

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ І КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«Універсальний мікроконтролерний пристрій вимірювання
електричних параметрів»

Завідувач кафедри

Керівник

Студентка гр. ЕС-71

Опанасюк А.С.

Кулик І.А.

Спичак В.О.

Суми 2021 р.

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ електроніки та інформаційних технологій

Кафедра _____ електроніки і комп'ютерної техніки

Напрямок підготовки _____ 171 Електроніка

Освітня програма _____ Електронні системи та компоненти

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою _____ Опанасюк А.С..

"__" _____ 202__ р..

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

1 Тема роботи Універсальний мікроконтролерний пристрій вимірювання електричних параметрів затверджена наказом по університету " __ " _____ 202__ р. № _____

2 Термін здачі студентом закінченої роботи _____

3 Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити) _____

1. Огляд літератури та поставлення задачі роботи. 2. Вибір та обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми пристрою. 3. Розробка функціональної схеми блоків пристрою. 4. Вибір елементної бази та розробка принципів електричних схем блоків пристрою. 5. Розробка програмного забезпечення (при необхідності)

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема електрична структурна. 2. Схема алгоритму. 3. Схема електрична функціональна. 4. Схема електрична принципова.

6 Дата видачі завдання _____

Керівник _____

Завдання прийняв до виконання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд літератури й постановка завдання проектування	27.03.21-11.04.21	
2	Синтез структурної схеми й алгоритму роботи пристрою	12.04.21-20.04.21	
3	Розробка функціональної схеми пристрою	21.04.21-28.04.21	
4	Розробка принципів схем блоків пристрою	29.04.21-14.05.21	
5	Розробка програмного забезпечення пристрою	15.05.21-25.05.21	
6	Оформлення пояснювальної записки й креслень	26.05.21-10.06.21	
7	Представлення роботи керівнику і отримання відзиву	11.06.21	
8	Представлення роботи кафедрі для отримання рецензії	14.06.21	

Студент _____

Керівник _____

"__" _____ 202__ р.

РЕФЕРАТ

Пояснююча записка 74 сторінок, 25 малюнків, 3 таблиці, 12 джерел, 1 додаток.

Ключові слова: мікроконтролер, тести, тактова послідовність, електричний режим, багатофазний генератор.

Предметом досліджень або розробок є пристрій для вимірювання генерації вхідних сигналів при тестуванні 16-розрядних мікроконтролерів.

Метод та обладнання дослідження - розробити та змодельовати пристрій для генерації вхідних сигналів під час тестування 16-розрядних мікроконтролерів із використанням сучасного програмного забезпечення САПР та електронного комп'ютера, такого як IBM PC.

Отримані результати та їх новизна - пристрій для генерації вхідних сигналів при тестуванні 16-розрядних мікроконтролерів, яке можна використовувати для встановлення електричного режиму для інтегральних схем під час випробувань, моніторингу струмів споживання та встановлення тактової частоти. Всі необхідні інструменти для генерації вхідних сигналів від мікроконтролерів об'єднані в одному пристрої.

Сфера дії - Перевірка працездатності інтегральних схем під час та після випробувань на різні впливи.

Ключові слова: МІКРОКОНТРОЛЕР, ВИМІРЮВАННЯ, ІНТЕГРАЛЬНІ СХЕМИ, ТЕСТУВАННЯ, АТМega16.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Огляд літератури і постановка завдання проектування	6
1.1 Методи вимірювання електричних параметрів приладів.....	8
1.2 Цифрові вимірювальні пристрої: будова та основні параметри	8
1.3 Постановка завдання на проектування.....	19
2 Розробка і опис структурної схеми	20
3 Розробка та опис принципової схеми	24
4 Розробка програми для мікроконтролера і моделювання.....	28
4.1 Розробка алгоритму роботи програми	28
4.2 Розробка програми для керуючого мікроконтролера.....	31
4.3 Моделювання розроблюваного пристрою.....	29
5 Розробка друкованих плат пристрою формування.....	34
5.1 Розробка друкованої плати керуючої частини.....	34
5.2 Розробка друкованої плати блоку живлення.....	38
Висновок	42
Список літератури	43
Додаток А.....	44

					ЕЛІТ 6.171.00.10269 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум	Підпись	Дата				
Разраб		Спичак В.О.			Універсальний мікроконтролерний пристрій вимірювання електричних параметрів	Литера	Лист	Листов
Пров		Кулик І.А.					3	64
Н. Контр.					СумДУ, гр. ЕС-71			
Утв		Опанасюк А.С.						

ВСТУП

Однокристалні мікроконтролери широко використовуються для побудови радіоелектронних пристроїв найрізноманітнішого призначення. Використання в сучасному мікроконтролері достатнього потужного обчислювального пристрою з широкими можливостями, побудованого на одній мікросхемі замість цілого набору, значно знижує розміри, енергоспоживання і вартість побудованих на його базі пристроїв. Мікроконтролери використовуються в управлінні різними пристроями і їх окремими блоками:

В обчислювальній техніці: материнські плати, контролери дисководів жорстких і гнучких дисків, CD і DVD;

В електроніці та різноманітних пристроях побутової техніки, в якій використовується електронні системи управління - пральних машинах, мікрохвильових печах, посудомийних машинах, телефонах і інших сучасних приладах.

У промисловості: пристрою промислової автоматики - від програмованого реле і вбудованих систем до програмованих логічних контролерів систем управління верстатами.

Так як мікроконтролери застосовуються в різних областях, то вони в процесі експлуатації піддаються різним впливам: підвищеної вологості повітря, зниженого або підвищеного атмосферного тиску, високій або низькій температурі і т.д. Отже, на етапі розробки необхідно враховувати область застосування розроблених мікроконтролерів, а також здійснювати контроль відповідності мікросхем тим чи іншими параметрами. Для відбракування несправних мікросхем і контролю їх параметрів, на стадіях розробки та виробництва, мікросхеми піддають різним випробуванням.

В процесі випробування мікроконтролерів різними впливами, необхідна установка певного електричного режиму. Режим задається відповідно до технічного завдання на випробовувані мікросхеми і має на увазі:

										Лист
										4
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

- подачу напруги живлення ядра і периферії; - подачу синхронізуючих сигналів;

- подачу сигналу «скидання».

Функціональні генератори з можливістю регулювання амплітуди і шпаруватості вихідних імпульсів, тільки частково можуть забезпечити необхідний режим, так як в них немає стабілізованого джерела напруги, а так як випробування проводяться в різних умовах, а іноді є необхідність провести випробування на виїзді, то використання декількох приладів стає неможливим або істотно збільшує витрати на транспортування. В такому випадку виникає потреба розробки компактного портативного пристрою, що включає в себе тільки необхідні для випробувань функції.

Прямим аналогом розроблюваного устрою є задатчик електричних режимів ЗЕР-002, але в ньому не передбачена індикація частоти, а також є всього один вихід синхросигналу. У розробляється пристрої планується введення додаткових синхроімпульсів зміщених від основного по фазі, такі послідовності можуть бути використані для тактування швидкодіючих ІМС, що використовують до восьми фаз тактових імпульсів. Буде здійснюватися індикація частоти і шпаруватості, всіх вихідних напруг і струму споживання випробовуваних мікросхем. Індикація частоти і шпаруватості стане можливою, завдяки застосуванню в якості задаючого генератора - мікроконтролера, керуючи програмою якого, можна отримати різні види вихідних сигналів.

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

1 Огляд літератури і постановка завдання проектування

1.1 Методи вимірювання електричних параметрів приладів

При проектуванні приладу електровимірювання необхідно добре розуміти фізичні процеси що протікають в ньому, знати їх закономірності і зв'язки між характеризують їх величинами.

У фізиці прийнято основними електричними величинами вважати силу струму (I), напругу (U) і опір (R). Ці три величини пов'язані між собою законом Ома – сила струму в однорідному ділянці ланцюга прямо пропорційна напрузі на цій ділянці та обернено пропорційна опорю цієї ділянки [7]:

$$I = U/R$$

Вимірювання цих трьох величин і є завданням найпростішого мультиметра.

В основі роботи будь-якого приладу електровимірювання лежить дія електричного поля на заряджені частини. Джерелом самого поля є також заряджені частини. Переважна більшість елементів електричних і електронних схем виготовляється з металевих або напівпровідникових матеріалів, носіями електричного струму в яких є електрони. Електричний струм в цих матеріалах є спрямований рух електронів під дією прикладеного до матеріалу електричного поля. Відзначимо тут, що використовуваний у фізиці і техніці напівпровідників термін «дірки» відноситься не до реальних фізичних об'єктів, а позначає лише відсутність електрона в даному місці. Уявний об'єкт «дірка» з позитивним електричним зарядом, рівним модулю заряду електрона, введений виключно для зручності математичного опису та спрощення інтерпретації деяких фізичних процесів в напівпровідникових пристроях.

В якості основної характеристики електричного поля зазвичай використовується напруга, тому часто кажуть, що електричний струм виникає під дією прикладеного до провідника напруги.

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

Споріднені напрузі величини – потенціал, різниця потенціалів, електрорушійна сила. Всі ці величини визначаються роботою, яку здійснюють при переміщенні одиничного електричного заряду і вимірюються в одних і тих же одиницях - вольтах (В). При аналізі електронних схем часто використовують вислів «потенціал в точці дорівнює ...». Необхідно мати на увазі, що насправді мова йде про різницю потенціалів між цією точкою і точкою, для якої потенціал умовно прийнятий рівним нулю. Відповідно до одного з положень електростатики, потенціали всіх точок провідника однакові. Це дозволяє вводити в електричні і електронні схеми провідник, званий нульовим або «землею». По відношенню до цього провідника і визначаються потенціали всіх інших точок схеми.

Для роботи електронних схем, як правило, необхідно «живлення», тобто джерело електричного поля (зазвичай називається джерелом струму), яке змусить електрони переміщатися, створюючи електричний струм. Якщо вимірюються напруга або сила струму в зовнішньому по відношенню до вимірювального приладу ланцюгу, то джерелом поля є сам ланцюг. Якщо ж вимірюються такі параметри, як електроопір резистора або ємність конденсатора, то необхідне самостійне джерело струму.

Як було сказано, електричне поле зазвичай створюється електрично зарядженими об'єктами. Не все речовини в нормальному стані електрично нейтральні, хоча і складаються з електрично заряджених частинок. Отже, завдання джерела струму – просторово розділити різнойменні заряди, створюючи тим самим між ними електричне поле. Таке завдання вирішується за допомогою сил неелектростатичного походження, які називаються сторонніми силами.

Основна характеристика джерела струму - електрорушійна сила (ЕРС). Для «живлення» електронних схем найчастіше використовуються гальванічні джерела струму, в яких поділ зарядів здійснюється за рахунок хімічних реакцій. ЕРС одиничного гальванічного джерела (елемента) зазвичай невелика

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

і складає близько 2 В. В разі потреби елементи з'єднуються в групі (як правило послідовно) - батареї елементів.

1.2 Цифрові вимірювальні пристрої: будова та основні параметри

Мультиметр – електронний вимірювальний пристрій, який об'єднує в собі кілька функцій: амперметр, вольтметр і омметр [9]. Застосовується для того, щоб вимірювати напругу і силу постійного або змінного струму, а також в деяких випадках і опору.

Мультиметри можна поділити на 2 групи:

- цифрові;
- аналогові.

Результат вимірювань аналогових мультиметрів показується за допомогою традиційної шкали зі стрілкою. Вони і в даний момент зберігають актуальність, так як мають можливість працювати і при сильних радіоперешкодах, на відміну від цифрових мультиметрів.

До складу аналогового мультиметра входить стрілочне магнітоелектричний вимірювальний пристрій [10]. В основі магнітоелектричних приладів лежить вимірювальний механізм, обертаючий момент в якому створюється в результаті взаємодії магнітного поля постійного магніту і магнітного поля дротів з струмом, конструктивно виконується у вигляді рамки (катушки). У практичних конструкціях вимірювального механізму нерухома частина, як правило, магніт, а рухлива - катушка, хоча бувають прилади також з рухомим магнітом і нерухомою катушкою. На Рис. 1 схематично зображено найбільш поширена конструкція вимірювального механізму - з зовнішнім підковоподібним магнітом.

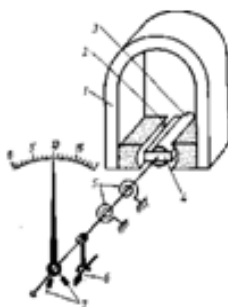


Рисунок 1.1 - Магнітоелектричний вимірювальний механізм: 1 - підковоподібний постійний магніт, 2 - полюсні наконечники, 3 - нерухомий сердечник, 4 - котушка, 5 - спіральні пружини, 6 - ексцентричний гвинт, 7 - противаги

Як видно з Рис. 1.1, в якості магнітної системи виступає постійний магніт 1, полюсні наконечники 2 з циліндричною розточкою і нерухомий сердечник 3 циліндричної форми. Між сердечником і полюсними наконечниками в повітряному зазорі утворюється магнітне поле, де вільно може повертатися котушка 4, яка складається з тонкого мідного дроту, намотаного на паперовий або алюмінієвий каркас прямокутної форми. При проходженні струму по котушці внаслідок дії на неї сили Ампера виникає крутний момент. Протидіючий момент утворюється спіральними пружинами 5 (або розтяжками). Стрілка встановлюється в певне положення при рівності цих моментів. Ексцентричний гвинт 6 є коректором для початкової установки стрілки на нуль. Противаги 7 служать для балансування рухомої частини приладу.

На відміну від цифрових мультиметрів у аналогових немає автоматичного визначення полярності напруги, що зменшує зручність використання.

Відображення результатів вимірювань в цифровий мультиметр реалізується на цифровому дисплеї. Його наявність дозволило поліпшити наочність зчитування вимірюваної величини і підвищити точність вимірювань [12]. Наприклад, в аналогових пристроях результат вимірювань залежить від кута, під яким користувач дивиться на шкалу.

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

Майже всі сучасні мультиметри випускаються в цифровому вигляді. Розрядність цифрових мультиметрів від 2,5 (точність близько 10%) цифрових розрядів до 5 і більше. Але найбільш поширені мультиметри з розрядністю 3,5 (точність в районі 1%). Також випускають пристрої, що мають розрядність 4,5 (точність зазвичай близько 0,1%) і ще більш дорогі пристрої з розрядністю 5 і більше, їх точність залежить від діапазону вимірювання і виду величини, яку вимірюють. Такі пристрої, незважаючи на портативність, мають точність, яка може перевищувати 0,01%.

Точність є однією з основних характеристик при виборі і класифікації мультиметрів. Зазвичай в буклетах вказують базову похибка, проте вона не дає уявлення про реальні значення точності. Це викликано тим, що значення похибки залежить від діапазону вимірювання.

Розглядаючи точність мультиметрів, необхідно згадати способи збільшення точності вимірювання, що реалізуються, проте, не у всіх приладах. Збільшення точності особливо необхідно при вимірюванні малих значень величин і на молодших діапазонах [3].

Серед можливостей даних цифрових мультиметрів варто згадати про функції, що дозволяють працювати в режимі з низьким опором.

Вхідний імпеданс багатьох мультиметрів має значення, яке перевищує 1 МОм. У режимі роботи низького імпедансу на вході використовується малий опір, це пригнічує паразитні напруги. Отже, зменшується ймовірність неправильних вимірювань і тому точність приладу підвищується. Тому необхідно використовувати даний режим, якщо в напрузі є наведення. Чим більше внутрішній опір, тим точніше буде виміряна величина напруги. Вхідний опір ідеального вольтметра має бути нескінченно великою.

Працювати при низькому імпедансі можуть деякі моделі мультиметрів Fluke (наприклад, Fluke 114, Fluke 116, Fluke 117, Fluke 289) і Agilent (U1272A). Позначення такого режиму у Fluke - «LoZ», а у Agilent позначається «Z-low» [5].

										Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						10

Можливо розглянути і інші способи підвищення точності, на прикладі вищезгаданого мультиметра Agilent U1272A. У цього мультиметра, крім низькоімпедансного режиму, є такі функції, як фільтрація низьких частот і «SmartOhm».

Фільтрація низьких частот необхідна для того щоб придушувати шум, який впливає на показання при вимірюванні напруги і сили струму. Режим «SmartOhm» дає можливість отримувати більш точні результати вимірювань, при цьому зводить до мінімуму похибки, які викликані струмами витоку. Ще одна важлива особливість при виборі мультиметра це діапазон. Його можна вибрати вручну або використовуючи функції автоматичного вибору діапазонів. Якщо вибір діапазону автоматичний, прилад сам може вибрати діапазон виміру ґрунтуючись на величині вхідного сигналу. Головна зручність для користувача в тому, що йому не потрібно вручну перемикати межі вимірювання. Якщо ж режим ручний, то користувач повинен сам вибрати діапазон, а це дає можливість проводити вимірювання в потрібному діапазоні з заданою точністю та контролювати вихід вимірюваної величини за його межі.

Якщо вимірювана величина виходить за межі обраного діапазону на дисплеї пристрою з'являється відповідний напис або значок в залежності від моделі, також можливий і звуковий сигнал. У багатьох моделях реалізовані і ручний і автоматичний вибори діапазонів, але в приладах економ-класу бувають винятки. У розроблюваного пристрою вибір діапазону вимірювань здійснюється на комп'ютері користувачем.

Режим відносних вимірів (дисплей показує різницю між раніше заданим значенням і поточним результатом вимірювань, тобто різниця між виміряним значенням і заданим опорним значенням) мається на прецизійних і професійних мультиметрах, в моделях економ-класу немає даної функції. Отже, є ще одна відмінність між групами мультиметрів і ще один фактор, що вимагає особливої уваги споживача при виборі приладу - це функціональність.

Щоб краще зрозуміти можливості цифрових мультиметрів і відмінності різних груп приладів приведена порівняльна таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 - Порівняння функціональних можливостей різних груп мультиметрів

	АММ-1139	АМ-1108	АМ-1118	АМ-1142	АМ-1009	АММ-1009
Група	Прецизійні		Професійні		Економ-клас	
Розрядність дисплея	40000/4000	51000	6000	6600	1999	3999
Базова погрішність	0,06 %	0,2 %	0,5 %	0,5 %	1,50 %	0,5 %
TrueRMS	+	-	-	+	-	-
Фіксація Max, Min	+	+	+	-	-	-
Запам'ятовування показників HOLD	+	+	+	+	+	-

Наочно видно відмінності: розрядність дисплея у прецизійних мультиметрів більше, тому краще роздільна здатність (мінімальна показувана величина), точність краще (значення похибки менше), прецизійні і професійні вимірюють справжнє середньоквадратичне значення (TrueRMS) змінного струму і напруги, більше інших режимів і функцій по порівняно з іншими мультиметрами. У моделях економ-класу режим відносних вимірювань недоступний, а професійні і прецизійні моделі мають його.

Така ж ситуація з функцією фіксації мінімальних і максимальних значень. Цей режим необхідний, коли зміна значення вимірюваної величини досить динамічна і необхідно відстежувати граничні значення величин.

Варіант статистичної обробки - це обчислення середньої величини. Ця функція є в ручних приладах рідко, реалізована вона в прецизійних мультиметрах, наприклад, в АМ-1108.

В цьому режимі обробка вимірних даних неперервна з моменту початку активації функції, далі виводиться висновок на дисплей обчисленого поточного середнього значення.

У розроблюваного мультиметри є інша функція - комп'ютерне управління. Користувач може вибирати на екрані комп'ютера що саме необхідно виміряти (силу струму або напругу), тип вимірюваного струму і діапазон вимірювань. Відмінністю також є те, що результат вимірювання теж відображається на екрані комп'ютера.

Розглянемо за допомогою чого відображаються вимірні величини в звичайних мультиметрах. Зазвичай цифрове табло мультиметрів буває у вигляді рідкокристалічного дисплея, але також є моделі з іншими типами індикаторів, наприклад, з OLED-дисплеями, які дозволяють бачити вимірювану величину під кутом 160° , але дані пристрої коштують дорожче. Майже всі цифрові мультиметри мають підсвічування дисплея, наприклад, біле, зелене чи синє.

У 90-х роках минулого століття, деякі моделі мультиметрів створювалися з графічної сегментованою шкалою (Рис. 1.2), яка нагадує стрілочний індикатор за принципом дії (часто, така шкала в пристроях називається аналоговою, що в загальному випадку не зовсім вірно, адже шкала на індикаторі дискретна і ці дискрети видно, а аналогова шкала повинна бути неперервна за визначенням). Графічна шкала в приладі уможливило відстежувати динаміку швидких процесів при вимірюванні (аналог коливань стрілки в стрілочних пристроях). У різних типах пристроїв графічна шкала буває зазвичай від 30 до 70 дискретов. Швидкість поновлення до 30 вимірювань в секунду.



Рисунок 1.2 - Дисплей з графічної шкалою

Відзначимо, що створюються нові проекти іншого підходу до дисплеїв цифрових мультиметрів - відображення форми вимірюваного сигналу (як на екрані осцилографа). При цьому є модель приладу зі знімним дисплеєм - мультиметр FLUKE 233 (Рис. 1.3). Це рішення дає можливість рознести вимірювальну і демонстративну частини на відстань до 10 метрів. Дана модель пристрою не дешева.



Рисунок 1.3 - Мультиметр зі знімним дисплеєм - FLUKE 233

У ряду пристроїв є кілька груп цифр на індикаторі. До таких, наприклад, відносяться моделі АКТАКОМ АММ-1139, АММ-1062, АМ-1152, АМ-1018 і АМ-1109. У основного цифрового індикатора зазвичай великі за розміром цифри і велика розрядність, а на другому можливо відобразити два, а навіть три цифрових значення. У різних моделях другий цифровий індикатор має різну функціональність. На другому індикаторі можливе відображення зафіксованого максимального і мінімального значення. Окремо в цьому переліку стоїть мультиметр АКТАКОМ АМ-1109 (Рис. 1.4).



Рисунок 1.4 - Двоканальний мультиметр АКТАКОМ АМ-1109

										Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						14

В цілому АМ-1109 є унікальним приладом, яким немає аналогів. Відмінність його в тому, що у приладу два вимірювальних канали, що робить можливим проведення одночасних вимірювань і відображення відразу двох величин. Індикаторний блок у вигляді дворядкового ЖК індикатора по 60000 відліків на кожен канал і графічну шкалу на 30 сегментів. Крім цього, у приладу є гальванічно розв'язаний інтерфейс для передачі даних на комп'ютер. У АМ-1109 висока точність вимірювання (до 0,06%), відноситься він до класу прецизійних мультиметрів.

Зазвичай, за точністю і розрядністю групують прилади по споживчих категоріям:

- мультиметри економ-класу;
- мультиметри професійні;
- мультиметри-калібратори;
- мультиметри прецизійні.

До даної класифікації також відносяться і спеціалізовані мультиметри.

У мультиметрів є пара виводів - чорний і червоний (чорний для того, щоб з'єднувати із заземленням, червоний - з позитивним потенціалом), виводи закінчуються металевими щупами. У маленьких, кишенькових моделях можливо фіксація виводів прямо в пристрої, але найчастіше їх можна від'єднувати від мультиметра.

На Рис. 1.5 представлена функціональна схема мультиметра.

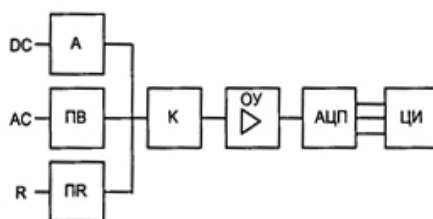


Рисунок 1.5- Функціональна схема мультиметра:

А - атенюатор, ПВ - прецизійний випрямляч, ПР - перетворювач, К - комутатор вимірюваних сигналів, ОУ - операційний підсилювач, АЦП - аналого-цифровий перетворювач, ЦІ - цифровий індикатор

Різні вимірювальні перетворювачі підключаються до входів комутатора. Атенюатор перетворює постійне високорівневу напругу в постійну, більш низького рівня напругу.

Прецизійний випрямляч перетворює змінну напругу (струм) в постійну напругу.

Перетворювач служить для перетворення опору в напругу постійного струму. Зазвичай це прецизійний джерело постійного струму, що задається через вимірюваний опір і реалізує на ньому падіння напруги.

Тому, у мультиметра є можливість вимірювати напругу і силу постійного і змінного струму, а також опір. Чим більша кількість перетворювачів входить в пристрій, тим дорожче мультиметр і складніша внутрішня будова. Варто зазначити, що для створення типових цифрових мультиметрів випускають спеціалізовані інтегральні мікросхеми, які містять практично всі згадані вузли. Внаслідок цього часто мультиметри різних виробників по метрологічним і електричним характеристикам подібні. Вони як правило різняться розрядністю дисплея і похибкою. Чим менше похибка, тим більше вартість приладу, його габарити і маса. Великі габарити і маса свідчать про застосування прецизійних резисторів і конденсаторів, їх габарити і маса більше, ніж у звичайних компонентів.

Деякі прилади оснащують спеціальними засобами для того, щоб прозвонювати ланцюг зі звуковою індикацією (за умови, що опір ланцюга менш заданого, номінал якого становить десятки Ом), також вони можуть тестувати мікросхеми різної логіки, перевіряти діоди і транзистори. Це реалізують зазвичай, задаючи в базу стабільний невеликий струм і вимірюючи струм колектора, який пропорційний коефіцієнту передачі струму бази. У деяких мультиметрах міститься генератор тестових сигналів на кілька частот.

Вольтметр служить для вимірювання напруги постійного або змінного струму. Вольтметр з високим вхідним опором можна реалізувати за допомогою неінвертуючого підсилювача. Пристрій підключається за допомогою буферного підсилювача з високим вхідним опором до

											Лист
											16
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата							

вимірювального ланцюга. В наслідок цього вхідний опір вольтметра практично визначається вхідним опором підсилювача.

На рис 1.6. представлена структурна схема аналогового електронного вольтметра, що містить 4 основні блоки: атенюатор, буферний підсилювач, індикатор і вимірювальний перетворювач.



Рисунок 1.6 - Структурна схема аналогового електронного вольтметра

На атенюатор, що забезпечує приведення вхідного сигналу до конкретного, єдиного, прийняттого для буферного підсилювача, подається вимірювана напруга. Перетворений сигнал надходить на вхід даного підсилювача.

Резистивний дільник напруги - це основа атенюатора. Так як вхідний імпеданс буферного підсилювача досить великий, дільник напруги майже не навантажений. Тому його можливо створити на основі великих опорів, що забезпечить високий вхідний опір вольтметра.

Буферний підсилювач, який має великий вхідний опір погоджує вхідні кола вольтметра з вимірювальним перетворювачем. Його виконання можливе за схемою неінвертуючого підсилювача.

Вимірювальний перетворювач служить для того, щоб формувати інтегральне (середнє або діюче) значення сигналу, який вимірюється. Інтегральне значення, яке сформовано перетворювачем демонструється індикатором. Градування реалізується в діючих значеннях сигналу. Чинне значення напруги змінного струму дорівнює напрузі такого постійного струму, при якому виділяється за той же час така ж кількість енергії, що і при вимірюваному напрузі змінного струму[2]. Тип вимірювального перетворювача повинен бути позначений на шкалі пристрою.

У цифрових вольтметрах дискретні сигнали вимірювальної інформації, які представлені в цифровій формі, виробляються автоматично. У сучасних цифрових вольтметрів є висока точність, велика швидкодія, можливість використовувати в вимірювально-обчислювальних системах. У цифрових вольтметрів такі ж методи вимірювання напруги, як і в аналогових вольтметрах. Формально структурна схема цифрового вольтметра відрізняється від відповідної структурної схеми аналогового вольтметра наявністю АЦП.

Амперметр - пристрій для вимірювання струму в ланцюзі, яке включається в цей ланцюг послідовно. Принцип дії і конструкції амперметра і вольтметра аналогічні. Основна відмінність між ними полягає в тому, що внутрішній опір вольтметра має бути великим (в принципі, нескінченно великим), а у амперметра малим (в принципі, прагнути до нуля). Для розширення меж вимірювання амперметра, використовують шунти - резистори з дуже малим опором. Це можуть бути, наприклад, манганінові пластини або стрижні, які упаяні в мідні або латунні наконечники. Включення шунта в ланцюг послідовне. Амперметр включається паралельно йому.[8]

У цифрових амперметра, наприклад, такому як амперметр АМ-3 (Рис. 1.7), величина струму визначається за допомогою спеціального аналого-цифрового перетворювача, який перетворює струмовий сигнал в послідовність цифрових кодів, що відображаються на екрані пристрою у вигляді числового значення.



Рисунок 1.7 - амперметр АМ-3

1.3 Постановка завдання на проектування

Об'єкт дослідження або розробки - пристрій формування вхідних сигналів при випробуванні 16-розрядних мікроконтролерів.

Мета роботи - розробка пристрою формування вхідних сигналів при випробуванні 16-розрядних мікроконтролерів.

Метод дослідження та апаратура - розробка і моделювання пристрою формування вхідних сигналів при випробуванні 16-розрядних мікроконтролерів з використанням сучасних САПР і електронно-обчислювальної машини типу ІВМ РС.

Отримані результати і їх новизна - пристрій формування вхідних сигналів при випробуванні 16-розрядних мікроконтролерів, що дозволяє задавати електричний режим для ІМС при їх випробуванні, контролювати струми споживання, задавати частоту тактування. В одному приладі об'єднані всі необхідні інструменти для формування вхідних сигналів мікроконтролерів.

Область застосування - перевірка працездатності інтегральних схем під час і після проведення випробувань на різноманітні впливи.

								Лист
								19
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата				

2 Розробка і опис структурної схеми

При розробці структурної схеми необхідно врахувати всі функції розроблюваного пристрою, а саме:

- регулювання частоти, шпаруватості і амплітуди вихідних імпульсів;
- візуальна індикація частоти і шпаруватості;
- можливість дистанційного контролю сили струму споживання випробовуваної мікросхеми;
- можливість регулювання напруги живлення.

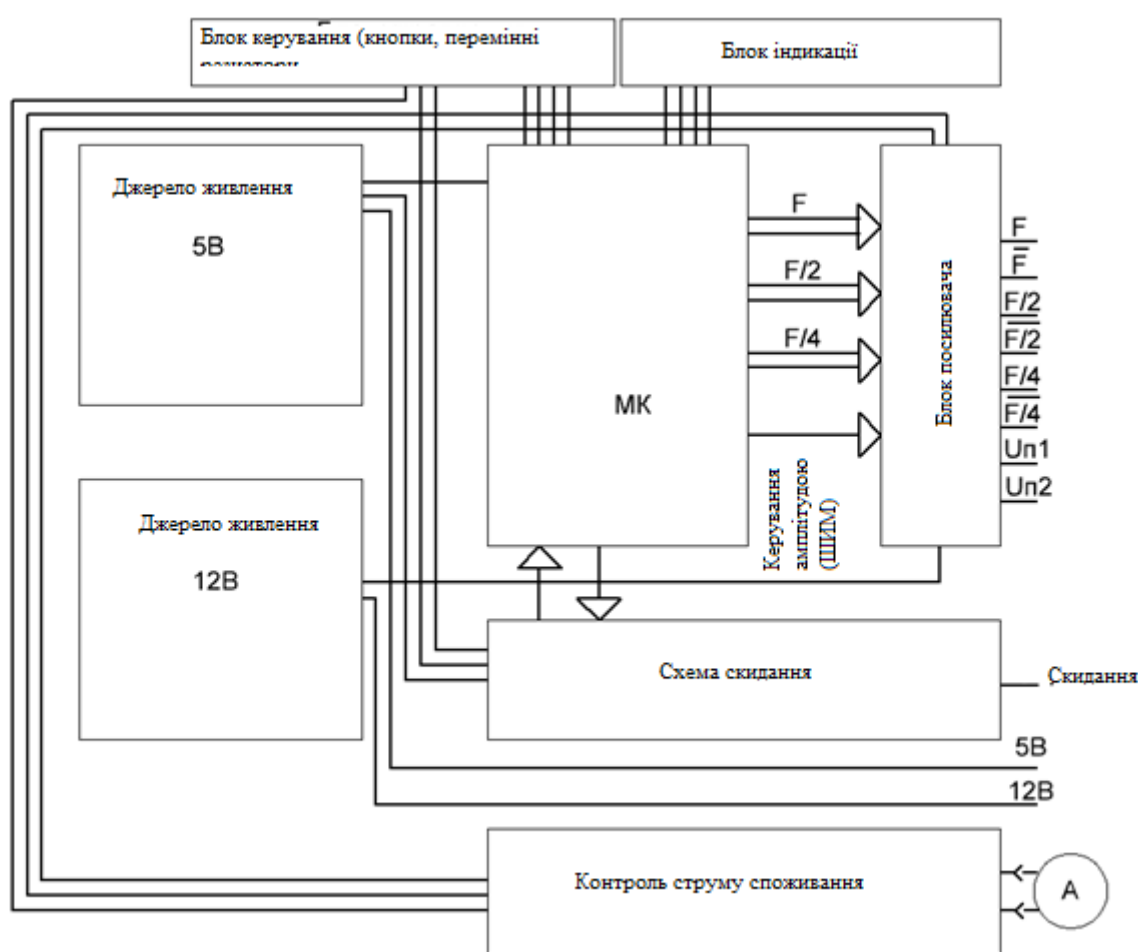


Рисунок 2.1 - Структурна схема пристрою формування вхідних сигналів

Основою пристрою є восьмизарядний мікроконтролер, в ньому виконується програмне керування частотою вихідних імпульсів і управління

шпаруватістю. Регулювання цих параметрів проводиться з використанням індикатора і кнопок управління. Частота регулюється з кроком 10 - 10000Гц, шпаруватість від 12 до 90%. [1]

Блок індикації дозволяє задавати всі параметри сигналів - візуально.

Блок підсилювача необхідний для збільшення амплітуди вихідних імпульсів мікроконтролера, а також задавання зміщення.

Схема скидання необхідна для забезпечення подачі сигналу «скидання» на використовуваному мікроконтролері.

Контроль струму споживання випробовуваних мікросхем, буде здійснюється шляхом підключення до пристрою зовнішнього амперметра і перемиканням приладу в режим вимірювання струму споживання.

Виходи F - виходи тактового генератора, вісім виходів, сигнал кожного з яких зрушають на 45 градусів щодо попереднього.

Вихід HF - високошвидкісний вихід для отримання синхросигналу від 1 до 8 МГц.

Up1 - регульоване напруга (2-5В) для живлення ядра випробовуваної ІМС.

Up2 - регульоване напруга (3-10В) для живлення периферійних пристроїв, що випробовується ІМС.

Джерело живлення $\pm 12\text{В}$ необхідний для живлення операційних підсилювачів в блоці посилення, 5В - живлення керуючого контролера і інформаційного дисплея.

3 Розробка та опис принципової схеми

При розробці принципової схеми враховуються параметри окремих блоків структурної схеми. Керуючий мікроконтролер повинен володіти достатнім обсягом пам'яті програм, мати восьмизарядний порт, володіти низьким енергоспоживанням і невисокою ціною. В якості керуючого мікроконтролера обраний восьмизарядний мікроконтролер ATmega16 фірми Atmel, він відповідає перерахованим вимогам, а його програмування не складає труднощів так як більшість компіляторів для цього мікроконтролера підтримують мови програмування високого рівня. Для індикації режимів роботи пристрою використовуватимемо двухрядковий шістнадцяти символний індикатор 1602В. Вибір обумовлений тим, що енергоспоживання символних ЖК - індикаторів істотно нижче, ніж у світлодіодних, а для сполучення індикатора і мікроконтролера вже розроблені бібліотеки. [4]

В ATmega16 реалізовано програмне керування частотою і шпаруватістю восьми каналів вихідних синхроімпульсів зміщених одна відносно іншої по фазі. Управління режимами роботи пристрою буде здійснюватися п'ятьма кнопками.[6]

Перемикання між пунктами меню буде здійснюватися кнопками «вгору» і «вниз», включення генератора кнопкою «введення», управління частотою і кроком кнопками «вправо» і «вліво».

Схема скидання буде реалізована на спеціальній мікросхемі МАХ6804, вона генерує сигнал скидання при подачі напруги живлення на які відчують схеми, що дозволяє забезпечити їх правильну роботу, при зниженні напруги живлення, а також при натисканні кнопки «скидання». Мікросхема МАХ6804 повністю підходить для даного завдання і має низьку вартість. Рекомендована заводом-виробником схема включення мікросхеми МАХ6804 показана на рис. 3.1.

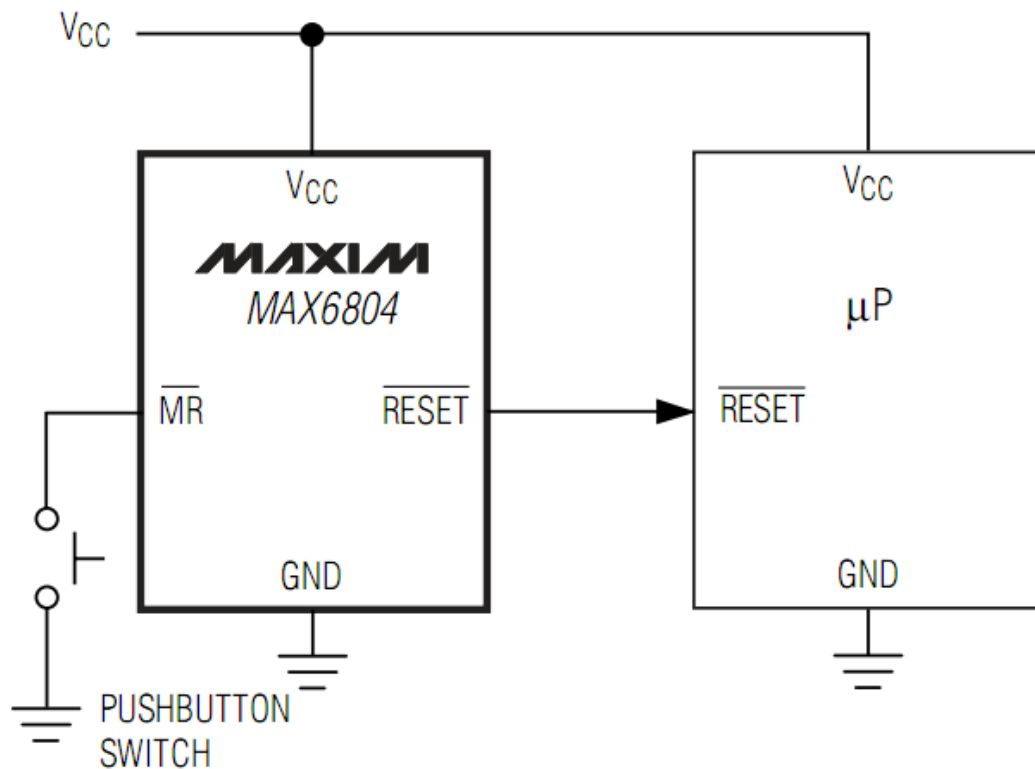


Рисунок 3.1 - Схема включення мікросхеми скидання MAX6804

Блок живлення пристрою формування вхідних сигналів необхідний для подачі напруги живлення як на керуючий мікроконтролер, схему скидання, індикатор і підсилювальні каскади, так і на які відчують ІМС. Тому він повинен мати достатні навантажувальними характеристиками.

Блок живлення буде виконаний на трансформаторі ТП-6014, який має три вторинних обмотки, що дозволяє живити пристрій формування і відчують мікросхеми незалежно. До того ж він має достатню потужність. Принципова схема пристрою формування вхідних сигналів при випробуванні 16-ти розрядних мікроконтролерів показана на рис. 3.2.

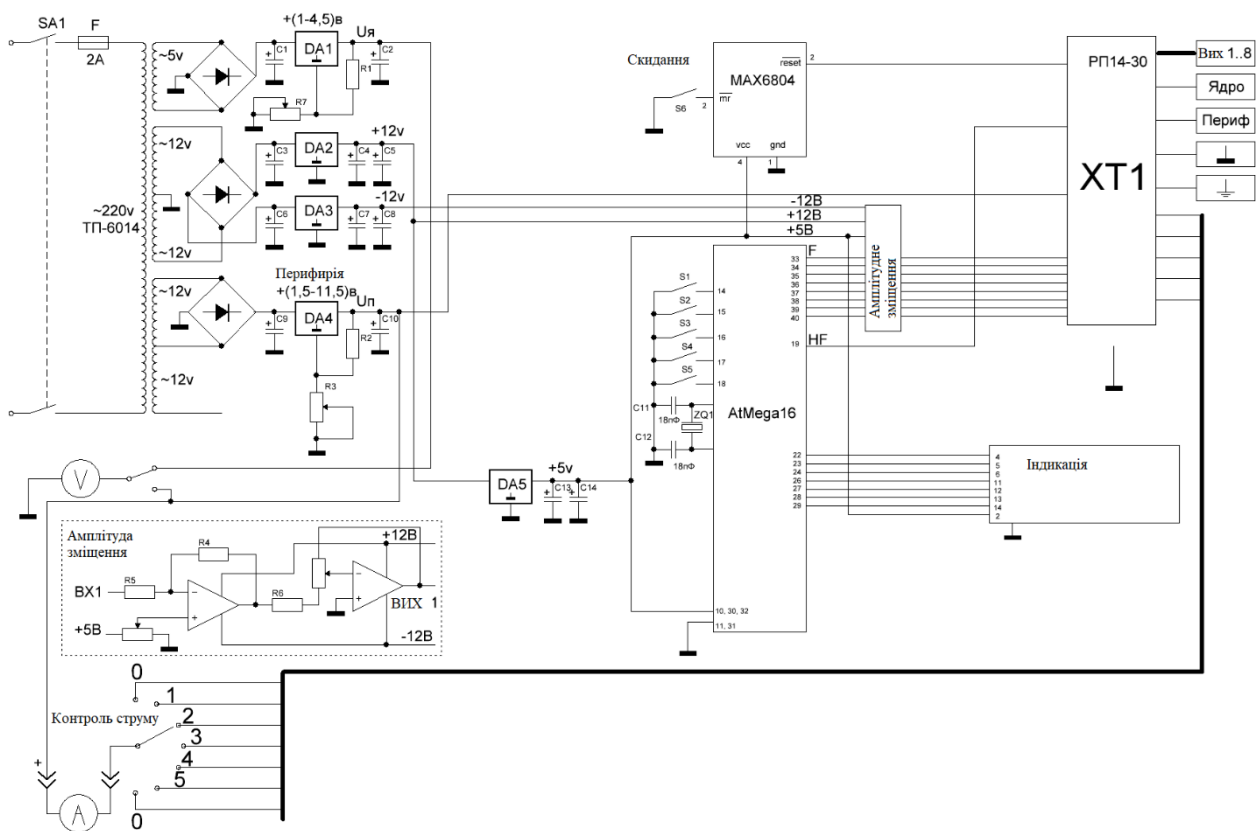


Рисунок 3.2 - Принципова схема пристрою формування вхідних сигналів

На першій вторинній обмотці трансформатора ТП-6014 реалізований джерело живлення для ядра випробовуваних мікросхем, регулювання вихідної напруги організована на регульованому стабілізаторі напруги DA1 і дозволяє змінювати його в межах від 1,5 до 4,5 вольт. На другий вторинної обмотці трансформатора реалізований стабілізований двох полярний блок живлення для керуючого мікроконтролера, мікросхеми скидання і каскадів, вихідні напруги джерела +/- 12 вольт і 5 вольт. На третій обмотці трансформатора реалізований регульований джерело живлення для периферії випробовуваної ІМС, регулювання вихідної напруги проводиться в діапазоні від 1,5 до 11,5 вольт.

Регулювання амплітуди і зсуву вихідних імпульсів реалізована на операційних підсилювачах LM358N . Регулювання зміщення здійснюється в діапазоні від 5В до 5В, а регулювання амплітуди від 0 до 10В. Зв'язок пристрої

з випробовуються мікросхемами буде здійснюватися через роз'єм РП14-30, а також через стандартизовані приладові розетки СР-50-73 ПВ.

Контроль струму споживання випробовуваних мікросхем буде реалізований шляхом підключення до клем пристрою зовнішнього амперметра, перемикавання харчування між мікросхемами буде здійснюватися галетним перемикачем.

Розходження тактових сигналів по фазі необхідний для того, щоб знизити викиди струму при роботі декількох випробовуваних мікросхем до пристрою формування.

							Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			25

4 Розробка програми для мікроконтролера і моделювання

4.1 Розробка алгоритму роботи програми

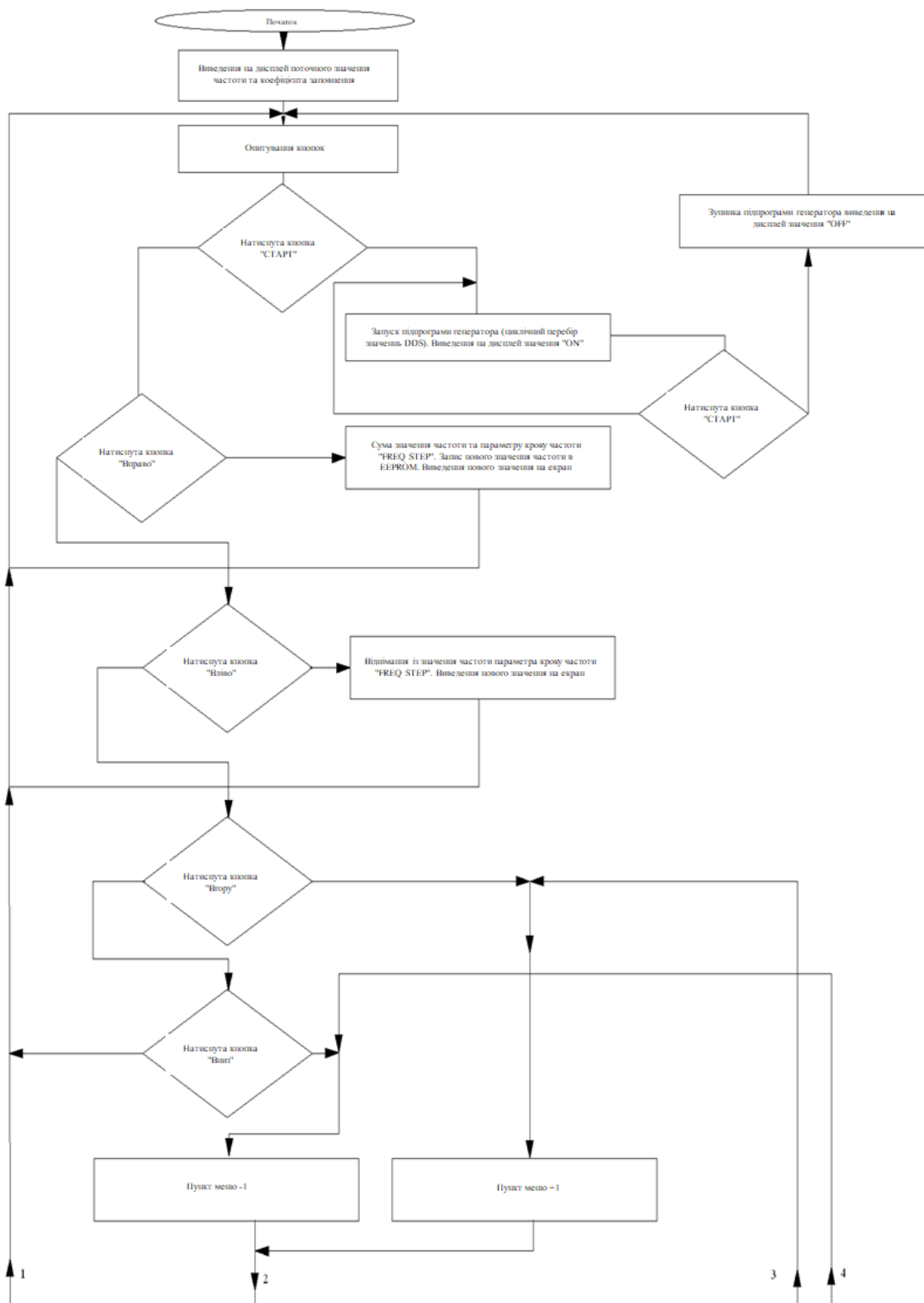


Рисунок 4.1. - Алгоритм роботи програми управління мікроконтролером.

Коли пристрій увімкнено, дисплей ініціалізується і відображаються значення частоти та робочого циклу з енергонезалежної пам'яті мікроконтролера. Це відображається разом із словом "OFF", що вказує на те, що генератор в даний момент вимкнено.

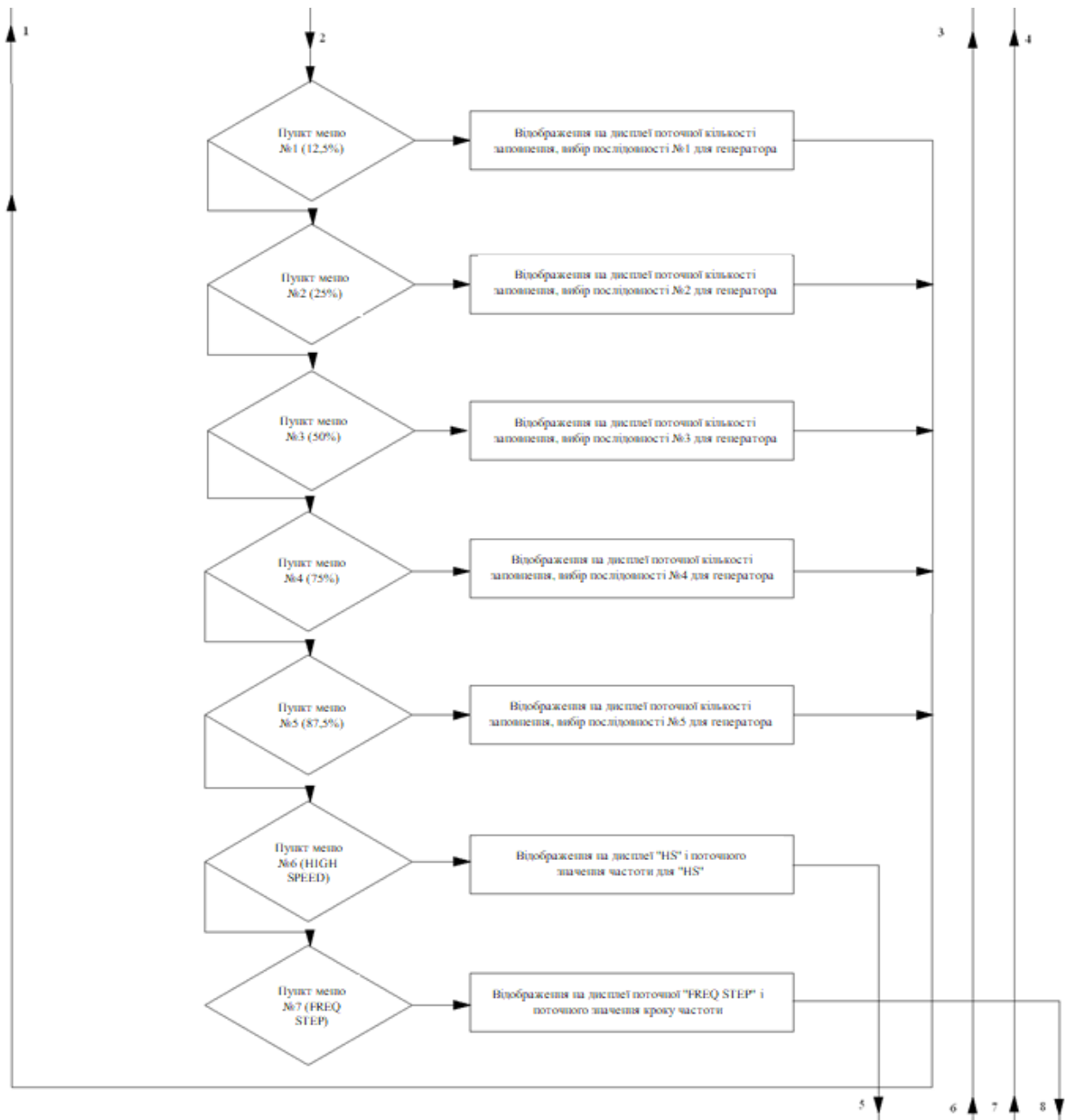


Рисунок 4.2 - Алгоритм керуючої програми мікроконтролера
(продовження)

Після увімкнення мікроконтролер виконує основний цикл програми та запитує стан кнопок на наявність натискань. При натисканні однієї з клавiш

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

мікроконтролер перемикається на виконання підпрограм, які відповідають кожній окремій клавіші.

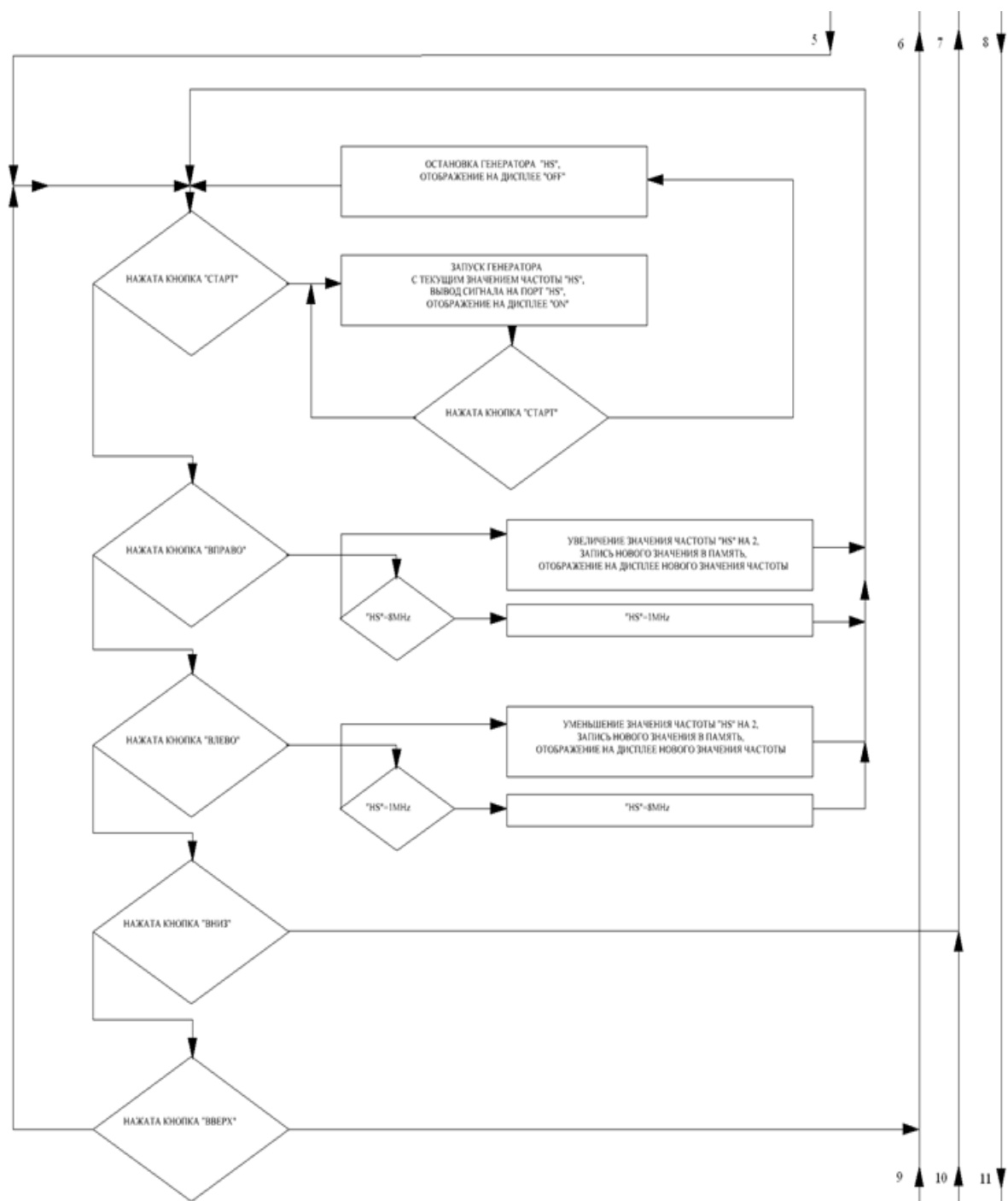


Рисунок 4.3 - Алгоритм керуючої програми мікроконтролера
(продовження)

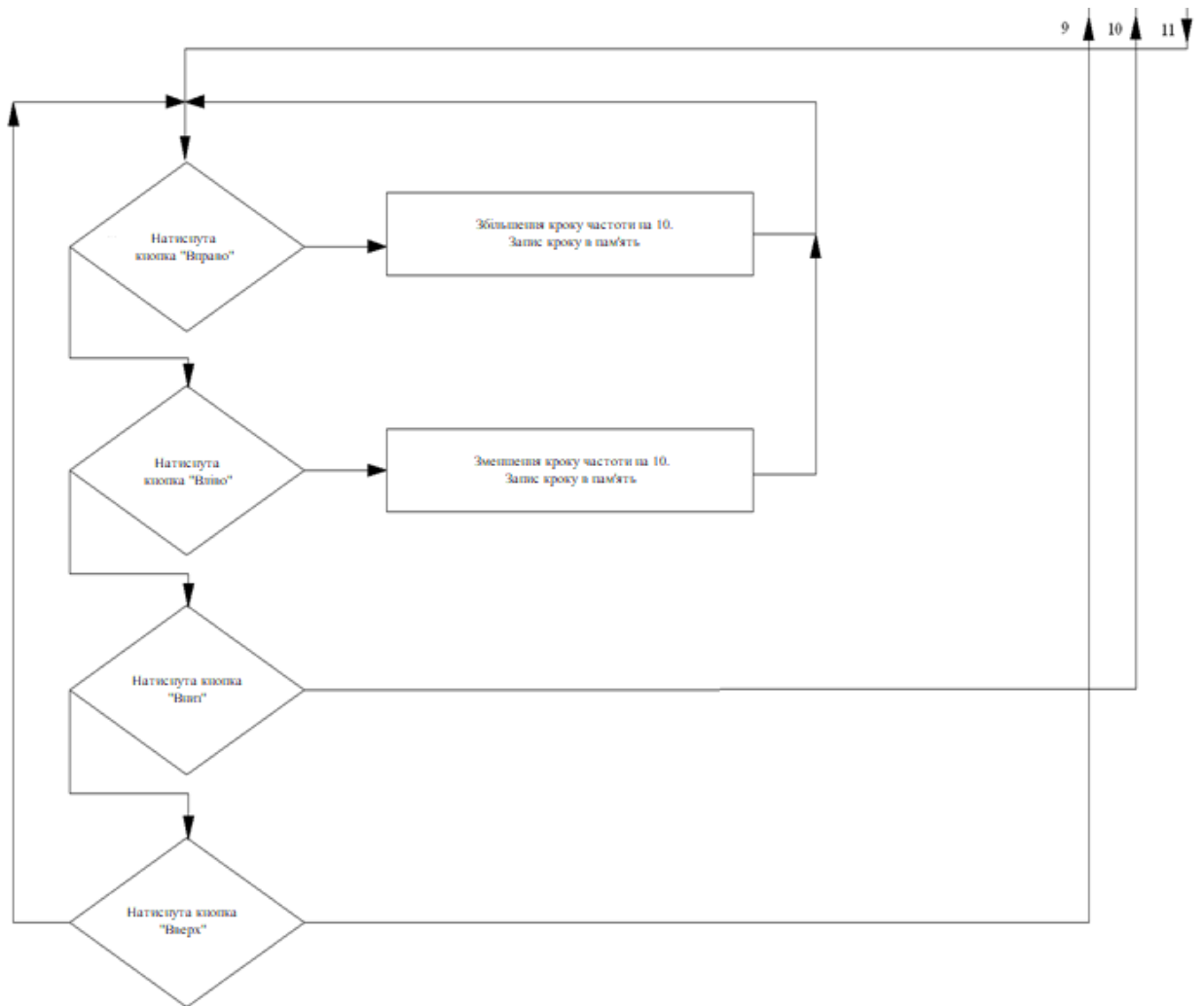


Рисунок 4.4 - Алгоритм керування програмою мікроконтролера
(продовження)

4.2 Розробка програми для керуючого мікроконтролера

Програмний код генератора базується на алгоритмі DDS-генератора (прямий цифровий синтез частоти), програма була модернізована під конкретну задачу і має вставки коду на асемблері.[11] Лістинг програми наведено в додатку А.

В процесі роботи генератора в порт А мікроконтролера із заданою затримкою, послідовно виводяться числові значення відповідні заданим режимом роботи. Для прикладу розглянемо генерацію для коефіцієнта

заповнення 50% (шпаруватість 2). Повний цикл генерації містить 16 значень для кожного розряду порту А, значення наведені в таблиці 4.1. Значення виводяться в порт А для інших режимів роботи наведені в додатку Б.

Таблиця 4.1 - Повний цикл генерації тактових імпульсів при коефіцієнті заповнення 50%

16-ти бітне значення	Біт порту А							
	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
87	1	0	0	0	0	1	1	1
87	1	0	0	0	0	1	1	1
C3	1	1	0	0	0	0	1	1
C3	1	1	0	0	0	0	1	1
E1	1	1	1	0	0	0	0	1
E1	1	1	1	0	0	0	0	1
F0	1	1	1	1	0	0	0	0
F0	1	1	1	1	0	0	0	0
78	0	1	1	1	1	0	0	0
78	0	1	1	1	1	0	0	0
3C	0	0	1	1	1	1	0	0
3C	0	0	1	1	1	1	0	0
1E	0	0	0	1	1	1	1	0
1E	0	0	0	1	1	1	1	0

0F	0	0	0	0	1	1	1	1
0F	0	0	0	0	1	1	1	1

Як видно з таблиці 4.2. 1 сигнали A0 і A1 зміщені один щодо одного на два біта. Так як загальне число бітів дорівнює 16, то зрушення можна розрахувати за формулою 4.1

$$S = N/N_0 * 100, (4.1)$$

де S - зрушення в процентах ;

N - кількість біт на які зрушена послідовність;

N₀ - загальна кількість біт.

Кутове значення зсуву (різниці фаз) можна розрахувати за формулою 4.2

$$\Phi = N/N_0 * 360, (4.2)$$

де Φ - різниця фаз в градусах;

N - кількість біт на які зрушена послідовність;

N₀ - загальна кількість біт.

Скориставшись формулою 4.2 отримаємо, що різниця фаз послідовностей синхроімпульсів буде дорівнює 45°.

Звернувши увагу на таблицю 4.2. можна припустити, що змінюючи значення на виході порту A можна отримати прямокутні сигнали різних форм, а при підключенні до порту A простого цифро-аналогового перетворювача (резисторної матриці), можна отримати аналогові сигнали різних форм:

синус, пилу, трикутник і т.д., що дозволяє змінювати функціонал пристрою не змінюючи його схему. Надалі при розробці друкованої плати, ця перевага буде враховано.

Для зручності управління в програмі мікроконтролера реалізовано меню:

- коефіцієнт заповнення 12.5%;
- коефіцієнт заповнення 25%;
- коефіцієнт заповнення 50%;

- коефіцієнт заповнення 75%;
- коефіцієнт заповнення 87.5%;
- HS прямий високочастотний вихід 1-8 МГц.
- поріг завдання частоти 10-10000 Гц.

4.3 Моделювання розроблюваного пристрою

Моделювання проводилося в програмі Proteus VSM. Ця програма дозволяє симулювати мікроконтролерні пристрою. На малюнку 4.5 зображена принципова схема генератора для проведення моделювання, а на малюнках 4.6, 4.7 представлені результати моделювання.

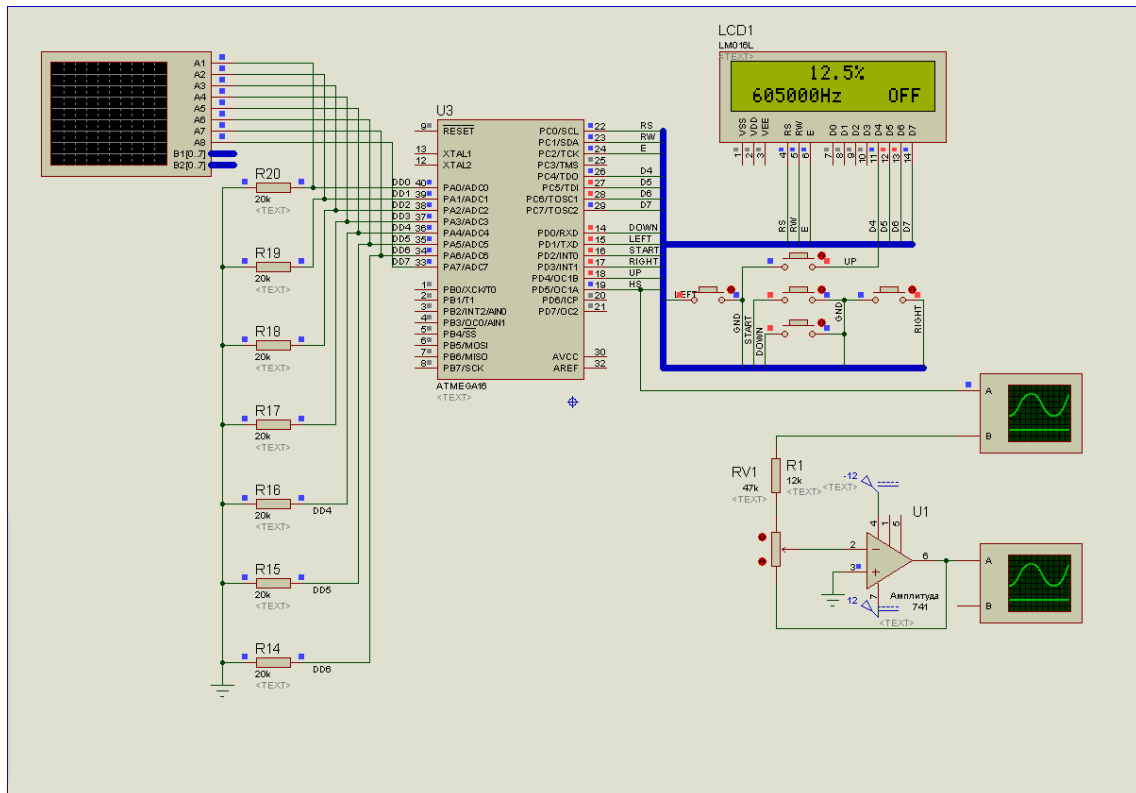


Рисунок 4.5 - Принципова схема пристрою формування вхідних сигналів в програмі моделювання

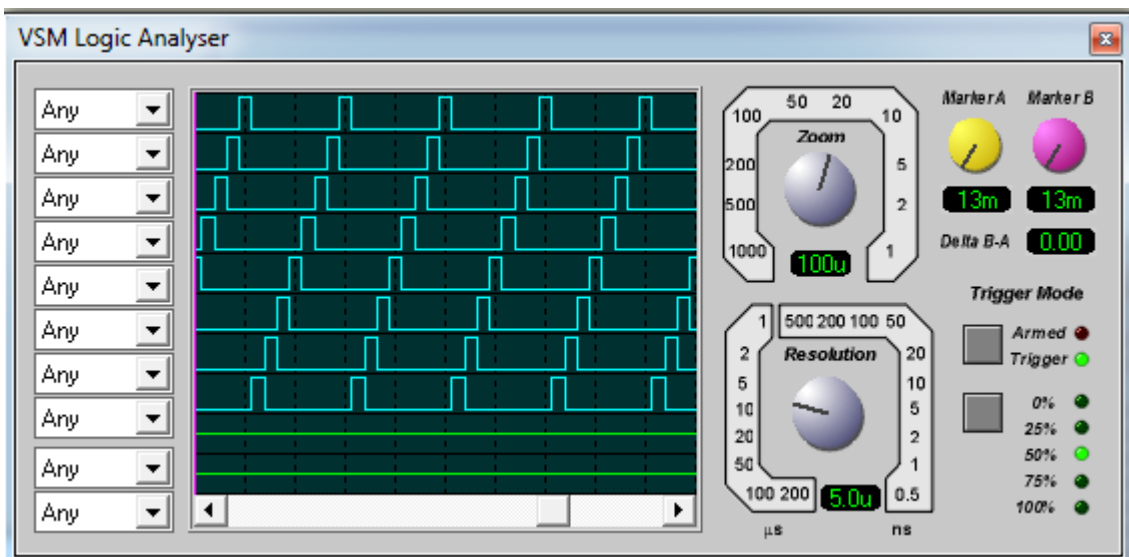


Рисунок 4.6 - Осцилограми вихідних імпульсів генератора при коефіцієнті заповнення 12.5% і частоті 605кГц

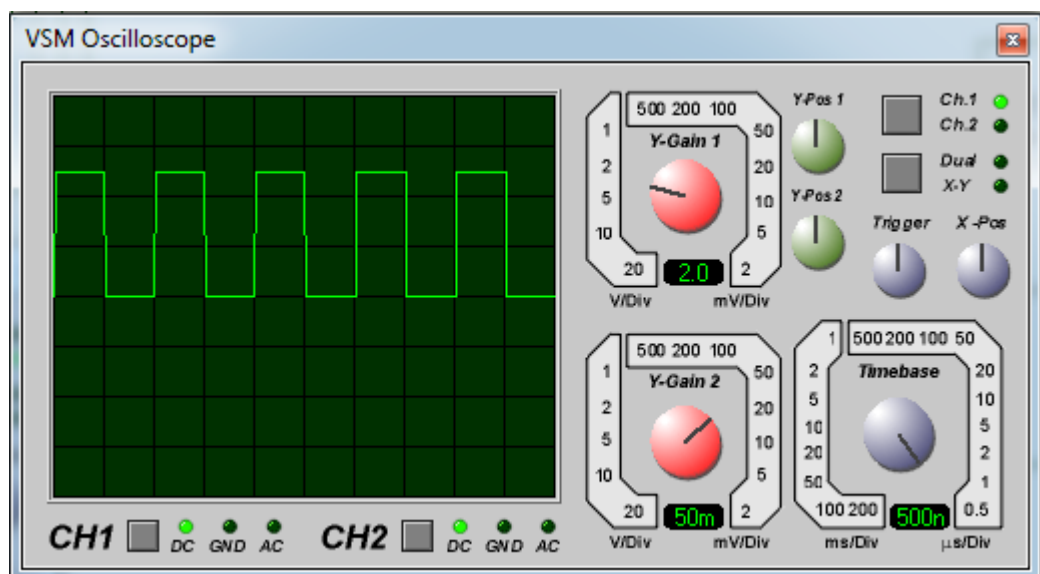


Рисунок 4.7 - Осцилограма вихідних імпульсів генератора з високочастотного виходу при частоті 1МГц

Необхідно врахувати, що після прошивки мікроконтролера повинні бути налаштовані Fuse - біти. Це робиться для того, щоб мікроконтролер міг працювати із зовнішнім кварцовим генератором на 16МГц. Конфігурація Fuse-бітів приведена в додатку В.

5 Розробка друкованих плат пристрою формування

5.1 Розробка друкованої плати керуючої частини

Розрахунок ширини доріжок на друкованій платі.

Оскільки провідники на друкованій платі повинні витримувати певний струм навантаження, необхідно розрахувати переріз проводів.

Максимальний струм, що протікає вздовж провідника. Шлях провідника на друкованій платі не перевищує 300 мА.

$$S_m = \frac{I \cdot \hat{E}_i}{J} \quad (5.1)$$

де $J = 25 \text{ А/мм}^2$ – межа поточної щільності для односторонньої друкованої плати.

$$S_m = \frac{0,3 \cdot 1,1}{25} = 0,013$$

$$t_{\min} = \frac{S_m}{h_i} \quad (5.2)$$

де t_{\min} - мінімальна ширина шляху;

h_m - товщина шару міді 35 мкм.

$$t_{\min} = \frac{0.013}{35} = 0.37 \mu\text{m}$$

Округлення дає мінімальну ширину дроту 0,4 мм.

Загальна площа всіх елементів $S_{\Sigma} = 1246,9 \text{ мм}^2$

Площа друкованої плати з коефіцієнтом заповнення рівна 0,5:

$S_{\text{дп}} = 1246,9 / 0,5 = 2493,8 \text{ мм}^2$

Оскільки мікроконтролер досить високий (50 мм), розмір друкованої плати слід вибирати, виходячи зі зручності підключення шляхів згодом.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		34

Візьмемо ширину друкованої плати 75 мм, тоді найближче значення висоти за ГОСТом становить 60 мм. Поверхня друкованої плати відповідно до ГОСТ 4500 мм², тоді новий коефіцієнт заповнення:

$$K_{zap} = 1246,9 / 4500 = 0,276$$

Друкована плата була розроблена вручну в SprintLayout 5. На рисунку 5.1. показано друкована плата вхідного сигналу формуючого пристрою при тестуванні 16-розрядних мікроконтролерів.

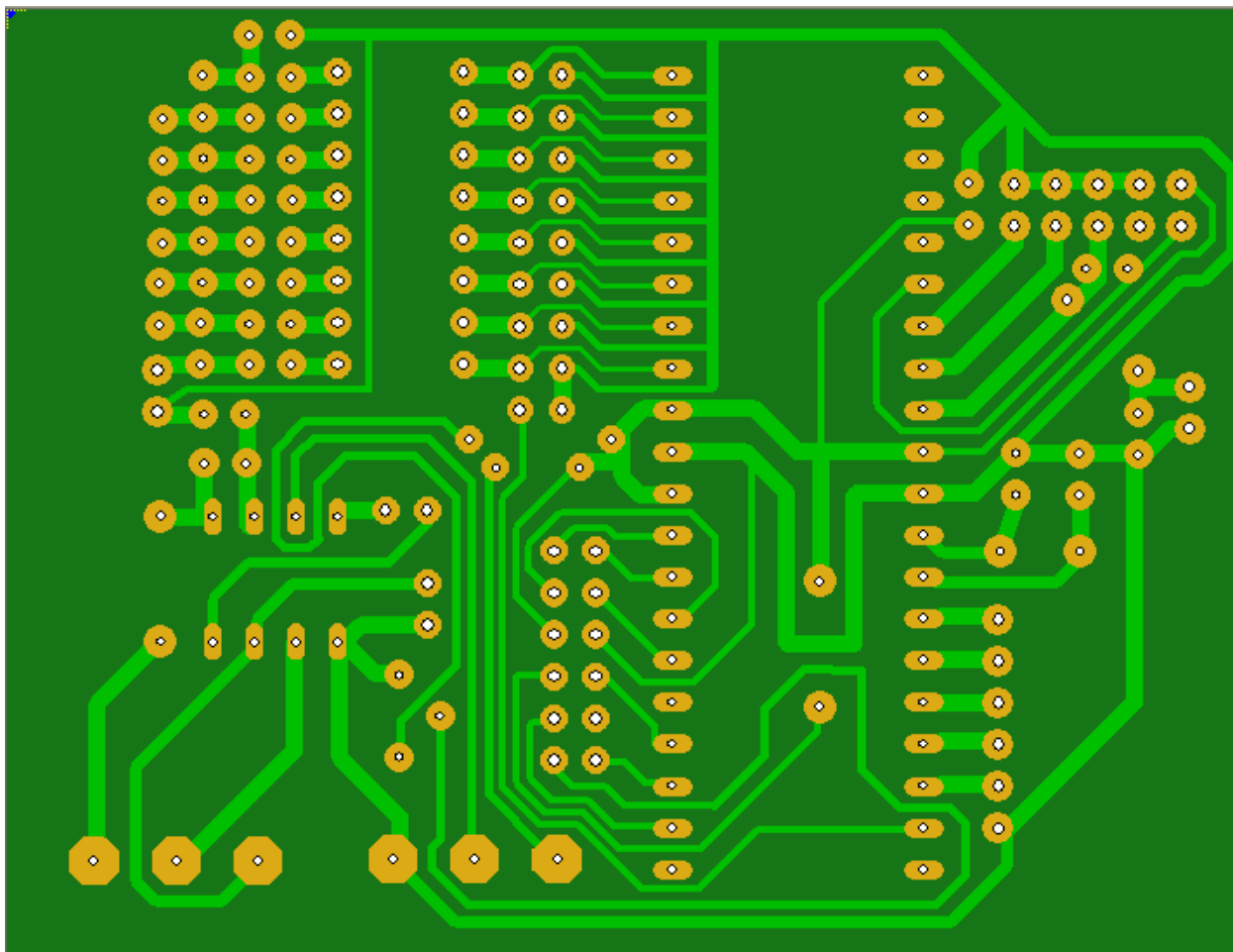


Рисунок 5.1. Друкована плата пристрою формувального вхідних сигналів при тестуванні 16-розрядних мікроконтролерів

Рисунок 5.2 показано положення елементів на платі управління.

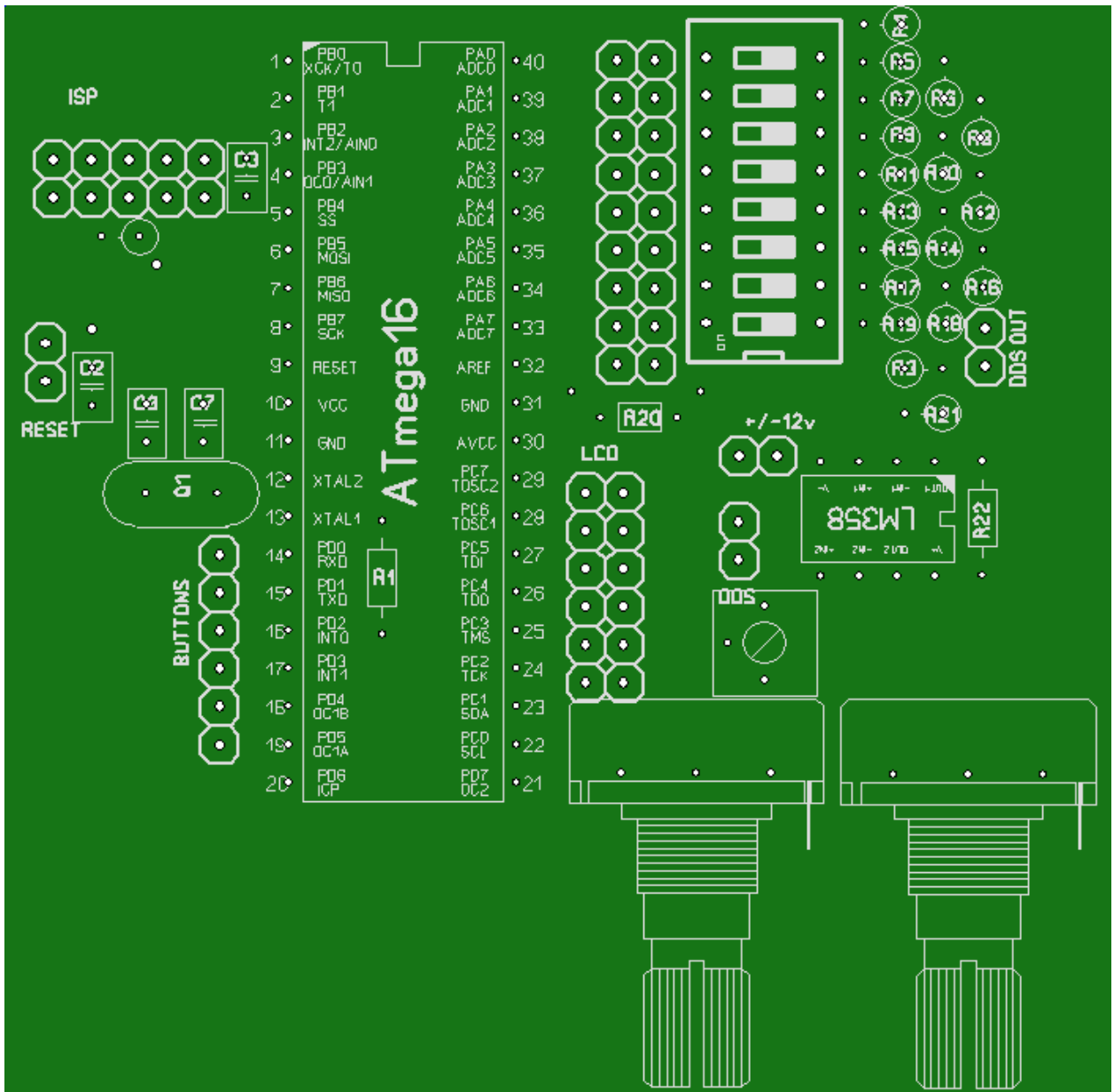


Рисунок 5.2 - Розташування елементів на друкованій платі керуючої частини

Пристрій базується на мікроконтролері AVR AtMega 16, амплітуда та відхилення встановлюються змінними резисторами, контрастність дисплея встановлюється підлаштовуючим резистором Q1 - кварцовий резонатор з частотою 16 МГц, LM358 - подвійний операційний підсилювач.

На рисунку 5.3 показана монтажна плата керуючої частини.

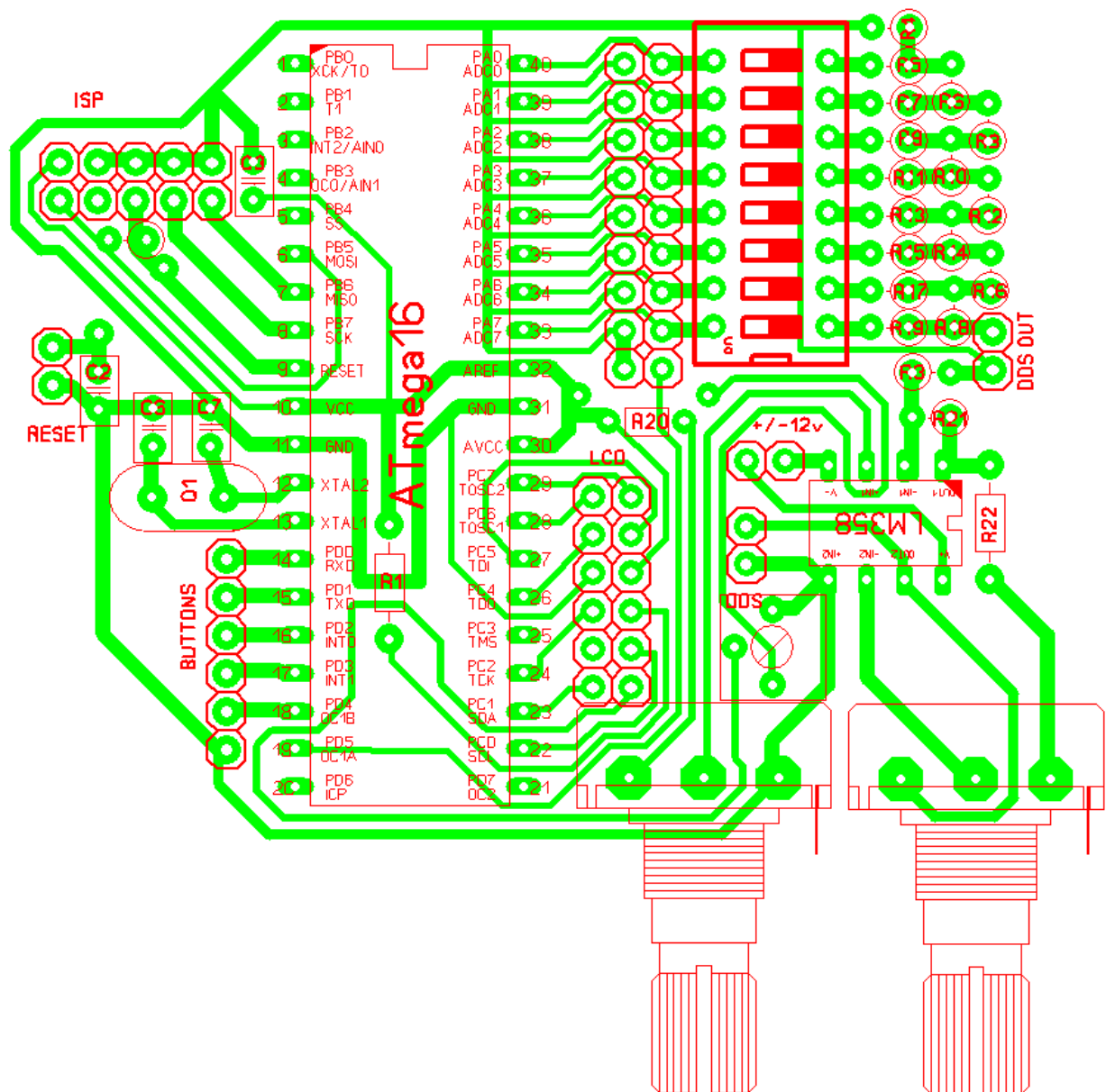


Рисунок 5.3. Монтажна плата керуючої частини

Порт ISP під'єднаний до джерела живлення та зовнішнього програматора для здійснення програмування керуючого мікроконтролера.

До порту Buttons під'єднуються кнопки.

Роз'єм РК-дисплея під'єднаний до РК-дисплея.

Виводи 43-40 використовуються для виведення 8-фазових зсунутих тактових сигналів, і коли перемикач знаходиться на резисторі, до цих контактів підключається матриця DDS, за рахунок якої при здійсненні заміни

прошивки контролера на вихідних сигналах DDS можна отримати сигнали інших форм (наприклад, синусоїда).

5.2 Розробка друкованої плати блоку живлення

Оскільки струми, що протікають в джерелі живлення, набагато вищі, ніж у цифровій частині, необхідно використовувати текстоліт з мідною фольгою товщиною 70 мікрметрів. Максимальне значення струму, що протікає вздовж доріжки на друкованій платі, не перевищує 2А. Мінімальна ширина доріжки, розрахована за формулами (5.1) та (5.2), становить 1,2 мм. Загальна площа всіх елементів становить 2500 мм². Площа друкованої плати з коефіцієнтом заповнення 0,5:

$$S_{дп} = 2500 / 0,5 = 5000 \text{ мм}^2$$

Висоту друкованої плати візьмемо 70 мм, тоді - найближче значення висоти за ГОСТ 90 мм. Площа друкованої плати згідно з ГОСТ 6300 мм², тоді новий коефіцієнт заповнення:

$$K_{зап} = 2500/6300 = 0,396$$

Друкована плата була розроблена вручну в SpintLayout 5. На рисунку 5.4 показана друкована плата блоку живлення пристрою кондиціонування вхідного сигналу при тестуванні 16-розрядних мікроконтролерів.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата					38

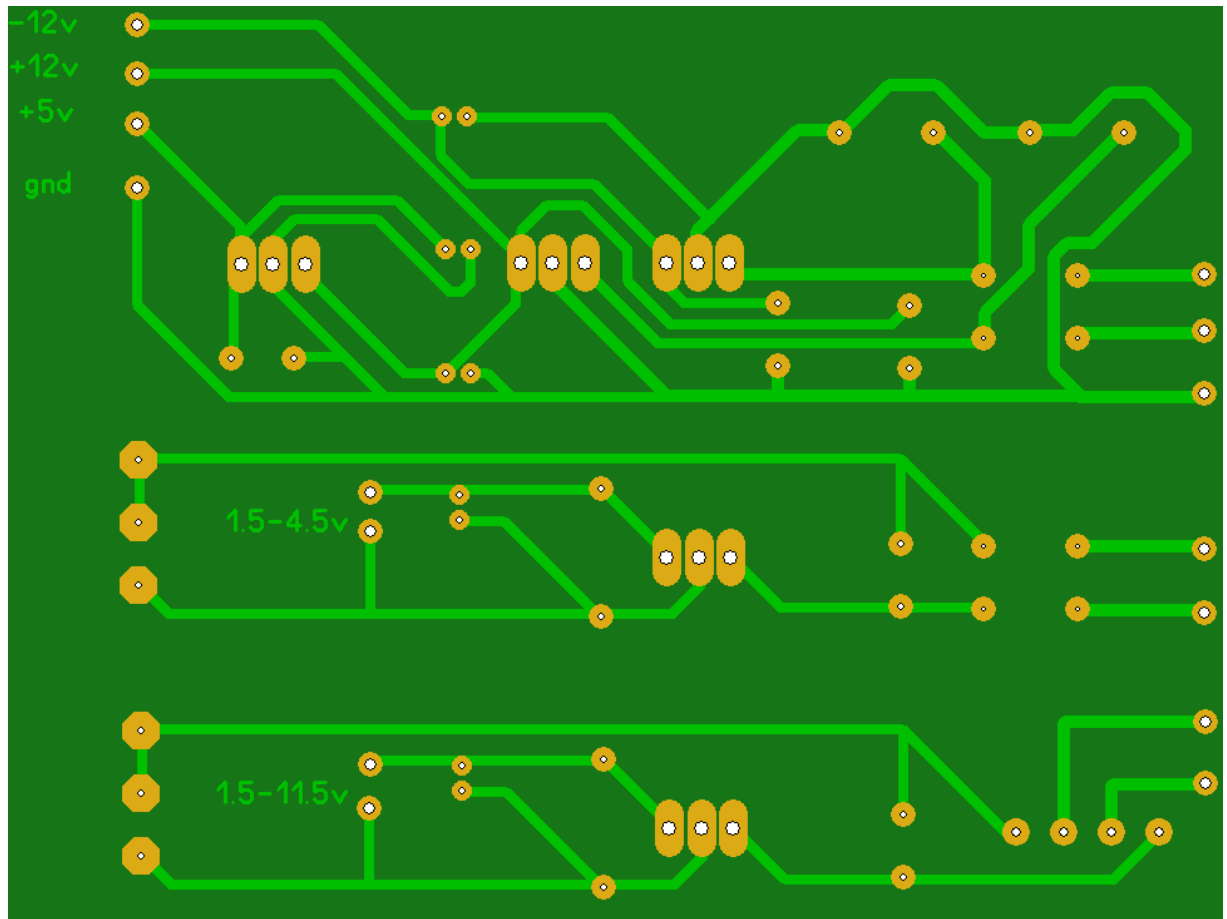


Рисунок 5.4 - Друкована плата блоку живлення генератора вхідного сигналу при тестуванні 16-бітових мікроконтролерів

На рисунку 5.5 показано розташування елементів на платі живлення.

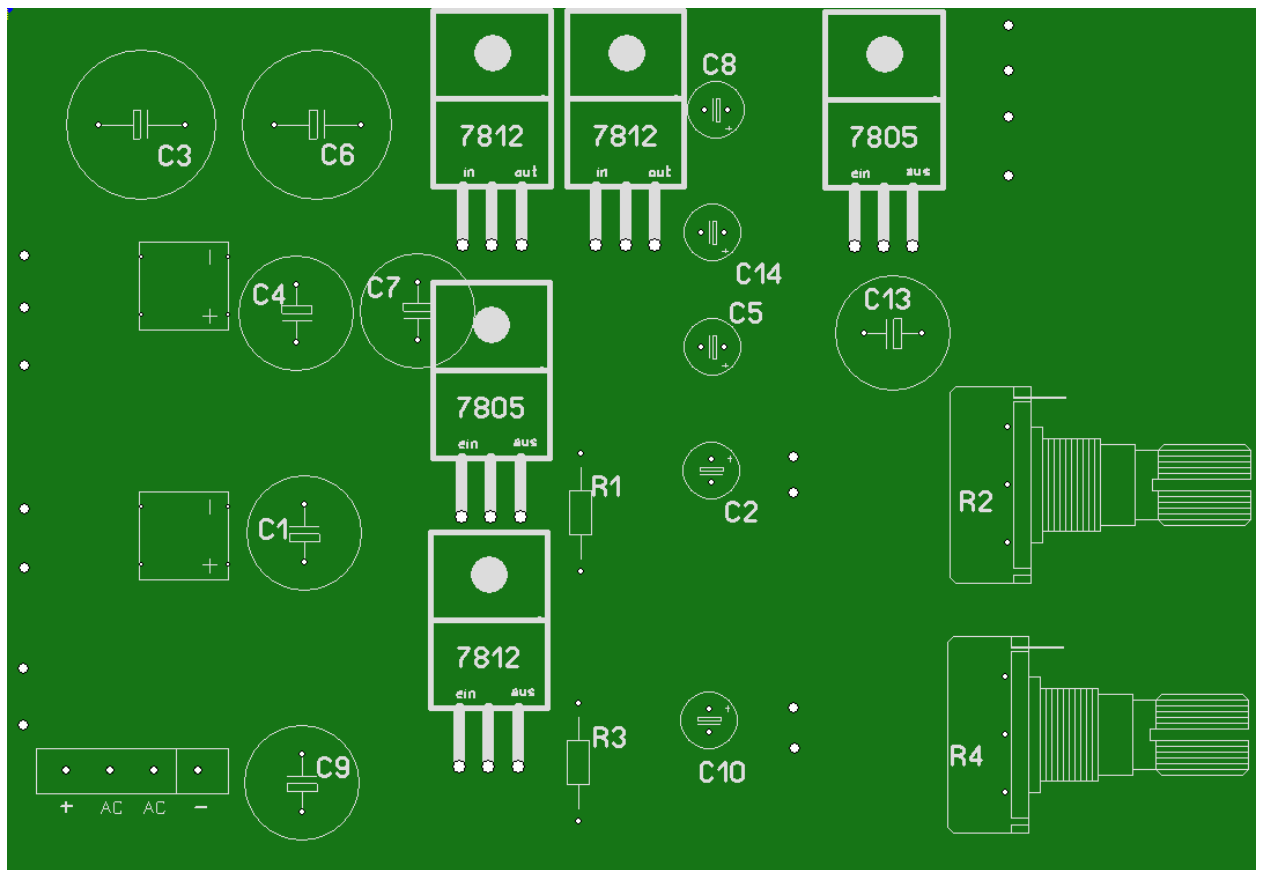


Рисунок 5.5 - Розташування елементів на платі електроживлення

Змінні резистори встановлені на корпусі для надійнішого кріплення.

На рисунку 5.6 показано плату живлення.

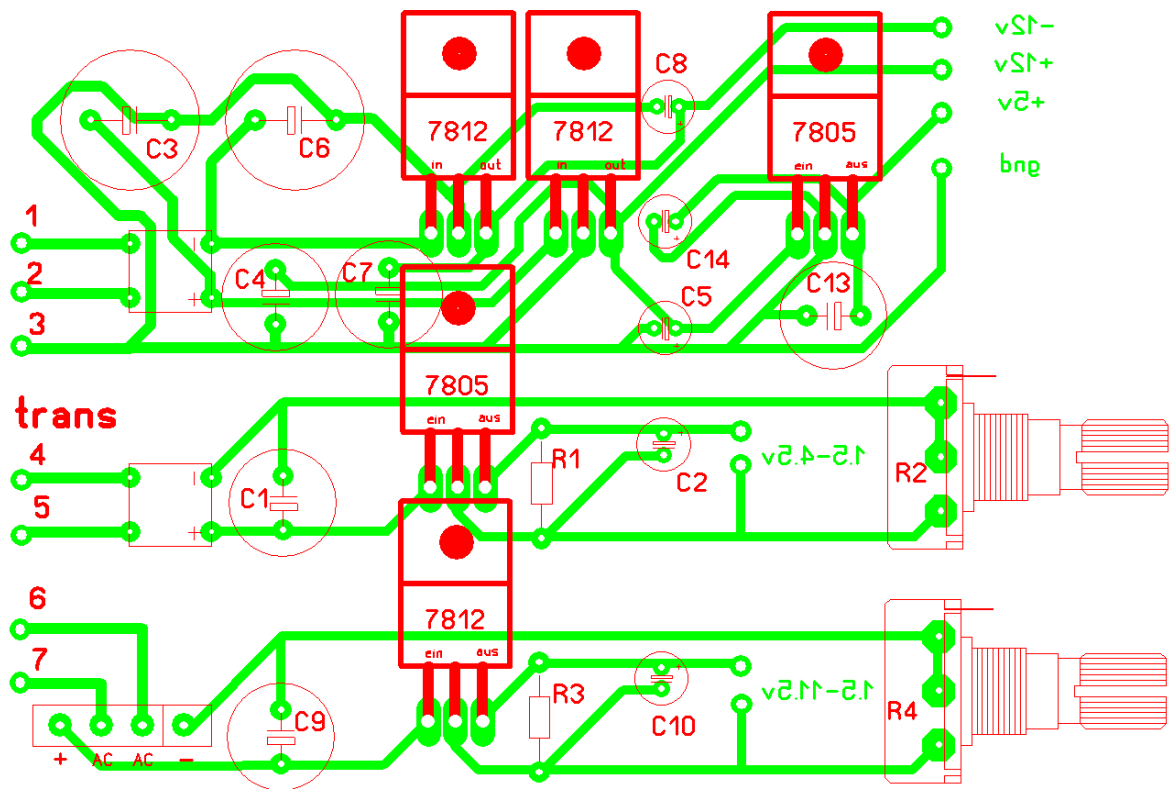


Рисунок 5.6 - Плата живлення

Трансформатор ТР-60-14 під'єднаний до виводів 1 -7.

Вихідна напруга ядра та периферії регулюються змінними резисторами R2 та R4.

Стабілізатори напруги встановлені на радіаторах.

Відповідні напруги від'єднуються від контактів +12 В, -12 В, + 5 В, gnd, 1,5-4,5 В та 1,5-11,5 В.

ВИСНОВОК

В процесі роботи над дипломом було розроблено пристрій для генерації вхідних сигналів для тестування 16-розрядних мікроконтролерів. Пристрій повністю відповідає технічним специфікаціям і має такі особливості:

- напруга живлення 220 В;
- регульовані вихідні напруги від 1,5 до 4,5 В і від 1,5 до 11,5 В;
- тактові послідовності від 10 Гц до 605 кГц із робочим циклом від 12,5% до 87,5%;
- високочастотний годинник до 8 МГц.

Тактові послідовності мають зсув по фазі на 45 градусів. Це робиться по відношенню один до одного, щоб десинхронізувати кілька тестових мікросхем під час тесту і, таким чином, зменшити стрибки потужності під час їх роботи.

Пристрій призначений для подачі напруги живлення та вхідних сигналів на випробовувані інтегральні схеми (ІС), а також перевірити струми споживання та вихідні сигнали при тестуванні інтегральних схем на випробування на стійкість до вібрацій, низького тиску, ефектів замерзання та розморожування, визначення точки роси, визначення теплових властивостей інтегральної схеми та випробувань.

Розроблено: структурну схему пристрою, принципову електричну схему пристрою, текст програми для мікропрограмного забезпечення керуючого мікроконтролера, моделювання схем, розроблені друковані плати та монтажні плати, а також перевірено безпеку та екологічність нового пристрою.

										Лист
										42
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

Список літератури

- 1 Белов А.В. Конструювання пристроїв на мікроконтролерах. - СПб.: Наука і Техніка, 2005.
- 2 Вимірювання діючого значення напруги. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://arv.radioliga.com/content/view/107> (7)
- 3 Вознесенський А.С., Шкуратнік В.Л. Електроніка та вимірювальна техніка. М.: Гірська книга: Изд-во МДГУ, 2008. (5)
- 4 Гребньов В.В. Мікроконтролери сімейства AVR фірми Atmel. - М.: ІІ РадиоСофт, 2002.
- 5 Діючі значення струму і напруги. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://electricalschool.info/spravochnik/electroteh/566-dejjstvujushhie-znachenija-toka-i.html> (6)
- 6 Евстифеев А.В. Мікроконтролери AVR семества Tiny і Mega фірми "Atmel" - М.: Видавничий дім «Додека-XXI», 2004.
- 7 Івлєв В.І., Батин В.В., Белянущкін А.В. [та ін.]. Азбука фізики для студентів: навч. посібник. Саранськ: Вид-во мордою. ун-ту, 2014. (1)
- 8 Конструкторсько-технологічне проектування електронної апаратури: Підручник для вузів / К.І.Білібін, А.І.Власов і ін. За заг. ред. В.А.Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ ім М. Е. Баумана, 2002.
- 9 Основи використання цифрових мультиметров. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://www.kipia.info/publication/multimetry/> (2)
- 10 Пристрій амперметра і вольтметра. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://electricalschool.info/spravochnik/izmeren/1840-ustrojstvo-ampmetra-i-voltmetra.html> (3)
- 11 Ревич Ю.В. Практичне програмування мікроконтролерів Atmel AVR на мові асемблера. - СПб.: БХВ-Петербург, 2008.
- 12 H.Ludens, Electronic Load Controllerfor micro-hydro system

										Лист
										43
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

Додаток А

Лістинг програми керуючого мікроконтролера

```
/**  
//  
// File Name : 'mega.c'  
// Title      : AVR  
// Author      : Tonich  
// Created     : 20.03.2012  
// Target MCU  : Atmel AVR series ATmega16  
//  
//  
/**  
  
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <avr/io.h>  
#include <avr/pgmspace.h>  
#include <avr/eeprom.h>  
#include <avr/interrupt.h>  
#include <util/delay.h>  
#include <inttypes.h>  
#include "lcd_lib.h"  
  
//define R2R port  
#define R2RPORT PORTA  
#define R2RDDR DDRA  
  
//define button port and dedicated pins  
#define BPORT PORTD  
#define BPIN PIND  
#define BDDR DDRD  
#define DOWN 0//PORTD  
#define LEFT 1//PORTD  
#define START 2//PORTD  
#define RIGHT 3//PORTD  
#define UP 4//PORTD  
  
//Define Highs Speed (HS) signal output  
#define HSDDR DDRD
```

						Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		44

```

#define HSPORT PORTD
#define HS 5//PD5
//define eeprom addresses
#define EEMODE 0
#define EEFREQ1 1
#define EEFREQ2 2
#define EEFREQ3 3
#define EEDUTY 4
#define EEINIT E2END
#define RESOLUTION 0.0095367431640625//Такт таймера
#define MINFREQ 0//Мінімальна частота
#define MAXFREQ 655340//Максимальна частота
#define MN_No 7//К-ТЬ КОЛОНОК В МЕНЮ
//function prototypes
void delay1s(void);
void Timer2_Init(void);
void Timer2_Start(void);
void Timer2_Stop(void);
void Main_Init(void);
void Menu_Update(uint8_t);
void Freq_Update(void);
void Timer1_Start(uint8_t);
void Timer1_Stop(void);
void static inline Signal_OUT(const uint8_t *, uint8_t, uint8_t, uint8_t);
//adjust LCDsendChar() function for strema
static int LCDsendstream(char c, FILE *stream);
//---set output stream to LCD-----
static FILE lcd_str = FDEV_SETUP_STREAM(LCDsendstream, NULL,
_FDEV_SETUP_WRITE);
//Строки меню
const uint8_t MN000[] PROGMEM=" 87.5% \0";
const uint8_t MN100[] PROGMEM=" 75% \0";
const uint8_t MN200[] PROGMEM=" 50% \0";
const uint8_t MN300[] PROGMEM=" 25% \0";

```

```

const uint8_t MN400[] PROGMEM=" 12.5% \0";
const uint8_t MN500[] PROGMEM=" Freq Step \0";
//const uint8_t MN600[] PROGMEM=" Noise \0";
const uint8_t MN600[] PROGMEM=" High Speed \0";
//Масив меню(в пам'яті)
const uint8_t *MENU[]={
    MN000, //
    MN100, //menu 1 string
    MN200, //menu 2 string
    MN300, //menu 3 string
    MN400, //menu 4 string
    MN500,
    MN600,
    //MN700,
};

//Перемінні строки в LCD
const uint8_t MNON[] PROGMEM="ON \0";//ON
const uint8_t MNOFF[] PROGMEM="OFF\0";//OFF
const uint8_t NA[] PROGMEM=" NA \0";//Очистка екрана
const uint8_t CLR[] PROGMEM=" \0";//Очистка екрана
const uint8_t MNC1rfreq[] PROGMEM=" \0";//Очистка екрана
const uint8_t TOEEPROM[] PROGMEM="Saving Settings\0";//saving to eeprom
const uint8_t ONEMHZ[] PROGMEM=" 1MHz \0";//saving to eeprom
const uint8_t welcomeIn1[] PROGMEM="AVR SIGNAL\0";
//const uint8_t RND[] PROGMEM=" Random\0";
//variables to control TDA7313
struct signal{
volatile uint8_t mode; //signal
volatile uint8_t fr1; //Frequency [0..7]
volatile uint8_t fr2; //Frequency [8..15]
volatile int8_t fr3; //Frequency [16..31]
volatile uint32_t freq; //frequency value
volatile uint8_t flag; //if "0"generator is OFF, "1" - ON

```



```

volatile uint32_t acc;          //accumulator
volatile uint8_t ON;
volatile uint8_t HSfreq;      //high speed frequency [1...4Mhz]
volatile uint32_t deltafreq;  //frequency step value
}SG;
//Задаєм сигнали(по коефіцієнту заповнення)
const uint8_t d87[] __attribute__((section ("MySection2"))) = //87.5%
{
0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,
0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,0xbf,

0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,
0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,0xdf,

0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,
0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,0xef,

0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,
0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,0xf7,

0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,
0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,0xfb,

0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,
0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,0xfd,

0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,
0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,0xfe,

0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,
0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,

};
const uint8_t d75[] __attribute__((section ("MySection3"))) = //75%

```

						Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

```
{
0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,
0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,0x9f,

0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,
0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,0xcF,

0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,
0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,0xe7,

0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,
0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,0xf3,

0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,
0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,0xf9,

0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,
0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,0xfc,

0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,
0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,0x7e,

0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,
0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f,0x3f
};
const uint8_t d50[] __attribute__((section(".MySection4")))= //50%
{
0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,
0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,0x87,

0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,
0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,0xc3,
}
```

0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,
0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,0xe1,

0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,
0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,0xf0,

0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,
0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,0x78,

0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,
0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,0x3c,

0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,
0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,0x1e,

0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,
0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,0x0f,

};

const uint8_t d25[] __attribute__((section(".MySection5"))) = //25%

{

0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,
0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,0x81,

0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,
0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,0xc0,

0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,
0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,0x60,

0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,
0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,0x30,

0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,

```

0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,0x18,
0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,
0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,0x0c,
0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,
0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,0x06,
0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,
0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03,0x03
};
const uint8_t d12[] __attribute__((section (".MySection6"))) = //12.5%
{
0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,
0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,0x80,
0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,
0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,0x40,
0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,
0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,0x20,
0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,
0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,0x10,
0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,
0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,0x08,
0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,
0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,0x04,
0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,
0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,0x02,

```

```

0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,
0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01,0x01

};
//Масив сигналів
const uint8_t *SIGNALS[]={
    d87,
    d75,
    d50,
    d25,
    d12
};
//adjust LCD stream fuinction to use with printf()
static int LCDsendstream(char c , FILE *stream)
{
LCDsendChar(c);
return 0;
}
//delay 1s
void delay1s(void)
{
    uint8_t i;
    for(i=0;i<100;i++)
    {
        _delay_ms(10);
    }
}
//initialize Timer2 (used for button reading)
void Timer2_Init(void)
{
    TCNT2=0x00;
    sei();
}

```

```

//start timer2
void Timer2_Start(void)
{
    TCCR2|=(1<<CS22)|(1<<CS21); //prescaler 256 ~122 interrupts/s
    TIMSK|=(1<<TOV2); //Enable Timer0 Overflow interrupts
}
//stop timer 2
void Timer2_Stop(void)
{
    TCCR0&=~((1<<CS22)|(1<<CS21)); //Stop timer0
    TIMSK&=~(1<<TOV2); //Disable Timer0 Overflow interrupts
}
//Initial menu
//show initial signal and frequency
//generator is off
void Menu_Update(uint8_t on)
{
    LCDclr();
    CopyStringtoLCD(MENU[(SG.mode)], 0, 0);
    LCDGotoXY(0, 1);
    if (SG.mode==5)
    {
        CopyStringtoLCD(CLR, 0, 1);
        LCDGotoXY(0, 1);
        printf("  %5u0Hz", (uint16_t)SG.deltafreq);
    }
    /*if (SG.mode==6)
    {
        CopyStringtoLCD(CLR, 0, 1);
        CopyStringtoLCD(RND, 0, 1);
    }*/
    if (SG.mode==6)
    {

```

```

        CopyStringtoLCD(CLR, 0, 1 );
        LCDGotoXY(0, 1);
        printf(" %5uMHz", SG.HSfreq);
    }
    if((SG.mode==0)||(SG.mode==1)||(SG.mode==2)||(SG.mode==3)||(SG.mode==4))
    {
        CopyStringtoLCD(CLR, 0, 1 );
        LCDGotoXY(0, 1);
        printf(" %5u0Hz", (uint16_t)SG.freq);
    }
    if (SG.mode!=5)
    {
        if(on==1)
            CopyStringtoLCD(MNON, 13, 1 );
        else
            CopyStringtoLCD(MNOFF, 13, 1 );
    }
}
//update frequency value on LCD menu - more smooth display
void Freq_Update(void)
{
    if (SG.mode==5)
    {
        LCDGotoXY(0, 1);
        printf(" %5u0Hz", (uint16_t)SG.deltafreq);
    }
    if (SG.mode==6)
    {
        //if HS signal
        LCDGotoXY(0, 1);
        printf(" %5uMHz", SG.HSfreq);
    }
}
if((SG.mode==0)||(SG.mode==1)||(SG.mode==2)||(SG.mode==3)||(SG.mode==4))

```

```

        {
            LCDGotoXY(0, 1);
            printf(" %5u0Hz", (uint16_t)SG.freq);
        }
    }

//External interrupt0 service routine
//used to stop DDS depending on active menu
//any generator is stopped by setting flag value to 0
//DDs generator which is inline ASM is stopped by setting
//CPHA bit in SPCR register
ISR(INT0_vect)
{
    SG.flag=0;//set flag to stop generator
    SPCR|=(1<<CPHA);//using CPHA bit as stop mark
    //CopyStringtoLCD(MNOFF, 13, 1 );
    SG.ON=0;//set off in LCD menu
    loop_until_bit_is_set(BPIN, START);//wait for button release
}

//timer overflow interrupt service routine
//checks all button status and if button is pressed
//value is updated
ISR(TIMER2_OVF_vect)
{
    if (bit_is_clear(BPIN, UP))
    //Button UP increments value which selects previous signal mode
    //if first mode is reached - jumps to last
    {
        if (SG.mode==0)
        {
            SG.mode=MN_No-1;
        }
    }
    else

```



```

    {
        SG.mode--;
    }
    //Display menu item
    Menu_Update(SG.ON);
    loop_until_bit_is_set(BPIN, UP);
}
if (bit_is_clear(BPIN, DOWN))
    //Button Down decrements value which selects next signal mode
    //if last mode is reached - jumps to first
    {
        if (SG.mode<(MN_No-1))
            {
                SG.mode++;
            }
        else
            {
                SG.mode=0;
            }
        //Display menu item
        Menu_Update(SG.ON);
        loop_until_bit_is_set(BPIN, DOWN);
    }
if (bit_is_clear(BPIN, RIGHT))
    //frequency increment
    {
        if(SG.mode==5)
            {
                if(SG.deltafreq==10000)
                    SG.deltafreq=1;
                else
                    SG.deltafreq=(SG.deltafreq*10);
                Freq_Update();
            }
    }

```

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

```
        loop_until_bit_is_set(BPIN, RIGHT);
    }
    if (SG.mode==6)
    {
        //ifhigh speed signal
        if(SG.HSfreq==8)
            SG.HSfreq=1;
        else
            SG.HSfreq=(SG.HSfreq<<1);
        Freq_Update();
        loop_until_bit_is_set(BPIN, RIGHT);
    }

    if((SG.mode==0)||(SG.mode==1)||(SG.mode==2)||(SG.mode==3)||(SG.mode==4))
    {
        if ((0xFFFF-SG.freq)>=SG.deltafreq)
            SG.freq+=SG.deltafreq;
        Freq_Update();
        uint8_t ii=0;
        //press button and wait for long press (~0.5s)
        do{
            _delay_ms(2);
            ii++;
        }while((bit_is_clear(BPIN, RIGHT))&&(ii<=250));//wait for
button release

        if(ii>=250)
        {
            do{
                if ((0xFFFF-SG.freq)>=SG.deltafreq)
                    SG.freq+=SG.deltafreq;
                Freq_Update();
            }while(bit_is_clear(BPIN, RIGHT));//wait for button
release

        }
    }
```

											Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата							56

```

    }
}
if (bit_is_clear(BPIN, LEFT))
//frequency decrement
{
    if(SG.mode==5)
    {
        if(SG.deltafreq==1)
            SG.deltafreq=10000;
        else
            SG.deltafreq=(SG.deltafreq/10);
        Freq_Update();
        loop_until_bit_is_set(BPIN, LEFT);
    }
    if (SG.mode==6)
    {
        //ifhigh speed signal
        if(SG.HSfreq==1)
            SG.HSfreq=8;
        else
            SG.HSfreq=(SG.HSfreq>>1);
        Freq_Update();
        loop_until_bit_is_set(BPIN, LEFT);
    }
    if
    ((SG.mode==0)||(SG.mode==1)||(SG.mode==2)||(SG.mode==3)||(SG.mode==4))
    {
        if (SG.freq>=SG.deltafreq)
            SG.freq-=SG.deltafreq;
        Freq_Update();
        uint8_t ii=0;
        //press button and wait for long press (~0.5s)
        do{
            _delay_ms(2);

```



```

        SPCR&=~(1<<CPHA);//clear CPHA bit in SPCR register to allow DDS
        //Stop timer2 - menu inactive
        Timer2_Stop();
        //display ON on LCD
        Menu_Update(SG.ON);
    }
    loop_until_bit_is_set(BPIN, START);//wait for button release
}
}
/*DDS signal generation function
Original idea is taken from
http://www.myplace.nu/avr/minidds/index.htm
small modification is made - added additional command which
checks if CPHA bit is set in SPCR register if yes - exit function
*/
void static inline Signal_OUT(const uint8_t *signal, uint8_t ad2, uint8_t ad1, uint8_t ad0)
{
asm volatile( "eor r18, r18 ;r18<-0"      "\n\t"
              "eor r19, r19 ;r19<-0"      "\n\t"
              "1:"                          "\n\t"
              "add r18, %0 ;1 cycle"        "\n\t"
              "adc r19, %1 ;1 cycle"        "\n\t"
              "adc %A3, %2 ;1 cycle"        "\n\t"
              "lpm ;3 cycles"              "\n\t"
              "out %4, __tmp_reg__ ;1 cycle" "\n\t"
              "sbis %5, 2 ;1 cycle if no skip" "\n\t"
              "rjmp 1b ;2 cycles. Total 10 cycles" "\n\t"
              :
              :"r" (ad0),"r" (ad1),"r" (ad2),"e" (signal),"I"
                (_SFR_IO_ADDR(PORTA)), "I" (_SFR_IO_ADDR(SPCR))
              : "r18", "r19"
            );
}
void Timer1_Start(uint8_t FMHz)

```

```

{
switch(FMHz){
    case 1:
        //start high speed (1MHz) signal
        OCR1A=7;
        break;
    case 2:
        OCR1A=3;//2MHz
        break;
    case 4:
        OCR1A=1;//4MHz
        break;
    case 8:
        OCR1A=0;//8MHz
        break;
    default:
        OCR1A=7;//defaults 1MHz
        break;}

//Output compare toggles OC1A pin
TCCR1A=0x40;
//start timer without prescaler
TCCR1B=0b00001001;
}

void Timer1_Stop(void)
{
    TCCR1B=0x00;//timer off
}

//main init function
void Main_Init(void)
{
    //stderr = &lcd_str;
    stdout = &lcd_str;
    //-----init LCD-----

```

						Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		60

```

LCDinit();
LCDclr();
LCDcursorOFF();
//-----EEPROM initial values-----
if (eeprom_read_byte((uint8_t*)EEINIT)!='T')
{
eeprom_write_byte((uint8_t*)EEMODE,0x00);//initial mode 0 – OUT~~~~;
eeprom_write_byte((uint8_t*)EEFREQ1,0xE8);//initial frequency 1kHz
eeprom_write_byte((uint8_t*)EEFREQ2,0x03);
eeprom_write_byte((uint8_t*)EEFREQ3,0x00);
eeprom_write_byte((uint8_t*)EEINIT,'T');//marks once that eeprom init is done
//once this procedure is held, no more initialization is performed
}
//-----restore last saved values from EEPROM-----
SG.mode=eeprom_read_byte((uint8_t*)EEMODE);
SG.fr1=eeprom_read_byte((uint8_t*)EEFREQ1);
SG.fr2=eeprom_read_byte((uint8_t*)EEFREQ2);
SG.fr3=eeprom_read_byte((uint8_t*)EEFREQ3);
SG.freq=((uint32_t)(SG.fr3)<<16)|((uint32_t)(SG.fr2)<<8)|((uint32_t)(SG.fr1));
SG.acc=SG.freq/RESOLUTION;
SG.flag=0;
//default 1MHz HS signal freq
SG.HSfreq=1;
SG.deltafreq=100;
//-----init DDS output-----
R2RPORT=0x00;//set initial zero values
R2RDDR=0xFF;//set A port as output
//-----set ports pins for buttons-----
BDDR&=~(_BV(START)|_BV(UP)|_BV(DOWN)|_BV(RIGHT)|_BV(LEFT));
BPORT|=( _BV(START)|_BV(UP)|_BV(DOWN)|_BV(RIGHT)|_BV(LEFT));
//-----set ports pins for HS output-----
HSDDR|=_BV(HS);//configure as output
//-----Menu init-----

```

```

SG.ON=0;//default signal is off
Menu_Update(SG.ON);
//-----Timer Init-----
Timer2_Init();
//Start Timer with overflow interrupts
Timer2_Start();
}

int main(void)
{
//Initialize
Main_Init();
while(1)//infinite loop
{
if (SG.flag==1)
{
GICR|=(1<<INT0);//set external interrupt to enable stop
/*if (SG.mode==6)
{
//Noise
do
{
R2RPORT=rand();
}while(SG.flag==1);
//set signal level to 0
R2RPORT=0x00;
//display generator OFF
Menu_Update(SG.ON);
//stop external interrupt
GICR&=~(1<<INT0);
//start timer menu active
Timer2_Start();
}
}
}
}

```

											Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата							62


```

if (SG.mode==6)
{
//High speed signal
Timer1_Start(SG.HSfreq);
while((SG.flag==1))
{
//not implemented
CopyStringtoLCD(MNON, 13, 1 );
}
Timer1_Stop();//timer off
//set HS pin to LOW
HSPOINT&=~(1<<HS);
//display generator OFF
Menu_Update(SG.ON);
GICR&=~(1<<INT0);//(1<<INT1);//stop external interrupt
//start timer menu active
Timer2_Start();
}
else
{
//start DDS
Signal_OUT(SIGNALS[SG.mode],
           (uint8_t)((uint32_t)SG.acc>>16),
           (uint8_t)((uint32_t)SG.acc>>8),
           (uint8_t)SG.acc);
//set signal level to 0
R2RPORT=0x00;
//display generator OFF
Menu_Update(SG.ON);
GICR&=~(1<<INT0);//(1<<INT1);//stop external interrupt
//start timer menu active
Timer2_Start();
}

```

										Лист
										63
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата						

```
    }  
  }  
  return 0;  
}
```

						<i>Лист</i>
						64
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		