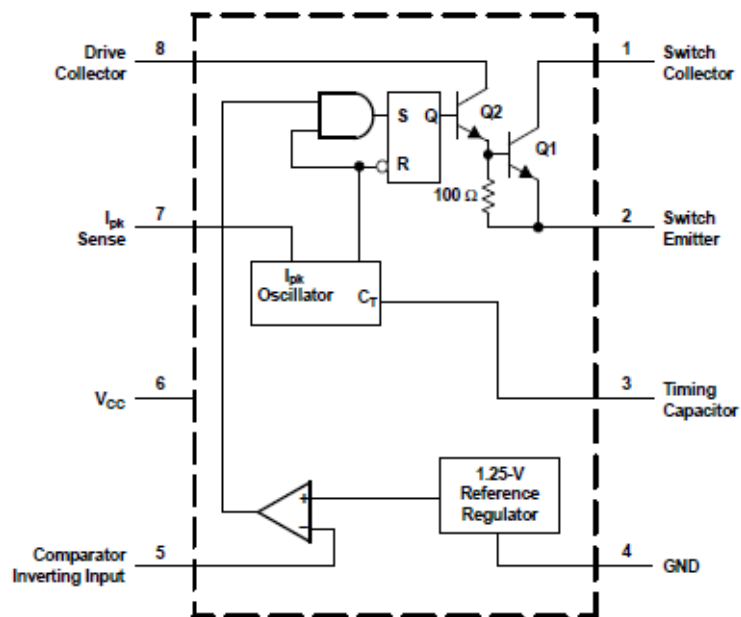


Рис. 2.1 – Функціонально-блочна схема перетворювача.

Схема перетворювача, що знижує напругу, наведена на рисунку 2.2.

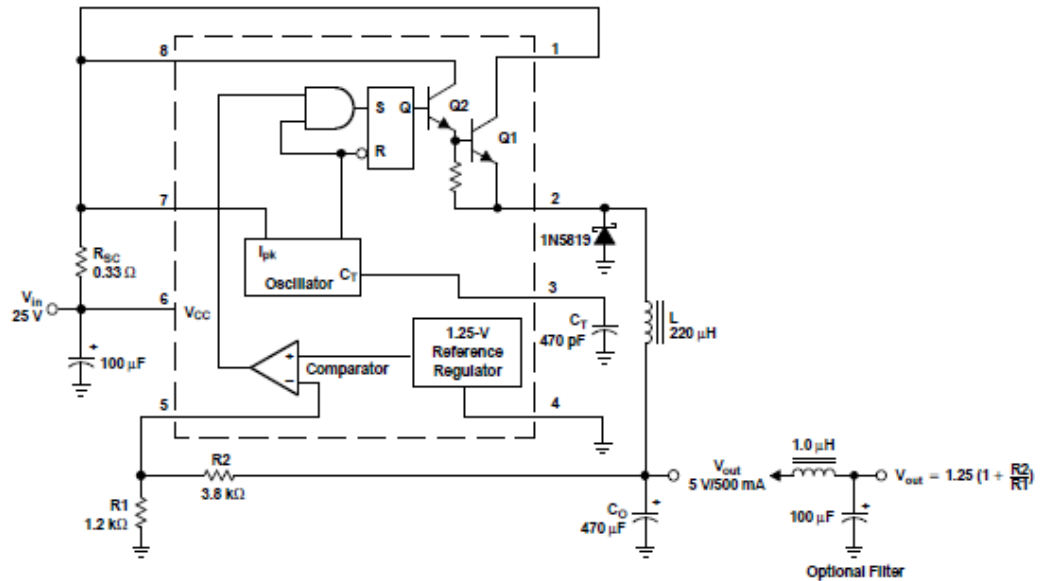


Рис. 2.2 – Схема перетворювача, що знижує напругу.

2.2.2.2 Перетворювач MCP1700T

MCP1700 це сімейство КМОП з малим падінням напруги, стабілізатори напруги якого можуть доставити до 250 мА струму, споживаючи всього 1,6 мкА в стані спокою. Робочий діапазон вхідної напруги вказано від 2,3 до 6,0 Ст. Допуск напруги виходу MCP1700 варіюється $\pm 0,4\%$ при $+25^\circ\text{C}$ і $\pm 3\%$ максимум при температурі експлуатації від -40°C до $+125^\circ\text{C}$. Вихідна напруги, доступні в діапазоні від 1.2 V до 5.0 Ст. Керамічні, танталові або алюмінієві електролітичні конденсатори можуть бути використані на вході і виході. Межа перевантаження по струму і вимкнення при перегріві забезпечують надійне рішення для будь-якого додатка.

Характеристики:

- 1,6 мкА струм спокою;
- Діапазон вхідної напруги: від 2,3В до 6,0В;
- Діапазон вихідної напруги: від 1.2V до 5.0В;

- 250 мА вихідний струм для вихідних напруг $\geq 2.5\text{В}$;
- 200 мА вихідний струм для вихідних напруг $< 2.5\text{В}$;
- Мале падіння напруги (LDO):
 - 178 мВ для $V_{\text{out}} = 2,8\text{ В}$;
- 0,4% припустиме відхилення напруги;
- Стандартні параметри вихідної напруги:
 - 1.2В, 1.8В, 2.5В, 3.0В, 3.3В, 5.0В;
- Захист від короткого замикання;
- Захист від перегріву;

Розглянемо функціонально-блочну схему перетворювача на рисунку 2.3.

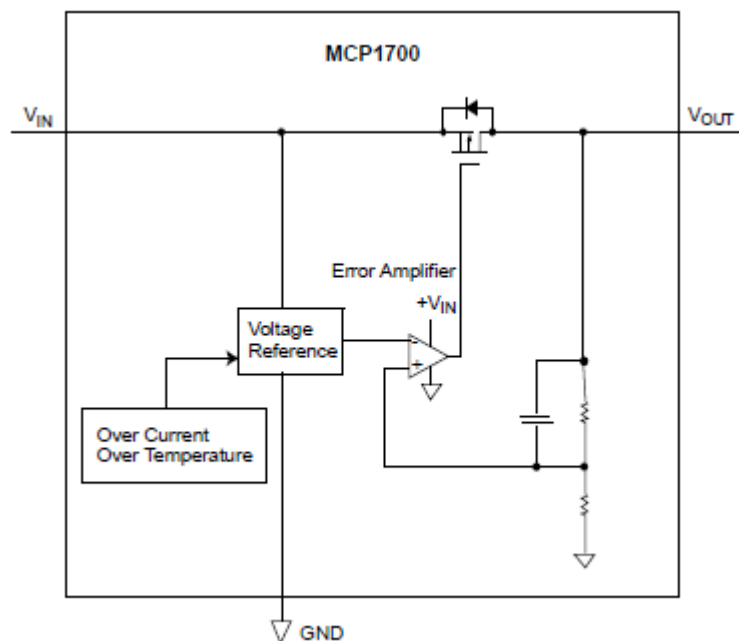


Рис. 2.3 – Функціонально-блочна схема перетворювача.
Схема застосування перетворювача наведена на рисунку 2.4.

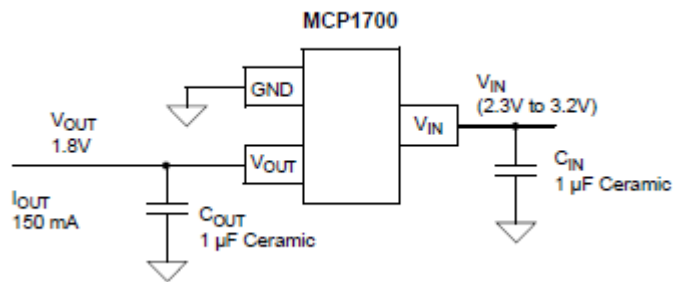


Рис. 2.4 – Схема застосування перетворювача.

2.2.3 Налаштункова плата

2.2.3.1 Сімейство мікроконтролерів STM32

STM32 - це мікроконтролер, побудований на ядрі ARM Cortex-M3. Дане ядро має багато переваг, які будуть перераховані нижче, але його основна перевага на сьогоднішній день - універсальність. За два роки Cortex-M3 став індустріальним стандартом. Про це говорить кількість виробників, які приєдналися до даної архітектури. Всі основні виробники мікроконтролерів, крім Microchip, мають або розвивають рішення на основі цієї архітектури: STMicroelectronics, Texas Instrument, NXP, ATMEL, Analog Devices, Renesas і т. д.

В 32-бітному сегменті розробники рідко працюють з асемблером, вони в основному використовують мови високого рівня, наприклад, мову C. Тому якщо раптом знадобиться перехід з одного виробника на іншого (зрив поставок, відсутність потрібних бібліотек, нові функціональні вимоги, збільшення цін, тощо), то частина програмного коду, пов'язана з ядром, навіть не вимагатиме зміни. Необхідна буде тільки робота на рівні драйверів периферії. У підсумку виходить, що якщо писати програмний код з чітким поділом між ядром і периферією, то можна забезпечити умови для дуже швидкого переходу з одного виробника на іншого.

Сімейство STM32 - це не тільки мікроконтролери на ядрі Cortex-M3. Архітектура Cortex-M включає в себе також ядра Cortex-M0 і Cortex-M4. Рис. 2.6 показує взаємозв'язок між цими ядрами.

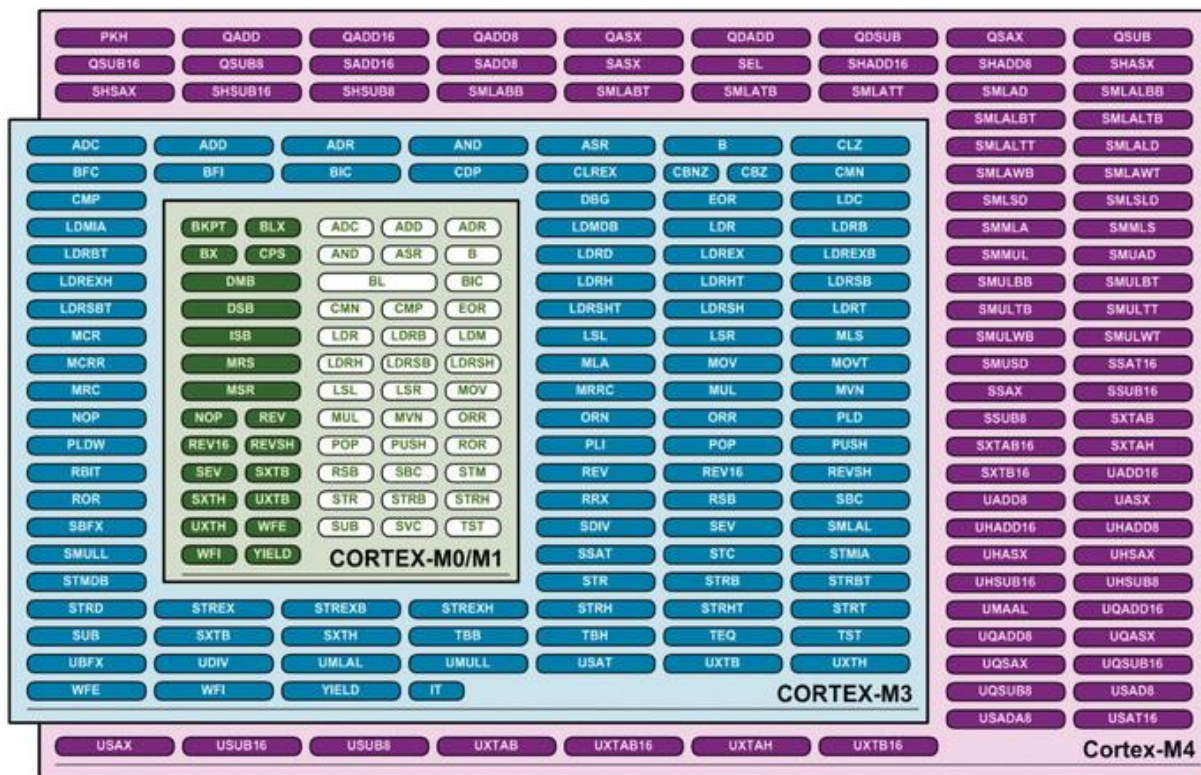


Рис. 2.6 - Сімейства ядер Cortex-M

Cortex-M0 - це Cortex-M3 з усіченим набором команд, призначений для більш дешевих і менш вимогливих з точки зору продуктивності рішень. Cortex-M0 дозволить замінити 16-розрядні мікроконтролери і, меншою мірою, 8-розрядні мікроконтролери. Cortex-M4 - це Cortex-M3, збагачений новими командами для обробки даних і призначений для застосувань, що вимагають більш високої продуктивності, з більш складною обробкою сигналу (операції з плаваючою комою на апаратному рівні).

Програмний код, що працює на ядрі Cortex-M0, буде в повному обсязі працювати і на ядрі Cortex-M3, оскільки для Cortex-M3 діють всі інструкції Cortex-M0. Програмний код, що працює на ядрі Cortex-M3, також буде

працювати на Cortex-M4, оскільки для Cortex-M4 залишаються чинними всі інструкції Cortex-M3. Тобто, зробивши виріб на Cortex-M3, можна буде далі зробити його більш дешеві та прості варіанти на Cortex-M0 або більш дорогі і складні вироби на Cortex-M4 з мінімальними витратами на переробку програмного коду. Cortex-M3 вже став світовим стандартом.

2.3.2.1 Налагоджувальна плата STM32VL Discovery

Зовнішній вигляд і найменування елементів на платі STM32VL Discovery наведено на рисунку 2.7.

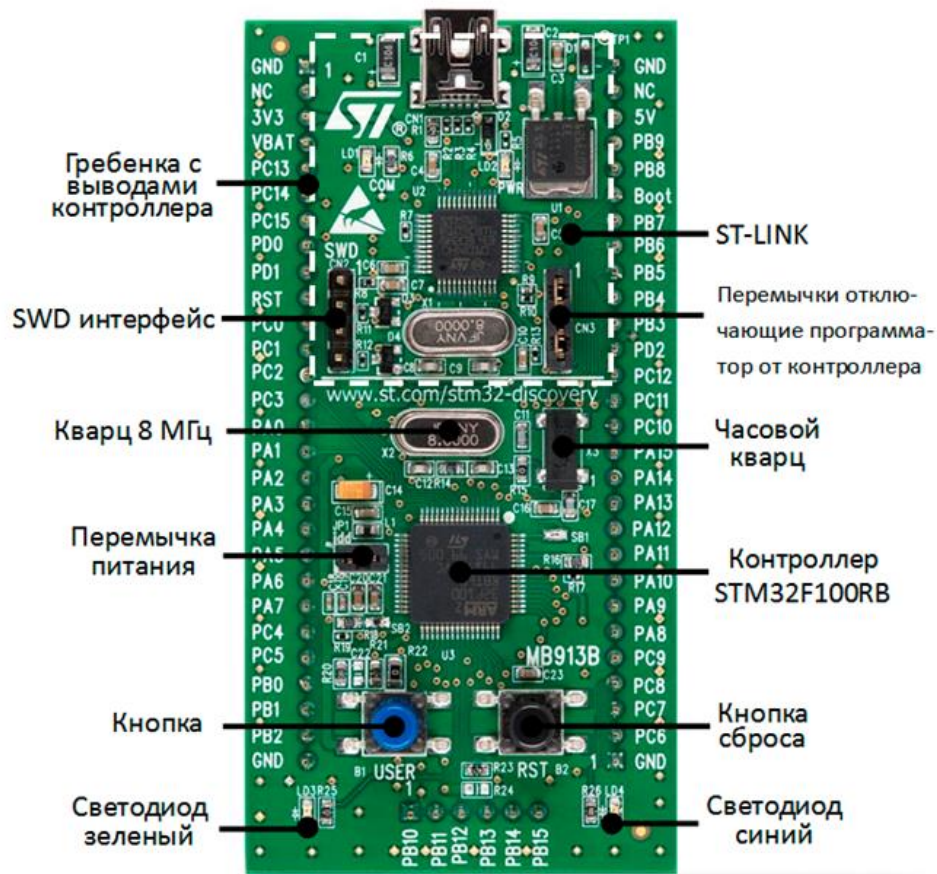


Рис. 2.7 - STM32VL Discovery

Плата поділена на дві частини: Відладчик ST-LINK і безпосередньо сам контролер з обв'язкою. Відладчик вмiє працювати з багатьма контролерами STM32. Виведений назовні інтерфейс SWD, цей інтерфейс фізично

реалізований у вигляді двох проводів. Це дозволяє прошивати інші контролери STM32 за допомогою цієї плати. Перед прошивкою якого-небудь зовнішнього контролера необхідно зняти дві перемички через які відладчик з'єднаний з програмованим контролером на встановленому на платі. Для зручності поруч з двома контактами SWD є ще земля і плюс харчування. Крім SWD є ще JTAG, проводів там побільше і роз'єму на платі немає. Крім виконання своїх прямих функцій, відладчик також забезпечує харчуванням 3.3 вольтів всю плату. Підключається до комп'ютера через звичайний mini-usb. У відладчика так само є два світлодіоди, один показує що на плату подається живлення, а другий блимає під час будь-якої активності.

На платі встановлений STM32F100RBT6B. Основні характеристики:

- Тактова частота 24 МГц,
- 128 кб флеш пам'яті,
- 8 кб ОЗП,
- наявність ADC, DAC, I2C, SPI, USART, RTC.

Для взаємодії з зовнішнім світом у цього контролера є 51 висновок (з 64-х), який може змінювати свій стан за бажанням програміста. До двох таких висновоків підключені два світлодіоди - зелений і синій. З "пристроїв виводу" це все. Для того щоб якось впливати на виконання програми є одна кнопка (синя). У програмі можна визначити її стан (натиснута або відпущена), а от друга кнопка служить для скидання контролера.

Слід звернути увагу на перемичку керуючу харчуванням. Якщо її зняти, то контролер буде знеструмлений і відповідно працювати нічого не буде.

На платі так само є два кварцових генератора: 32768 Гц і на 8 МГц. Від останнього тактується контролер, причому цей кварцовий генератор легко виймається і замінюється на інший без всякої пайки. Другий кварц - годинний. Його наявність не обов'язково.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ОБВ'ЯЗКИ МІКРОСХЕМ

При проектуванні вольтметра використовується багато додаткових мікросхем (перетворювачі напруги, EEPROM, RS-232...).

В таблиці 3.1 наведений їх перелік:

Таблиця 3.1 – Додаткові мікросхеми.

Позначення на схемі	Найменування	Призначення
DA1	MC33063AD	DC-DC перетворювач (з 24В у 5В)
DA2	MCP1700T-3302E/TT	DC-DC перетворювач (з 5В у 3.3В)
DA3	AD5061	ЦАП
DA4, DA5	XTR116U	4-20мА струмовий перетворювач
DD1	AT24C64N-10SI-2.7	EEPROM
DD2	ICL3232EIBNZ	RS-232 інтерфейс

Розглянемо розрахунок параметрів елементів обв'язки на прикладі DC-DC перетворювача MC33063AD.

З пункта «2.2.2.1 Перетворювач MC33063AD» відомо, що схема перетворювача наступна (рис. 3.1):

З цієї схеми:

V_{in} - вхідна напруга; V_{uot} – вихідна напруга;

R_1, R_2 - ділник напруги, який задає вихідну напругу;

C_T - ємність конденсатора, який задає частоту роботи перетворювача;

R_{SC} - резистор, який відключить мікросхему якщо номінальний струм перевищено. Вбереже перетворювач від короткого замикання. Чим більше опір цього резистора, тим менший струм зможе віддати перетворювач;

$L_{(min)}$ - мінімальна індуктивність котушки.

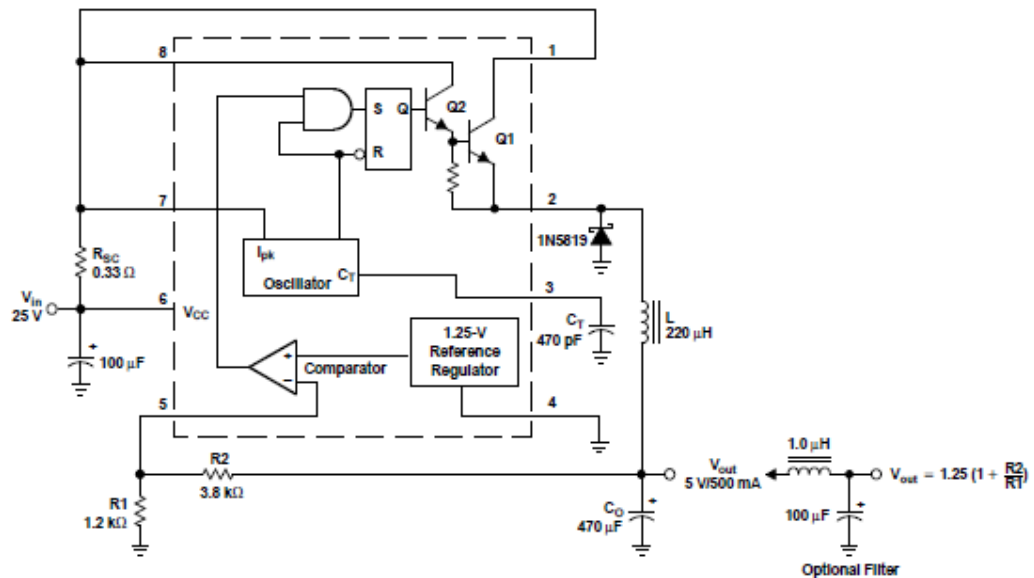


Рис. 3.1 – Схема перетворювача, який знижує напругу.

C_O - конденсатор фільтра. Чим він більше, тим менше пульсацій. Для зменшення пульсацій так само можна використовувати додатковий LC фільтр. На схемі він позначений як “Optional Filter”.

Розрахунок цих елементів за формулами з документації:

$$t_{on}/t_{of} = \frac{V_{out} + V_F}{V_{in(min)} - V_{sat} - V_{uot}}, \text{ де}$$

V_{uot} – вихідна напруга; $V_{in(min)}$ – мінімальна вхідна напруга;

V_{sat} – напруга насичення транзисторний ключ

V_F – напруга крізь резистор зворотнього зв'язку; t_{on} – час включення;

t_{off} - час вимкнення;

$$t_{on}/t_{of} = \frac{5 + 0.4}{22 - 1 - 5} = 0.3375;$$

$$t_{on} + t_{of} = \frac{1}{f}, \text{ де}$$

f – частота перетворювача;

$$t_{on} + t_{of} = \frac{1}{100 * 10^3} = 10^{-5} \text{ с;}$$

$$t_{off} = \frac{t_{on} + t_{of}}{t_{on}/t_{of} + 1} = \frac{10^{-5} \text{ с}}{1.3375} = 0.75 * 10^{-5} \text{ с;}$$

$$t_{on} = (t_{on} + t_{of}) - t_{off} = 10^{-5} \text{ с} - 0.75 * 10^{-5} \text{ с} = 0.25 * 10^{-5} \text{ с}$$

$$C_T = 4 * 10^{-5} * t_{on} = 4 * 10^{-5} * 0.25 * 10^{-5} = 10^{-10} = 100 * 10^{-12} = 100 \text{ пФ}$$

$I_{pk(switch)} = 2 * I_{uot(max)}$, де $I_{pk(switch)}$ – піковий струм перетворювання;

$I_{uot(max)}$ – максимальний вихідний струм;

$$I_{pk(switch)} = 2 * 500 * 10^{-3} \text{ А} = 1 \text{ А;}$$

$$L_{(min)} = \frac{V_{in(min)} - V_{sat} - V_{uot}}{I_{pk(switch)}} * t_{on(max)} =$$

$$\frac{22 - 1 - 5}{1} * 0.25 * 10^{-5} = 4 * 10^{-5} = 40 \text{ мкГн;}$$

$$C_O = \frac{I_{pk(switch)} * (t_{on} + t_{of})}{8 * V_{ripple(pp)}}, \text{ де}$$

$V_{ripple(pp)}$ - напруга пульсацій на навантаженні;

$$C_O = \frac{1 * 10^{-5}}{8 * V_{ripple(pp)}} = \frac{1 * 10^{-5}}{8 * 25 * 10^{-3}} = 0.005 * 10^{-2} = 50 \text{ мкФ}$$

$$R_{sc} = \frac{0.3}{I_{pk(switch)}} = \frac{0.3}{1} = 0.3 \text{ Ом}$$

$$V_{out} = 1.25 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right);$$

Так як $V_{out} = 5$;

$$1.25 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 5 \Rightarrow 1 + \frac{R_2}{R_1} = 4 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 3 \Rightarrow R_2 = 3R_1$$

$$R_1 = 1 \text{ кОм; } R_2 = 3 \text{ кОм;}$$

Так як $R_{sc} = 0.3 \text{ Ом}$, а резистор з подібним номіналом набагато менш поширений ніж резистор з номіналом 1 Ом, довелося замінити 1 резистор номіналом 0.3 Го на 3 резистора номіналом 1 ом і включити їх паралельно.

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Результати розрахунків

Елемент	Номінал
C_T	100 пФ
R_{sc}	0.3 Ом
R_1	1 кОм
R_2	3 кОм
$L_{(min)}$	40мкГн
C_O	50 мкФ

Схема блока живлення вимірювального приладу наведена на рис. 3.2.

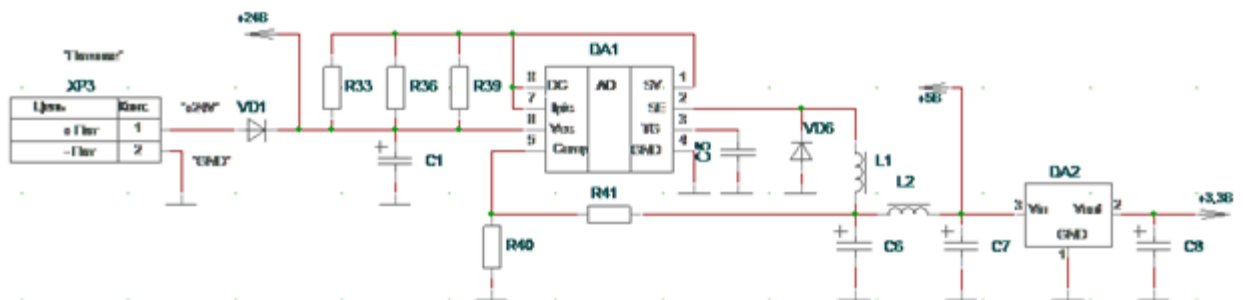


Рис. 3.2 - Схема блока живлення вимірювального приладу

ВИСНОВКИ

Робота присвячена дослідженню методів і алгоритмів реалізації вимірювальних приладів на основі мікроконтролерів.

Вимірювальні системи, реалізовані на мікроконтролері мають наступні переваги:

- *Багатофункціональність.* Заміна вимірювального комплексу (сукупності різноманітних вимірювальних приладів) одним, багатофункціональним. Така заміна в приладах з «жорсткою» логікою неекономічна. Так як додавання нової функції вимагає введення додаткового блоку. Програмована логіка дозволяє зробити це додаванням блоку програми.

- *Зменшення впливу випадкових похибок* (шляхом проведення багаторазових вимірювань з подальшою обробкою вибірки — усередненням, обчисленням мат. очікування тощо). Виявлення та усунення грубих похибок. Обчислення і індикація оцінки похибки прямо в процесі виміру.

- *Розширення вимірювальних можливостей* шляхом широкого використання непрямих і сукупних вимірювань, сприйманих оператором у цьому випадку як прямі (оскільки результат обробки на індикаторі з'являється відразу після проведення вимірювання).

- *Спрощення і полегшення управління приладом.* Все управління здійснюється з кнопкової панелі.

В ході роботи було зроблено наступне:

1. Вивчені алгоритми реалізації вимірювальних приладів на основі мікроконтролерів.
2. Вивчено методи перетворення цифрової інформації в аналогову форму. Розглянуто цифро-аналогові перетворювачі, способи їх реалізації, основні параметри і похибки.

3. Вивчені алгоритми трасування плат. Розглянуто основні принципи розв'язки сигналів і живлення ІС.
4. Вивчено можливості програмного забезпечення для створення схем і трасування плат. Були розглянуті основні можливості системи P-CAD 2006 необхідні для створення схеми електричної принципової та трасування плати.
5. Проаналізовано вимоги до приладу і підібрані необхідні компоненти.
6. Проведені розрахунки елементів обв'язки додаткових мікросхем.
7. Була створена електрична принципова схема приладу.
8. На основі електричної принципової схеми було створено два проекти, в яких було реалізовано два варіанти трасування плати

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки для виконання випускних кваліфікаційних робіт бакалавра (для здобувачів вищої освіти за напрямом підготовки 6.050103 «Програмна інженерія», 6.040302 «Інформатика»)/Укл.: Іванов В. Г., Ковальов Ю.Г., Лифар В.О. –Сєвєродонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017.– 75 с.
2. Бахтияров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи/Под ред. Г.Д.Бахтиярова — М.: Сов. радио. – 1980. – 278 с.: ил.
3. <http://easystm32.ru/stm32v1-discovery/9-acquaintance-with-stm32v1-discovery>
4. http://pcbtech.ru/pages/view_page/141
5. <http://www.xumuk.ru/bse/663.html>
6. Динц К.М., Куприянов А.А., Прокди Р.Г. Схемотехника и проектирование печатных плат. - Наука и Техника: Санкт-Петербург, 2009. – 322 с.
7. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том II: - М.: ДМК Пресс, 2007. – 942с.: ил.
8. Кичеев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры: - М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616с.: ил.
9. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/mc33063a.pdf>
10. Datasheet MCP1700.
11. <http://piclist.ru/D-MC-EEPROM-P-RUS/D-MC-EEPROM-P-RUS.html>
12. <http://www.romservice.ru/article1.html>
13. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5061.pdf
14. <http://www.ti.com/lit/ds/sbos124a/sbos124a.pdf>

15. <http://www.atmel.com/images/doc0336.pdf>
16. <http://www.mouser.com/ds/2/465/fn4910-84201.pdf>
17. ГОСТ Р 51522-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Электрическое оборудование для измерения, управления и лабораторного применения. Требования и методы испытаний
18. ГОСТ Р 51318.22. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от оборудования информационных технологий. Нормы и методы испытаний.
19. ГОСТ Р 52931–2008. Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Общие технические условия.
20. ГОСТ 26828. Изделия машиностроения и приборостроения. Маркировка

Додаток А

Схеми трасування плати
(варіант №1)

