

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра
на тему:
«Мультиметр на основі мікроконтролеру»

Завідуючий кафедри

А. С. Опанасюк

Керівник проєкту

О. В. Д'яченко

Студент групи ЕС - 71

В. В. Дяденко

Суми 2021

РЕФЕРАТ

Робота містить 54 сторінок, 21 рисуноків, 3 таблиці, схему алгоритму, структурну схему, функціональну схему, електричну принципову схему, перелік елементів.

У даній дипломній роботі розглянуто мультиметр на мікроконтролері. Метою роботи є аналіз схемотехнічних рішень мультиметрів, розгляд принципів роботи пристрою для перевірки елементів, розробка структурної і принципової схеми пристрою. Метою роботи є аналіз схемотехнічних рішень для побудови пристрою. В роботі розглянуті існуючі технічні рішення аналогів пристрою, здійснено обґрунтування вибору елементів, розроблено принципова, структурна і функціональна схеми пристрою.

Ключові слова: МУЛЬТИМЕТР, МІКРОКОНТРОЛЕР, ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ, ВОЛЬТМЕТР, АМПЕРМЕТР

Keywords: MULTIMETER, MICROCONTROLLER, ELECTRICAL MEASUREMENTS, VOLTMETER, AMPERMETER

Зміст

Вступ.....	4
1. Аналіз існуючих технічних рішень	6
1.1 Електричні вимірювання	6
1.2 Мультиметр.....	8
1.3 Електронний вольтметр.....	17
1.4 Електронний амперметр	18
2. Обґрунтування вибору засобів розробки.....	20
2.1 Мікроконтролер.....	20
2.2 Взаємодія пристрою з комп'ютером.....	22
2.3 Вибір програмних засобів розробки	23
3. Розробка структурної схеми мультиметра	25
3.1 Логічна структура схеми зниження напруги.....	25
3.2 Фізична структура схеми зниження напруги	27
3.3 Вибір елементної бази	34
3.4 Підсумкова схема і варіанти її реалізації.....	36
4. Розробка алгоритму та електричної схеми.....	39
4.1 Розробка алгоритму функціонування проектованого пристрою	39
4.2 Розробка електричної схеми проектованого пристрою	42
5. Розробка програмного комплексу мультиметра	44
5.1 Логічна структура програмного комплексу.....	44
5.2 Реалізація програмного комплексу	45
Висновки	52
Список використаних джерел	53
Додатки.....	Ошибка! Закладка не определена.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Дяденко В. В.			Мультиметр на основі мікроконтролеру. Пояснювальна Записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Д'яченко О. В.					3	54
<i>Н. Контр.</i>		Гапич В. М.			СумДУ, ЕС-71			
<i>Затвердж.</i>		Опанасюк А.С.						

Вступ

У практиці роботи з електричними мережами та електронними пристроями часто буває необхідно проводити вимірювання декількох електричних величин. Бажано при цьому, щоб всі вимірювання проводилися за допомогою одного вимірювального приладу. Саме з цією метою було створено прилад, який в даний час називається мультиметром. Попередником мультиметра був авометр – прилад для вимірювання сили струму (амперметр - А), напруги (вольтметр – В) і опору (омметр - Ом). Пізніше цей прилад стали називати тестером, а в даний час за ним закріпилася назва мультиметр.

Сучасні мультиметри можуть виконувати набагато більшу кількість функцій, з їх допомогою можна, наприклад, вимірювати ємність конденсатора і частоту змінного струму, визначати коефіцієнт посилення транзисторів, проводити перевірку діодів і прозвонку з'єднань. Ускладнення і модифікація електронних схем мультиметрів з використанням нових базових елементів дозволяють поступово доповнювати перелік виконуваних ними функцій.

Зазвичай мультиметр є автономним, більш-менш компактним приладом, керований за допомогою перемикачів або клавіатури, розміщених на його корпусі. З розвитком обчислювальної техніки (комп'ютерів) з'явилася можливість і в ряді випадків потреба в дистанційному управлінні вимірювальними приладами, в тому числі і мультиметром. У зв'язку з цим метою даної роботи було визначено розробку мультиметра з комп'ютерним управлінням.

Мультиметр з комп'ютерним управлінням представляє систему, що складається з вимірювальної частини, ядром якої є мікроконтролер, і керуючої частини, тобто з програми, написаної для персональних комп'ютерів. Користувачеві доступно використання двох вимірювальних

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

клем і керуючого додатки, здатного видавати виміряні результати. Для кожного з вимірювальних режимів роботи мультиметра передбачені діапазони вимірювання. Вони можуть бути змінені розробниками виходячи з необхідності. Рекомендовані до використання діапазони вимірювання для режиму роботи в якості вольтметра: $\pm 5 \text{ В}$, $\pm 10 \text{ В}$, $\pm 20 \text{ В}$, $\pm 30 \text{ В}$. Рекомендовані до використання діапазони вимірювання для режиму роботи в якості амперметра: $\pm 2 \text{ А}$, $\pm 0,2 \text{ А}$.

Основні характеристики розроблювального мультиметра наступні:

- діапазон вимірюваного струму: 0 - 2 А;
- діапазон вимірюваної напруги: 0 - 30 В;
- частотний діапазон вимірювань: 0 - 100 Гц;
- управління мультиметром і індикація результатів здійснюється спеціалізованою утилітою, встановленою на ПК;
- обмін даними між мультиметром і утилітою відбувається по інтерфейсу USB;
- живлення мультиметра від мережі змінного струму 220 В частотою 50 Гц.

Особливі вимоги до персонального комп'ютера:

- порти USB не нижче версії 2.0;
- процесор не нижче Pentium 5;
- обсяг оперативної пам'яті не менше 2 Гбайт.
- керуючий додаток повинен функціонувати під управлінням операційної системи Windows.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1. Аналіз існуючих технічних рішень

1.1 Електричні вимірювання

Мультиметр – це перш за все електровимірювальний прилад, тобто прилад для вимірювання електричних величин, як правило, пов'язаних з електричним струмом. 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 опору цієї ділянки [1]:

$$I = U/R$$

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

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

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.

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

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

1.2 Мультиметр

Мультиметр – електронний вимірювальне пристрій, який об'єднує в собі кілька функцій: амперметр, вольтметр і омметр [2]. 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 [3]. 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 (котушки). У практичних конструкціях вимірювального механізму нерухома частина, як правило, магніт, а рухлива -

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

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.

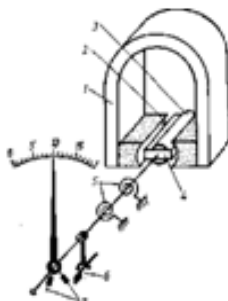


Рис. 1. Магнітоелектричний вимірювальний механізм: 1 - підковоподібний постійний магніт, 2 - полюсні наконечники, 3 - нерухомий сердечник, 4 - катушка, 5 - спіральні пружини, 6 - ексцентричний гвинт, 7 - протипаваги

Як видно з Рис. 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 катушка 4, яка складається з тонкого мідного дроту, намотаного на паперовий або алюмінієвий каркас прямокутної форми. При проходженні струму по катушці внаслідок дії на неї сили Ампера виникає крутий 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. Протипаваги 7 служать для балансування рухомої частини приладу.

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

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відображення результатів вимірювань в цифровий мультиметр реалізується на цифровому дисплеї. Його наявність дозволило поліпшити наочність зчитування вимірюваної величини і підвищити точність вимірювань [4]. Наприклад, в аналогових пристроях результат вимірювань залежить від кута, під яким користувач дивиться на шкалу.

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 [5].

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

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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» [6].

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 перемикає 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.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Режим відносних вимірів (дисплей показує різницю між раніше заданим значенням і поточним результатом вимірювань, тобто різниця між вимірним 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.

Таблиця 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	40000/400 0	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. 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 уможлиблює відстежувати динаміку швидких процесів при вимірюванні (аналог коливань стрілки в стрілочних пристроях). У різних типах пристроїв графічна шкала

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

буває зазвичай від 30 до 70 дискретов. Швидкість поновлення до 30 вимірювань в секунду.



Рис. 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. 3). Це рішення дає можливість рознести вимірювальну і демонстративну частини на відстань до 10 метрів. Дана модель пристрою не дешева.



Рис. 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

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

значення. Окремо в цьому переліку стоїть мультиметр АКТАКОМ АМ-1109 (Рис. 4).



Рис. 4. Двоканальний мультиметр АКТАКОМ АМ-1109

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'єднати 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'єднати від мультиметра.

На Рис. 5 представлена функціональна схема мультиметра.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

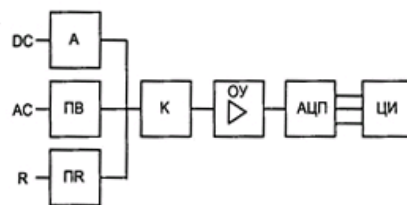


Рис. 5. Функціональна схема мультиметра:

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.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

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.

1.3 Електронний вольтметр

Вольтметр служить для вимірювання напруги постійного або змінного струму. Вольтметр з високим входним опором можна реалізувати за допомогою неінвертуючого підсилювача. Пристрій підключається за допомогою буферного підсилювача з високим входним опором до вимірювального ланцюга. В наслідок цього входний опір вольтметра практично визначається входним опором підсилювача.

На рис 6. представлена структурна схема аналогового електронного вольтметра, що містить 4 основні блоки: атенюатор, буферний підсилювач, індикатор і вимірювальний перетворювач.

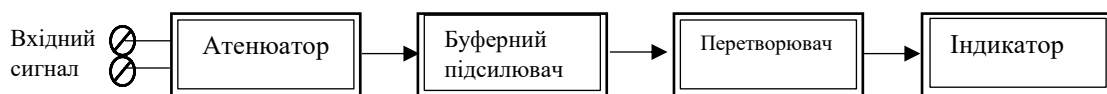


Рис. 6. Структурна схема аналогового електронного вольтметра

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

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

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[7]. 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.

1.4 Електронний амперметр

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

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

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.

У цифрових амперметра, наприклад, такому як амперметр АМ-3 (Рис. 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.



Рис. 7 амперметр АМ-3

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2. Обґрунтування вибору засобів розробки

Перш ніж приступити до виконання роботи з проектування мультиметра з комп'ютерним управлінням, необхідно вибрати його основні компоненти та програмні комплекси для його розробки.

2.1 Мікроконтролер

Вимірювальним ядром мультиметра повинен бути мікроконтролер, тобто мікросхема, призначена для управління електронними пристроями. Існують цілі сімейства мікроконтролерів, наприклад, мікроконтролери компанії Intel – MCS 51 (Intel), мікроконтролери компанії Atmel - AVR (Atmel).

Кожен мікроконтролер має власні параметрами, аналізуючи які, можна зробити висновок про найкращу сфері його застосування.

При розробці пристроїв необхідно зробити вибір мікроконтролера і подальше проектування до нього плати з усіма необхідними додатковими компонентами (цифро-аналогового перетворювача, широко-імпульсних модуляторів і т.п). Однак, даний варіант, хоч і є найбільш правильним, одночасно з цим є найважчим. Для проектувальника, який не володіє достатніми знаннями, дана задача може виявитися нездійсненною, поставивши в тупик на етапі першого запуску.

Існують плати, в яких вже встановлено мікроконтролер разом з усіма необхідними для подальшої роботи компонентами.

Для роботи мультиметра не потрібні великі обчислювальні потужності, які, наприклад, може надавати мікроконтролер Intel 8051, що знаходиться на платі UNI-DS3.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На даний момент найбільш поширеною платформою, яка має широкі можливості, є Arduino. Плати цієї платформи широко застосовуються як в аматорській радіотехніці, так і в навчанні. На основі цієї платформи можна розробляти досить широку кількість пристроїв: від найпростіших датчиків до роботів і складних систем управління. Її простота, а також доступність дозволяють зробити вибір на користь використання пристроїв сімейства Arduino.

Сімейство Arduino має велику кількість різних варіантів плат. Вони відрізняються один від одного не тільки мікроконтролерами в своїй основі, але і додатковими компонентами. Однією з найменших представників свого сімейства є плата Arduino Nano, однією з найбільших – Arduino Mega. Найпоширенішою платою сімейства є плата Arduino UNO. Плати даного сімейства представлені на Рис. 8.

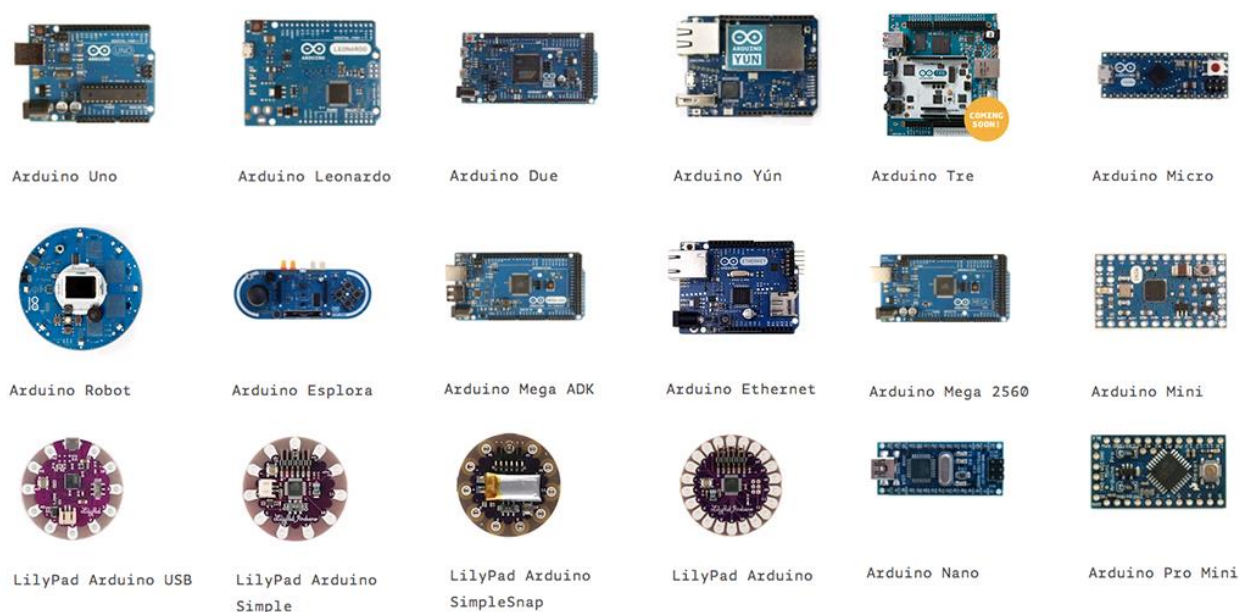


Рис. 8. Плати сімейства Arduino (без дотримання масштабу)

Arduino Mega є розширеною версією Arduino UNO, мікроконтролер в якій встановлений великої потужності. У зв'язку з цим її застосування в розробці мультиметра не є практичним.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Основні відмінності між Arduino Nano і Arduino UNO для вибору вимірювального ядра мультиметра полягають в розмірі та ціні. Розміри Arduino Nano набагато менші розмірів Arduino UNO, на противагу розбіжностям в їхній ціні. Будучи найбільш поширеною і популярною Arduino UNO є найдешевшою з усіх плат представників сімейства Arduino. Вибір повинен проводитися в залежності від того, який з цих параметрів повинен переважати при розробці. Для даної роботи розмір плати не представляється критичним, тому вибір зроблений на користь Arduino UNO.

2.2 Взаємодія пристрою з комп'ютером

Відмінність мікроконтролерів для Arduino полягає в наявності попередньо прошитого в них завантажувача (bootloader) [8]. За допомогою такого завантажувача користувач може завантажити свою програму в мікроконтролер, уникаючи використання традиційних окремих апаратних програматорів. З'єднання завантажувача з комп'ютером відбувається через USB інтерфейс (якщо він є на платі) або через окремий перехідник UART-USB.

Всі плати до UNO мали чіп-перетворювач USB-UART FT232, який дозволяв вставляти плату відразу в USB і програмувати без програматора. Підключивши її, в системі з'являвся віртуальний COM-порт, що використовується середовищем розробки Arduino для подальшого програмування. На UNO цей перетворювач замінений на мікроконтролер Atmega8U2 (пізніше на 16U2). Це дало збільшення швидкості прошивки (час прошивки зменшилася з 10 с до 3 с.).

Незважаючи на те, що плата підключається до комп'ютера через порт USB, обмін даними між програмами відбувається через віртуальний COM порт без підозри на те, що порт віртуальний.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для того, щоб працювати з UART інтерфейсом, в системі Arduino є вбудований клас Serial. Він служить для управління обміном даними через UART. Використання функції Serial значно полегшує розробку додатків, що використовують послідовний порт.

Дані завжди передаються через послідовний інтерфейс в двійковому коді.

У класі Serial можлива передача даних у двох форматах:

- як бінарний код;
- як ASCII символи.

2.3 Вибір програмних засобів розробки

У даній роботі перевага віддається програмам, що є представниками вільного програмного забезпечення. Така спрямованість обумовлюється причинами, описаними раніше [9].

Для програмування мікроконтролерів сімейства Arduino створене спеціальне середовище програмування (розповсюджується безкоштовно і з відкритим вихідним кодом) - Arduino IDE. Для завантаження програм і зв'язку середовище розробки підключається до апаратної частини Arduino. Мова програмування пристроїв Arduino заснований на C/C++ [10].

Програму управління можна писати на декількох мовах. Найбільш логічним видається варіант використання мови C або C++, на якому програмується сам мікроконтролер. Існує досить велика різноманітність середовищ програмування для цієї мови. Деякі з них є представниками вільного програмного забезпечення, деякі пропрієтарного програмного забезпечення. Однак, серед них немає орієнтованих в першу чергу на написання графічних інтерфейсів.

Існує мову програмування Processing, який також, як і C++ є об'єктно-орієнтованим і крос платформним (працює в таких операційних системах як

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Windows, Linux, Mac OS, Android). Ця мова базується на графічних можливостях мови програмування Java [11] і використовує її спрощений синтаксис, багато в чому схожий з синтаксисом C++. Інтерфейс середовища програмування Processing називається Processing IDE, і практично повністю копіює інтерфейс Arduino IDE. Це викликано тим, що оболонка Arduino IDE написана на Java на основі проекту Processing [12]. Також середовище розробки містить велику кількість бібліотек, одна з яких дозволяє спрощувати налагодження повідомлення з мікроконтролерами Arduino. Вона називається Firmata і також присутня в Arduino IDE.

З огляду на такі переваги мови програмування Processing:

- орієнтованості на написання графічних інтерфейсів,
- наявність бібліотеки Firmata,
- поширеність використання зв'язки Arduino - Processing,
- кросплатформенність,
- для написання керуючого додатки найбільш доцільне

застосування саме цієї мови.

Для моделювання електричних схем буде використовуватися програма LTSpice, для проектування друкованих плат буде використовуватися безкоштовна онлайн система розробки друкованих плат і моделювання - EasyEDA.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розробка структурної схеми мультиметра

На основі аналізу попередньої інформації про принципи електричних вимірювань та існуючих багатофункціональних вимірювальних приладів було прийнято рішення розробляти мультиметр з використанням мікроконтролера Atmel ATmega328, на якому побудована платформа Arduino UNO - електронний конструктор, призначений для швидкої розробки різних електронних пристроїв.

3.1 Логічна структура схеми зниження напруги

Згідно з технічним завданням розроблюваний мультиметр повинен вимірювати напругу до 30 В. Однак АЦП плати Arduino UNO розрахований на максимальне напруження в 5 В. Подача на нього напруги в 30 В викличе вихід АЦП з ладу. У зв'язку з цим виникає необхідність в створенні схеми, яка могла б знижувати вхідна напруга до максимально допустимого значення в 5 В.

Таким чином, основний варіант логічної структури схеми буде мати вигляд, показаний на Рис. 9.

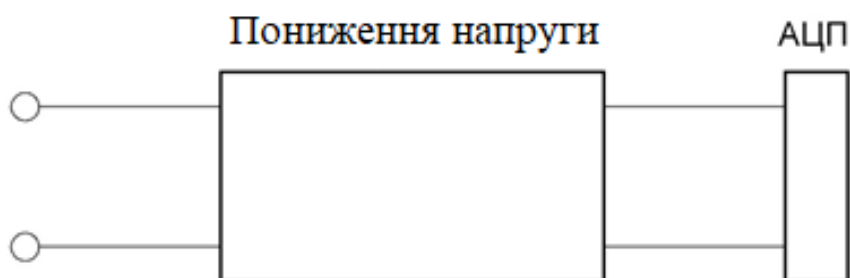


Рис. 9. Логічна структура схеми на першому етапі

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Перший модуль повинен знижувати вхідну напругу в діапазоні ± 30 В до максимально допустимого в 5 В. Однак, якщо будь-яка частина цього модуля вийде з ладу, існує ризик, що напруга не пройде процедуру зниження і відразу ж потрапить на АЦП плати, викликавши її вихід з ладу. Для того, щоб цьому запобігти, необхідно додати модуль, який би гарантовано пропускав напруга не більше 5 В. Доповнена таким модулем логічна структура схеми показана на Рис. 10.

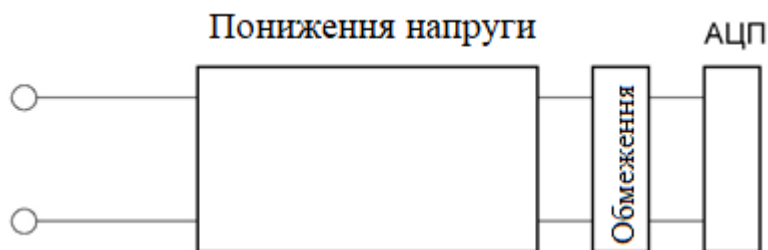


Рис. 10. Логічна структура схеми з додаванням обмежувача напруги

При вимірюванні змінного струму мікроконтролером кращим варіантом буде його випрямлення, відповідно для цього необхідний модуль випрямляча. У зв'язку з тим, що вимірювані величини можуть мати різну полярність, а в АЦП краще проводити вимірювання тільки певної полярності (позитивної), необхідно додати модуль інвертування постійного струму негативної полярності. Підсумкова логічна структура схеми представлена на Рис. 11.

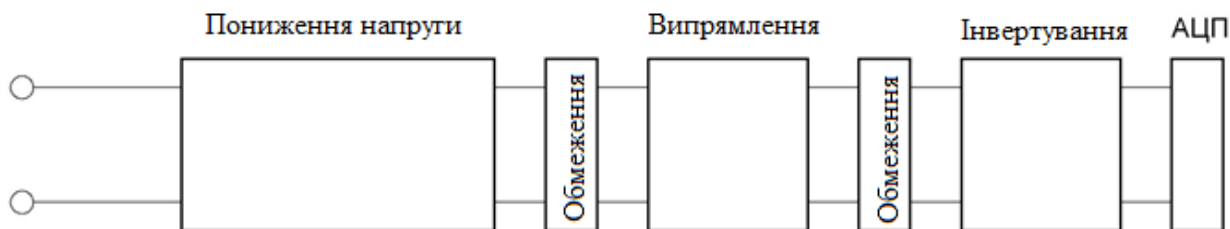


Рис. 11. Підсумкова логічна структура вимірювальної схеми: 1 –
Пониження напруги; 2 і 4 – обмежувачі; 3 – Випрямлення; 5 – Інвертування;
6 - АЦП

3.2 Фізична структура схеми зниження напруги

Технічним завданням передбачено, що мультиметр буде виконувати функції вольтметра і амперметра. Як говорилося раніше, аналогові вольтметр і амперметр мають однакову фізичну структуру. У випадку зі схемою, описаною вище, для забезпечення вимірювання сили струму мультиметром, вже наявну логічну структуру потрібно буде лише дещо розширити, орієнтуючись при розробці фізичної структури на вимір напруги.

Зниження напруги можна здійснювати декількома способами:

- с допомогою діодів і стабілітронів;
- за допомогою трансформаторів;
- за допомогою операційних підсилювачів;
- за допомогою дільників напруги.

Діод є нелінійним елементом, чиї характеристики залежать від напруги, що проходить через нього. У зв'язку з цим наявність цього елемента в схемі вимірювального приладу може вносити істотні похибки. Трансформатор може працювати тільки в ланцюгах змінного струму, і не зможе виконати необхідну завдання, якщо буде потрібно виміряти постійний струм. Випрямляч на операційних підсилювачах містить велику кількість елементів. Таким чином, для вирішення поставленого завдання найбільш прийнятним є виконання зниження напруги за допомогою дільника напруги. У свою чергу дільник напруги може бути виконаний 3 способами:

- на котушках індуктивності;

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- на конденсаторах;
- на резисторах.

Конденсатор і котушка індуктивності розраховані на застосування в ланцюгах змінного струму і не можуть працювати в ланцюгах постійного. Резистори є найбільш простими за принципом дії і конструкції, вони працюють однаково незалежно від типу протікаючого через них струму.

Виходячи з цього, для виконання функції зниження напруги доцільно вибрати дільник напруги, виконаний на високоточних резисторах.

Так як при проектуванні мультиметра враховується, що буде існувати необхідність вибору діапазону вимірювань, дільник напруги необхідно спроектувати з розрахунку :

Кількість резисторів = Кількість діапазонів вимірювання.

Розроблюваний мультиметр передбачає наявність 4 діапазонів вимірювання: $\pm 5 \text{ В}$, $\pm 10 \text{ В}$, $\pm 20 \text{ В}$, $\pm 30 \text{ В}$, отже, дільник напруги буде містити 4 резистора.

Резистори в дільнику напруги можуть бути підключені декількома способами: послідовно і паралельно. Це зображено на Рис. 12. При виборі тієї чи іншої схеми підключення номінали резисторів відрізнятимуться.

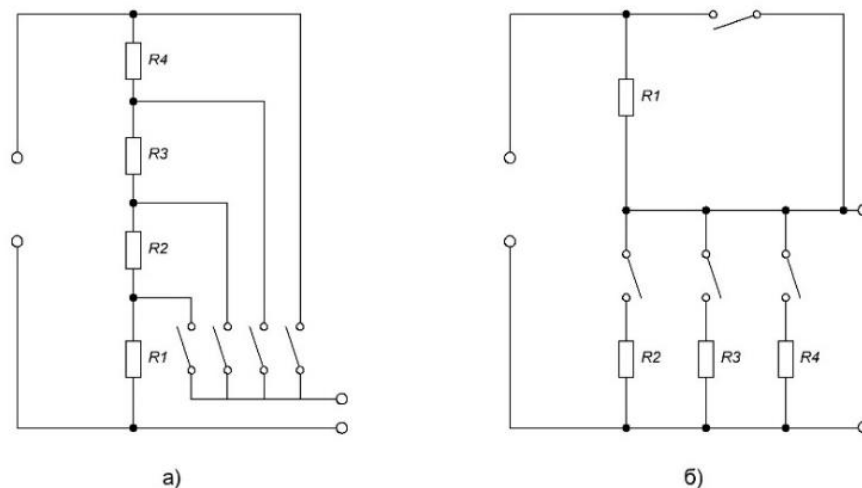


Рис. 12. Дільник напруги на резисторах: а - послідовне підключення, б - паралельне підключення

У разі послідовного підключення опору резисторів і напруги пов'язані співвідношенням:

$$\frac{5}{U_{\text{вхі}}} = \frac{\sum_{j=1}^i R_j}{\sum_{j=1}^4 R_j}$$

де i - номер діапазону вимірювання, j - номер резистора, $U_{\text{вхі}}$ - максимальна напруга діапазону напруги, R_j - опір резистора в ділянці напруги.

Формула для розрахунку опору резисторів в такому ділянці напруги має вигляд:

$$R_j = \frac{5 \sum_{j=1}^4 R_j - U_i \sum_{j=1}^{i-1} R_j}{U_{\text{вхі}}}$$

Вхідний опір ідеального вольтметра має бути нескінченно великим. Для розрахунку номіналів резисторів при послідовному підключенні доцільно ставити в якості вихідного параметра суму всіх значень вхідних опорів. Вхідний опір аналогових входів плати на Arduino UNO становить близько 100 МОм, значить за суму всіх опорів можна прийняти це значення, зменшене на один порядок для того, щоб зменшити струм, що йде через плату, тобто 10 МОм.

Опір першого резистора ділянки напруги R_1 (максимальне вимірюється напруга - 30 В):

$$R_1 = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^6 - 30 \cdot 0}{30} \approx 1,67 \cdot 10^6 \text{ (Ом)}.$$

Так як опору з таким номіналом немає, беремо найближче до нього за значенням, округлене в меншу сторону.

$$R_1 = 1,65 \text{ МОм}.$$

Опір другого резистора ділянки напруги R_2 (максимальне вимірюється напруга - 20 В):

$$R_2 = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 16 \frac{2}{3} \cdot 10^6}{20} \approx 0,83 \cdot 10^6 \text{ (Ом)}.$$

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Так як опору з таким номіналом немає, беремо найближче до нього за значенням, округлене в меншу сторону.

$$R_1 = 825 \text{ кОм.}$$

Опір третього резистора дільника напруги R_3 (максимальне вимірюється напруга - 10 В):

$$R_3 = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^6 - 10^7 \cdot (16^{2/3} + 8^{1/3})}{10} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ (Ом).}$$

Опір четвертого резистора дільника напруги R_4 (максимальне вимірюється напруга - 5 В):

$$R_4 = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6 \cdot (16^{2/3} + 8^{1/3} + 25)}{5} = 5 \cdot 10^6 \text{ (Ом).}$$

У разі паралельного підключення опір резисторів необхідно розрахувати виходячи з формули:

$$\frac{5}{U_i} = \frac{R_i}{R_i + R_1},$$

де U_i - максимальна напруга діапазону напруги, R_i - опір резистора в дільнику напруги.

Формула для розрахунку опору резисторів в дільнику напруги:

$$R_i = R_1 \frac{k}{1-k}, \text{ где } k = \frac{5}{U_i}.$$

В даному випадку доцільно поставити опір резистора R_1 , орієнтуючись на вхідний опір аналогових входів в 100 МОм. З тієї ж причини, по якій вибиралася сума опорів при послідовному підключенні, обиране опір має бути близькою розрядності. Тому основний резистор R_1 , щодо якого будуть проводитися розрахунки решти трьох резисторів подільника, буде взято з опором близько 10 МОм.

Опір другого резистора дільника напруги R_2 (максимальне вимірюється напруга - 10 В):

$$R_2 = 10 \cdot 10^6 \frac{0,5}{1 - 0,5} = 10 \cdot 10^6 \text{ (Ом).}$$

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Опір третього резистора дільника напруги R3 (максимальне вимірюється напруга - 20 В):

$$R_3 = 10 \cdot 10^6 \frac{0,25}{1 - 0,25} \approx 3,3 \cdot 10^6 \text{ (Ом)}.$$

Так як опору з таким номіналом немає, беремо найближче до нього за значенням, округлене в меншу сторону.

$$R_3 = 3,2 \text{ МОм}.$$

Опір четвертого резистора дільника напруги R4 (максимальне вимірюється напруга - 30 В):

$$R_4 = 10 \cdot 10^6 \frac{1/6}{1 - 1/6} = 2 \cdot 10^6 \text{ (Ом)}.$$

Реальні резистори не володітимуть теоретично розрахованими значеннями опору. При їх виготовленні реальний опір, як правило, не буде точно дорівнює номінальній, тим самим вноситься похибка і в результати вимірювань, одержуваних з використанням цих резисторів. При послідовному з'єднанні опору резисторів підсумовуються, отже, підсумовуються і їх абсолютні похибки (за загальним правилом визначення похибок), проте відносна похибка не змінюється. У той же час розрахунки номіналів резисторів для паралельного з'єднання резисторів виявляються більш простими. Як видно з розрахунків, при виборі суми або номіналу основного резистора в 10 МОм, при паралельному підключенні тільки один резистор був узятий з наближеним значенням. Виходячи з цього в цієї роботи вибір був на користь використання паралельного підключення резисторів в дільнику напруги.

Модуль зниження напруги для вольтметра показаний на Рис. 13.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

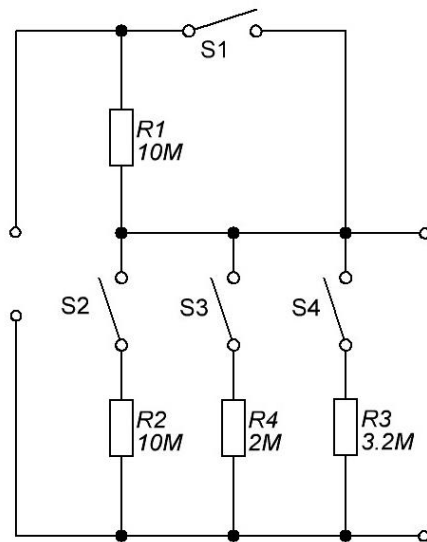
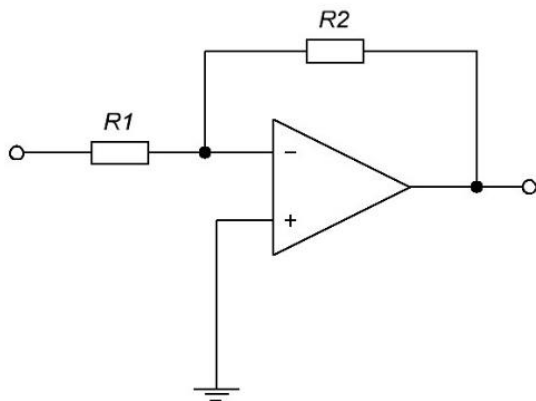


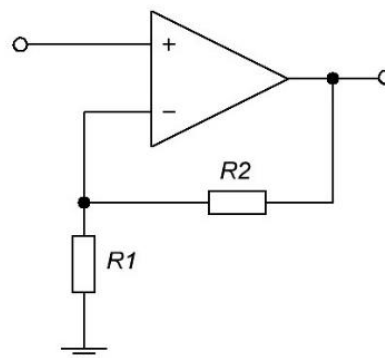
Рис. 13. Схема модуля зниження напруги для вольтметра

У тому випадку, якщо є необхідність проводити вимірювання в діапазоні, верхня межа якого істотно менше напруги, що визначається технічними характеристиками використовуваного АЦП (як правило 5 В), вхідний сигнал доведеться посилювати. Це можна зробити, якщо додати операційний підсилювач, що збільшує надходить на нього напругу в 10 разів. Таким чином можна буде розширити набір діапазонів вимірюваних напруг діапазоном з верхньою межею 0,5 мВ.

Операційний підсилювач можна включити по інвертуючій і не інвертуючій схемі, як показано на Рис. 14.



а)



б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Рис. 14. Схеми включення операційного підсилювача: а - інвертується,
б - не інвертується

В даному випадку не можна змінювати полярність сигналів, тому що це неминуче викличе спотворення отриманих результатів. Важливо зберегти полярність вихідного сигналу, тому буде використовуватися не інвертується схема посилення на операційному підсилювачі.

Для такої схеми коефіцієнт посилення можна знайти за формулою:

$$K = 1 + R2/R1.$$

Так як необхідний коефіцієнт посилення $K = 10$, відношення резисторів має дорівнювати:

$$R2/R1 = K-1 = 9.$$

Звідси можна знайти номінали резисторів $R1$ і $R2$, рівні 1 МОм і 9 МОм відповідно. Так як резистора з номіналом в 9 МОм немає, підбираємо найближчим до нього, округлене в меншу сторону - 8,2 МОм. Звідси виходить, що коефіцієнт посилення на такій схемі буде дорівнює:

$$K = 1 + 8,2/1 = 9,2.$$

При цьому максимально можливим більш прийнятною буде напруга 0,54 мВ.

Необхідно відзначити деякі особливості включення схеми посилення на операційному підсилювачі в загальну схему. В даному випадку не можна обійтися одним ключем, підключеним або на вхід, або на вихід. Це викликано тим, що, якщо розташувати ключ до неінвертуючого входу операційного підсилювача, виникне замкнута ланцюг через резистори, що забезпечують коефіцієнт посилення, і інвертується вихід операційного підсилювача, що викличе спотворення в одержуваних результатах. Якщо розташувати ключ після виходу операційного підсилювача, то при його замиканні операційний підсилювач виявиться підключеним паралельно з порожнім проводом, що володіє нехтує маленьким опором по відношенню до

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

опору ланцюга операційного підсилювача. Відповідно, струм потече по шляху з меншим опором, і підсилювальна схема не буде працювати. Виходячи з цих особливостей, необхідно поставити кілька ключів на вхід і вихід, що забезпечують надійне відключення ланцюга операційного підсилювача від вимірювальної схеми, або ж правильне його включення.

Оскільки при паралельному підключенні розрахункового номіналу резистора для діапазону 20 В не існує, доцільно замінити його на не інвертує схему посилення на операційному підсилювачі.

Схема модуля зниження-підвищення напруги для вольтметра представлена на Рис. 15.

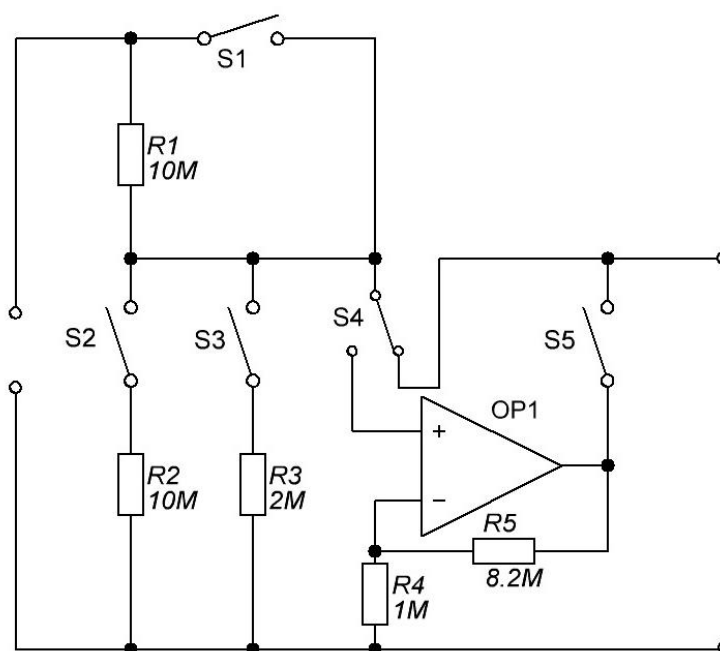


Рис. 15. Схема модуля зниження-підвищення напруги для вольтметра

3.3 Вибір елементної бази

Підсумкова схема містить такі елементи як:

- резистори;
- конденсатори;
- операційні підсилювачі;

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- діоди;
- стабілітрони;
- релейні модулі ;
- транзистори.

Будь-яка ділянка ланцюга має три основні електричними характеристиками: опір, індуктивністю і ємність. Однак, є елементи, для яких одна з цих характеристик є головною, а значення двох інших мале. Елемент, для якого головною характеристикою є опір - називається резистором, а елемент, для якого такою характеристикою є ємність, називається конденсатором.

Головне при їх виборі це номінал і деякі додаткові характеристики, такі як максимальна потужність для резисторів і максимальна напруга для конденсаторів. З цього випливає, що акцентувати увагу на підборі якоїсь конкретної продукції, що випускається промисловістю моделі, яка має заданими характеристиками, не слід.

Конкретну модель необхідно підібрати для операційних підсилювачів, діодів, стабілітронів, релейних модулів і транзисторів.

Найпростіше підібрати елементну базу для реле. В якості основних параметрів при його виборі необхідно задати: напруга живлення 5 В, максимальна напруга роботи не менше 30 В, максимальна сила струму роботи не менше 2 В. Таких реле існує досить багато. Наприклад, поширені серед проектувальників схем для Arduino реле SONGLE SRD-05VDC або TIANBO HJR-3FF-05VDC. Можливо використовувати будь-який з них, спираючись лише на ціну при покупці. Вітчизняні реле розраховані на напругу живлення не нижче 6 В, відповідно, вони розглядатися не будуть.

Для таких реле рекомендовано використання поширеного біполярного транзистора BC547 або його вітчизняного аналога КТ3102Г, а також діода 1N4148 або його вітчизняного аналога КД522Б [18] .

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стабілітрони в схемі присутні з номіналами в 5,1 В і в 4,7 В. Оскільки розрахунки загороджувального резистора в схемі модуля знакового детектора велися для стабілітрона КС147А, можна взяти його або його закордонний аналог 1N4688. Вітчизняний стабілітрон з номіналом в 5,1 В - КС407Г. Його закордонним аналогом є 1N5231.

Так як одна з моделей діодів вже запропонована для реалізації модуля реле, можна розглянути його придатність для використання в основній схемі, тобто в модулях випрямлення і знакового детектора. Діод 1N4148 розрахований на максимальну зворотну напругу до 100 В. Отже, його можна використовувати в модулях випрямлення і знакового детектора, де напруга не перевищує 14 В. Однак, до одного з діодів в модулі випрямлення пред'являються особливі вимоги щодо зворотних струмів витоку. Вони повинні бути від 1 мкА і нижче [16]. Низькими зворотними струмами витоку володіють діоди Шотткі, наприклад, діод 1N5819 і його вітчизняний аналог КДШ2105В.

Для вимірювальних схем бажано використання підсилювачів, за своїми характеристиками наближених до ідеальних. Таким підсилювачем може бути підсилювач із надмалими спотвореннями AD8599ARZ. Однак, ціна такого підсилювача досить велика. Більш бюджетним варіантом може стати один з найпоширеніших підсилювачів LM358n. В його корпусі містяться 2 операційних підсилювача, розрахованих на живлення, як від однополярного джерела, так і від двополярного. Він володіє низькою напругою зміщення і, хоч і вносить деяку похибка, її можна усунути вибором великих номіналів резисторів. Також ці підсилювачі використовуються в реальних мультиметрах, наприклад, в DT-830В.

3.4 Підсумкова схема і варіанти її реалізації

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Підсумкова схема з усіма номіналами і використовуваними елементами представлена в додатку 1. Прядок її підключення до плати Arduino UNO показаний на Рис. 16.

Кожне реле підключається до цифрових висновків плати Arduino UNO. Для простоти сприйняття, реле з 2 по 10 підключаються до відповідних цифрових виходів, реле 1 підключається до виходу 11. Однак, це не є обов'язковою умовою. Основний вихід плати, що знаходиться після модуля інвертування, підключається до аналогового виходу A0, а вихід плати після модуля знакового детектора підключається до виходу A1 на платі.

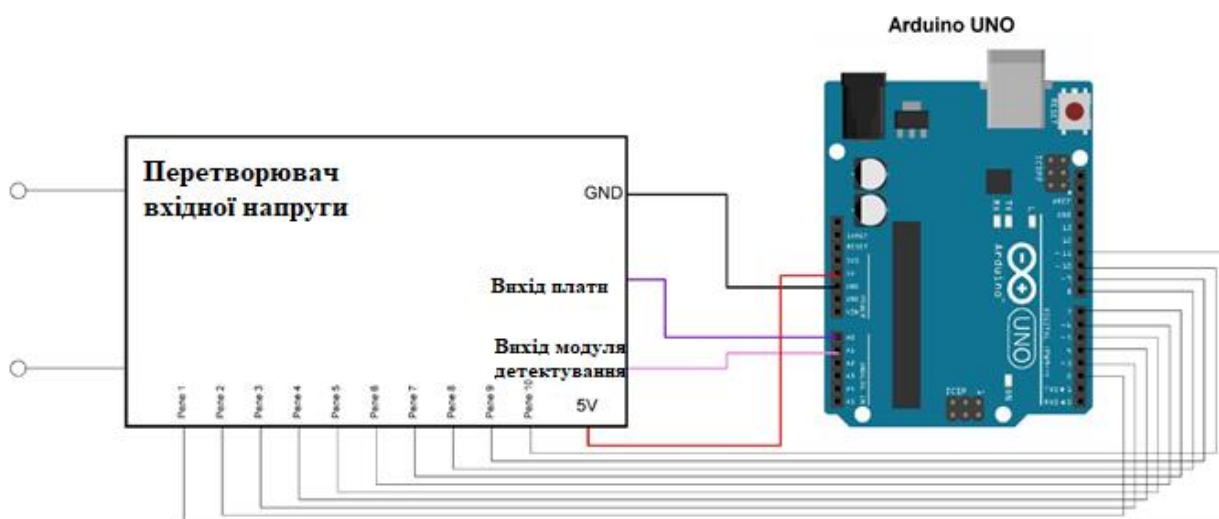


Рис. 16. Підключення схеми перетворювача вхідного напруги до плати Arduino UNO

Розроблена схема може бути реалізована як на одній платі, так і може бути розбита на кілька дрібніших, наприклад, на модулі. Такий поділ доцільно для спрощення її подальшої налагодження. Одне з можливих розбиттів плати:

- модуль реле;
- основний модуль;
- модуль випрямлення;

- модуль знакового детектора;
- модуль інвертування.

Плата модуля знакового детектора містить схему детектування, 2 виходи для підключення живлення операційних підсилювачів, 2 земляних виведення, вихід для отримання плюса напруги з інших плат, вихід для підключення до входу A1 на Arduino UNO.

Один з варіантів друкованої плати з модулем знакового детектора представлений на Рис. 10 і 11 додатка 2.

З'єднання модулів між собою, а також їх підключення до плати Arduino UNO показано на Рис. 17.

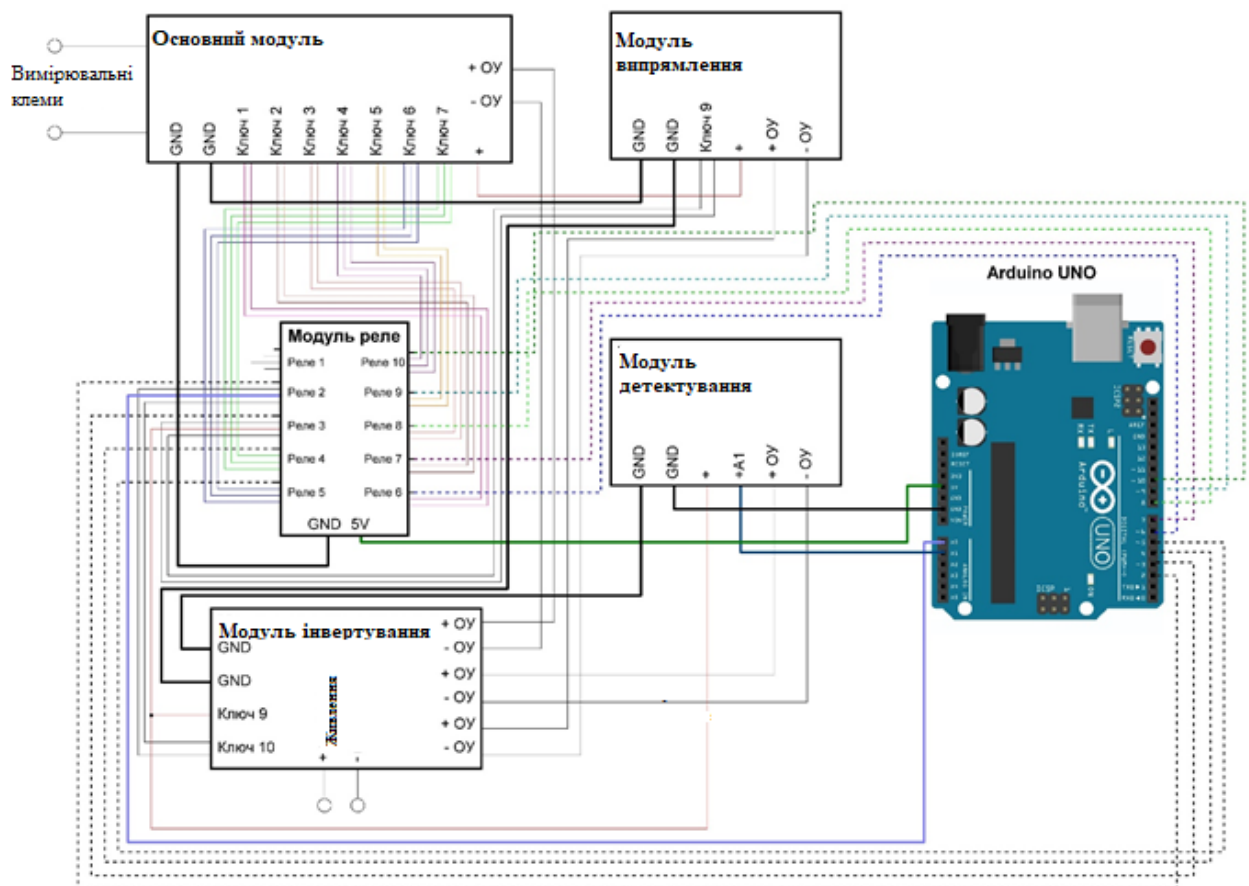


Рис. 17. Підключення модульної схеми перетворювача вхідного напруги до плати Arduino UNO

4. Розробка алгоритму та електричної схеми

4.1 Розробка алгоритму функціонування проектованого пристрою

Читання з входів АЦП як в Arduino UNO, так і в інших в інших подібних їй платах, проводиться за допомогою команди AnalogRead (). Аргументом для цієї команди є номер входу, з якого необхідно вважати ці дані. Таким чином, для того, щоб вважати дані і записати їх в якусь змінну, яка буде використовуватися далі, можна обмежитися однією командою.

Таким чином, прийняття даних буде організовано за допомогою стандартної команди для Arduino - AnalogRead ().

Однак, дані, одержувані з АЦП - цілі числа, що знаходяться в діапазоні від 0 до 1023. Для того, щоб перетворити ці дані в значення напруги, одержуваного на вході АЦП, необхідно помножити ці дані на значення напруги живлення плати, і розділити на величину $2^{(розрядність\ АЦП) - 1}$.

Таке обчислення дійсно показує значення напруги, присутнього в даний момент часу на вході АЦП. Однак, цього недостатньо для того, щоб дізнатися реальне значення на вході перетворювальної плати. Для цього необхідно ввести розрахунок з урахуванням поправочних коефіцієнтів. Найпростіший розрахунок з урахуванням дільників напруги.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Формула для обчислення цього поправочного коефіцієнта:

$$K = \frac{R_1 + R_2}{R_2}.$$

Тоді, коефіцієнт для діапазону в 10 В буде дорівнює:

$$K_1 = \frac{10 + 10}{10} = 2.$$

Коефіцієнт для діапазону в 30 в дорівнюватиме:

$$K_2 = \frac{10 + 2}{2} = 6.$$

Коефіцієнт для діапазону в 0,5 у буде обчислюватися дещо іншим способом. Так як попередні 2 діапазону були розраховані на зниження вихідного напруга, діапазон в 0,5 В має на увазі його підвищення. Підвищення в цьому діапазоні проводиться в 9,2. Для того, щоб не змінювати формулу і зробити її універсальною для всіх діапазонів, потрібно помножити отримане значення на 0,109, значить $K_3 = 0,109$. Для діапазону в 5 В, як і для будь-яких вимірів амперметра, $K_4 = 1$.

Таким чином, підсумкова формула для обробки отриманого значення з АЦП і його перетворення в значення напруги на вході перетворювача вхідного напруги виглядає наступним чином:

$$U_{in} = \frac{\text{analogRead}(A0) \cdot U_n \cdot K}{1023.0}.$$

Однак, дана формула дозволяє отримувати значення напруги. Для того, щоб модифікувати її та пристосувати до отримання значень сили струму, необхідно скористатися законом Ома для ділянки кола і ввести змінну, яка б містила в собі значення опору шунтуючих резисторів. Тоді, в залежності від діапазону вимірювань і режиму мультиметра, ця змінна може приймати значення:

➤ режим роботи - амперметр, діапазон вимірювань 2 А, значення змінної 0,1;

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- режим роботи - амперметр, діапазон вимірювань 0,2 А, значення змінної 9,1;
- режим роботи - вольтметр, значення змінної 1.

З огляду на ці поправки, формула для отримання підсумкового значення:

$$I_{\text{tot}} = \frac{\text{analogRead}(A0) \cdot U_{\text{п}} \cdot K}{1023.0 \cdot \text{amp}},$$

де I_{tot} - підсумкове вимірне значення, $U_{\text{п}}$ - напруга живлення, K - поправочний коефіцієнт, amp – опір шунтуючого резистора.

Звичайні електровимірювальні прилади для змінного струму вимірюють ефективне (діюча) значення вимірюваної величини. Це значення виходить розподілом амплітудного значення на $\sqrt{2}$. Arduino вимірює миттєві значення напруги, які змінюються за синусоїдальним (гармонійного) закону, тому діюче значення вимірюваної величини знаходиться як корінь квадратний із середнього значення квадратів миттєвих значень.

Через збільшення кількості операцій, а також з-за використання функції вилучення кореня, необхідно розділити вимірювання змінних величин з вимірами величин постійних. Для цього необхідно ввести оператор «Якщо». У такому випадку, якщо користувач вибирає вимір постійних величин, виконується розрахунок за наведеною формулою без додаткових операцій, якщо користувач вибирає вимір змінних величин, то програма перемикається на виконання операцій, для отримання ефективного значення. Блок схема даного процесу представлена на Рис. 18.

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

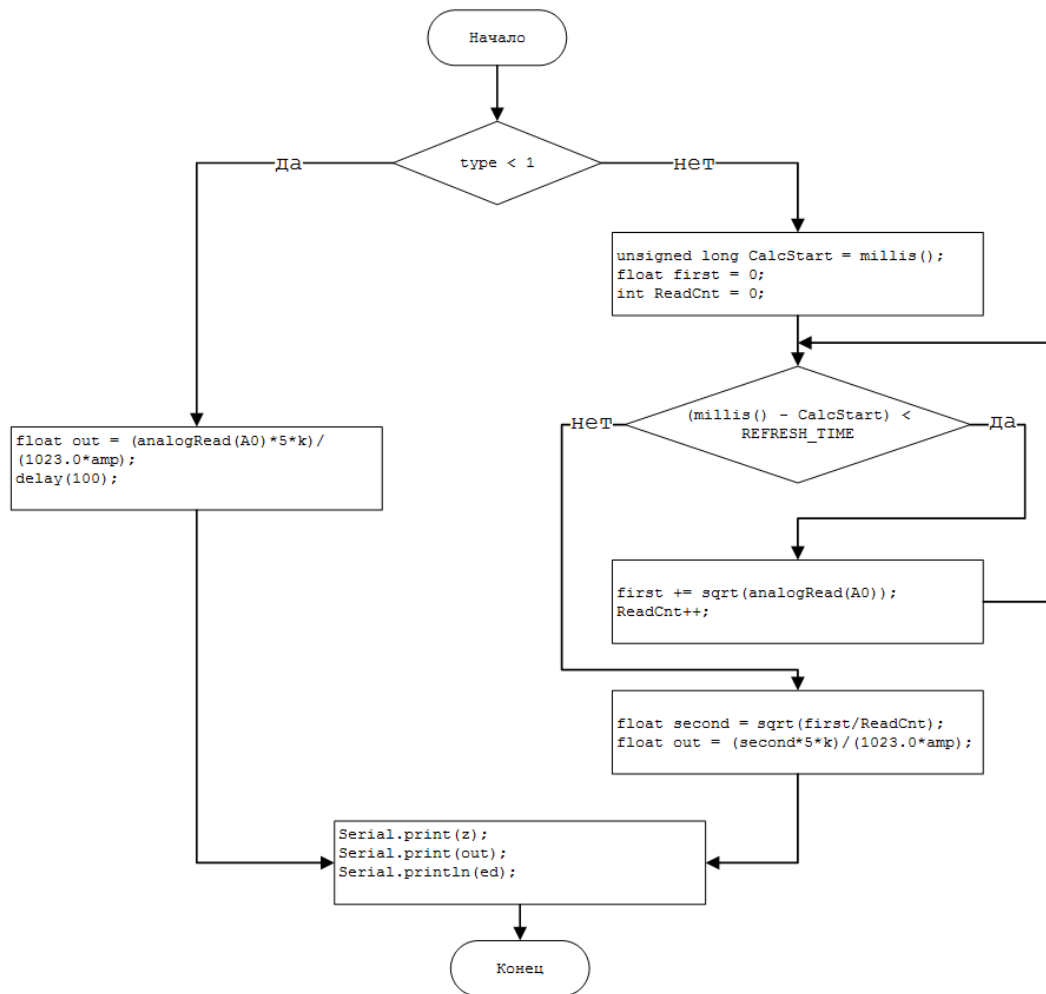


Рис. 18. Блок схема процесу вимірювання

4.2 Розробка електричної схеми проектованого пристрою

Принципова схема пристрою приведена в додатку 7.

Технологія вимірювання сили струму заснована на вимірі напруги на якомусь конкретному резисторі малого опору, через який і проходить вимірюваний струм.

У амперметра використовуються резистори дуже малих номіналів опору. Так, для вимірювання сили струму порядку декількох ампер необхідно ставити резистори номіналом порядку десятих або сотих часток ом [13]. Грунтуючись на застосуванні резисторів, а також на відносній

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

дешевизні проектованого мультиметра, доцільним буде використання вуглецевих резисторів. Найменше опір таких резисторів становить 0,1 Ом, що є допустимим для вимірювання сили струму в 2 А (встановленої максимальної межі вимірюваної сили струму відповідно до технічного завдання).

При проходженні через такий резистор струму в 2 А, на ньому буде розсіюватися потужність, рівна:

$$P = I_{\max}^2 R = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ (Вт)}.$$

Напруга на резисторі відповідно до закону Ома дорівнюватиме:

$$U = I_{\max} R = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ (В)}.$$

Мінімально можливе значення сили струму, можливе виміряти при такому опорі становить:

$$I_{\min} = \frac{U_{\min}}{R} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,1} = 0,05 \text{ (А)}.$$

Розроблюваний мультиметр передбачає наявність ще одного діапазону вимірювання в 0,2 А. вимірювання сили струму в такому діапазоні робить амперметр міліамперметром. У таких амперметрах опір знаходиться зазвичай в інтервалі від 1 до 10 Ом [13]. Якщо виходити з попередніх розрахунків потужності і, спираючись на неї, розрахувати опір, воно буде дорівнює:

$$R = \frac{P}{I_{\max}^2} = \frac{0,4}{0,04} = 10 \text{ (Ом)}.$$

Найближче значення для промислових резисторів одно 9,1 Ом. Тоді напруга на резисторі відповідно до закону Ома дорівнюватиме:

$$U = I_{\max} R = 0,2 \cdot 9,1 = 1,82 \text{ (В)}.$$

Мінімально можливе значення сили струму, можливе виміряти при такому опорі становить:

$$I_{\min} = \frac{U_{\min}}{R} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{9,1} = 0,55 \text{ (мА)}.$$

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

5. Розробка програмного комплексу мультиметра

Після проектування схеми перетворення напруги необхідно розробити програмний комплекс, що дозволяє виконувати вимірювання і управління схемою.

5.1 Логічна структура програмного комплексу

АЦП Arduino UNO приймає перетворене значення напруги в числовому форматі. Кожному значенню напруги відповідає число, що знаходиться в межах від 0 до 1023 (тому що АЦП Arduino UNO – 10-тирозрядне). Для того, щоб отримати з цього числа напругу, необхідно

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

провести ряд обчислень, виконувати які можна за допомогою мікроконтролера.

Управління мультиметром за допомогою комп'ютера полягає в управлінні окремими компонентами спроектованої схеми, тобто в управлінні реле, які б за допомогою перемикачів вибудовували необхідний ланцюжок для напруги. Виконувати таке на Arduino UNO, не змінюючи код програми, не можна. Для цього буде потрібно керуюча програма. Також, для того, щоб зібрати весь функціонал, необхідний користувачу, в одному місці, необхідно додати в керуючу програму вікно, в якому відображалися б отримані результати.

Отримана при цьому логічна структура програмного комплексу мультиметра показана на Рис. 18.



Рис. 18. Логічна структура програмного комплексу мультиметра

5.2 Реалізація програмного комплексу

Програма для Arduino повинна виконувати наступні функції:

- приймати і обробляти дані, отримані з АЦП;
- відправляти оброблені дані в управління додаток;
- приймати команди від керуючого додатку про необхідність перемикачів ділянки кола;
 - управляти станом реле по команді.
- Керуючий, повинне виконувати наступні функції:
 - відображати інтерфейс для взаємодії між користувачем і комп'ютером;

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

- посилати сигнали на Arduino в залежності від вибору , зробленого користувачем;
- приймати оброблені дані і виводити їх на екран.

Так як дані передаються в обидві сторони, існує необхідність в налаштуванні взаємодії програм.

Arduino IDE і Processing IDE мають широкий набір різних бібліотек. Оскільки обидва ці додатки мають вбудовані стандартні програми для роботи з Serial портом, взаємодія між Arduino UNO і керуючим додатком відбувається по Serial порту.

Для розвантаження послідовного порту додається булева змінна. Оскільки даних від керуючого додатку надходить менше, ніж даних про вимірних значеннях, пріоритетність по використанню Serial порту віддається Arduino.

Необхідно ввести функцію посилю рядки в керуючу програму establishContact () з боку Arduino. Отримання відповіді від неї означає, що вона готова на прийом даних.

З боку керуючої програми необхідно ввести функцію serialEvent (), яка аналізує дані в послідовному порте. Вона очікує певного символу в рядку, отримуючи який розуміє, що необхідно послати відповідь про можливість прийому даних. Послідовність її дії така:

- зчитування даних, що надходять;
- перевірка на порожній масив даних або «нуль»;
- видалення пробілів;
- при першому прийомі даних зміна значення булевої змінної firstContact (необхідної для визначення з'єднання з Arduino) і повідомлення мікроконтролеру про готовність до прийому даних;
- при повторному прийомі необхідного типу даних відображення їх в консолі і відповідь мікроконтролеру про подію (наприклад, про кліці на інтерфейсну кнопку);

						ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
							46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

➤ повідомлення мікроконтролеру про готовність приймати нові дані.

Таким чином, взаємодія організовано наступним чином:

При запуску Arduino відсилає вітальне повідомлення, після якого починається обмін керуючими символами;

Якщо в порту виявляється «А», керуюча програма приймає значення;

Якщо в порту виявляється «1», мікроконтролер приймає сигнал.

Перемикання конкретного реле необхідно сприймати як наслідок якогось конкретного події. В даному випадку, перемикання повинно відбуватися після того, як користувач натискає кнопку в інтерфейсі керуючої програми. Тобто кожна кнопка відповідає за перемикання одного або декількох реле.

Так як призначення кожного реле відомо, відомі і кнопки, які необхідно винести в інтерфейс програми. Це кнопки «Амперметр» і «Вольтметр», що визначають режим роботи мультиметра, кнопки «~» і «-», що означають тип вимірюваного напруги, кнопки «0,5 В», «5 В», «10 В» і «30 В », що визначають діапазон виміру напруги й кнопки « 2 А » і « 0,2 А », що визначають діапазон виміру сили струму.

Необхідно закріпити кожен ключ за певним реле (їх також слід пронумерувати) перед тим, як приступати до написання програм для управління. Одне з можливих відповідностей, прийнятих для виконання даної роботи, між ключами і реле представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Відповідність ключ-реле

№ ключа	№ Реле	Призначення
1	6	Діапазон 5 В вольтметра
2	7	Діапазон 10 В вольтметра
3	8	Діапазон 30 в вольтметра
4	10	1 положення: ланцюг в обхід операційного підсилювача 2 положення: підключення операційного підсилювача для забезпечення діапазону 0,5 у

		вольтметра
5	9	Діапазон 0,5 У вольтметра
6	5	1 положення: діапазон 2 А амперметра 2 положення: діапазон 0,2 А амперметра
7	4	1 положення: амперметр 2 положення: вольтметр
9	3	1 положення: випрямляч 2 положення: порожній провід
10	2	1 положення: інвертор 2 положення: порожній провід

Після того, як відповідність між ключами і реле встановлено, необхідно встановити відповідність між контактами реле і контактами, до яких підключені певні ділянки схеми. Дане відповідність описується в таблиці 2.

Логічно процес перемикання повинен відбуватися таким чином:

- користувач натискає на кнопку;
- керуюча програма реагує на її натискання і посилає про це сигнал мікроконтролеру;
- мікроконтролер сприймає дані, отримані від керуючої програми;
- відповідно до того, які дані прийшли від керуючої програми, перемикається певне реле або кілька.

Перемикання реле можна виконувати за допомогою зміни рівня напруги на цифровому виводі, до якого він підключений. В Arduino IDE існує спеціальна команда `digitalWrite (a, b)`, де `a` - номер порту, `b` - низький (Low) або високий (High) рівень напруги на цьому порту.

За кожною інтерфейсною кнопкою закріплюється певний символ, який дозволяє визначати натиснуту кнопку і передавати цей символ в мікроконтролер, за яким би він розумів, які саме реле потрібно переключити і в які положення.

Тоді в керуючій програмі необхідно використовувати 2 функції: функцію за `mousePressed` і `MouseIsOver ()`. Перша функція відповідає за сприйняття натискання кнопки, друга функція необхідна для визначення

того, на яку саме кнопку було абсолютно натискання. Обидві ці функції повинні бути з'єднані через кон'юнкцію в умови оператора «Якщо». Таким чином, якщо обидві ці функції беруть значення істини, то це означає початок обробки події, що сталася. Усередині цього оператора в послідовний порт відправляється символ, що означає натискання конкретної кнопки.

Реакція керуючої програми і мікроконтролера на натискання кожної кнопки представлена в таблиці 3.

Таблиця 3 - Інтерфейсні кнопки і реакція на їх натискання

Назва кнопки	Реакція керуючої програми	Реакція мікроконтролера	Підсумок
Амперметр	Відправка послідовний порт «0» в	Ухвалення послідовного порту «1», установка значення цифрового виводу 4 в значення «High» з	Реле 4 перемикається на ланцюг амперметра
Вольтметр	Відправка послідовний порт «1» в	Ухвалення послідовного порту «1», установка значення цифрового виводу 4 в значення «Low» з	Реле 4 перемикається на ланцюг вольтметра
~	Відправка послідовний порт «3» в	Ухвалення послідовного порту «3», установка значення цифрового виводу 3 в значення «High» з	Реле 3 перемикається на ланцюг випрямляча
-	Відправлення послідовний порт «4» в	Ухвалення послідовного порту «4», установка значення цифрового виводу 3 в значення «Low» з	Реле 3 перемикається на порожній провід
5 В	Відправка послідовний порт «5» в	Ухвалення послідовного порту «5», установка значення цифрового виводу 6 в значення «High», цифрових висновків 7, 8, 9, 10 в значення «Low» з	Реле 6 замикається, реле 7, 8, 10 розмикаються, реле 9 перемикається на ланцюг в обхід операційного підсилювача
10 В	Відправка послідовний порт «6» в	Ухвалення послідовного порту «6», установка значення цифрового виводу 7 в	Реле 7 замикається, реле 7, 8, 10 розмикаються, реле 9 перемикається на

		значення «High», цифрових висновків 6, 8, 9, 10 в значення «Low»	ланцюг в обхід операційного підсилювача
30 В	Відправка в послідовний порт «7»	Ухвалення з послідовного порту «7», установка значення цифрового виводу 8, в значення «High», цифрових висновків 6, 7, 9, 10 в значення «Low»	Реле 8 замикається, реле 6, 7, 10 розмикаються, реле 9 перемикається на ланцюг в обхід операційного підсилювача
0,5 В	Відправка в послідовний порт «2»	Ухвалення з послідовного порту «2», установка значення цифрового виводу 6, 9, 10 в значення «High», цифрових висновків 6, 7, 9, 10 в значення «Low»	Реле 6 і 10 замкнулися, реле 9 переключилася на ланцюг операційного підсилювача, реле 7, 8 розмикаються
0,2 А	Відправлення в послідовний порт «8»	Ухвалення з послідовного порту «8», установка значення цифрового виводу 5 в значення «High»	Реле 5 перемикається на шунт в 9,1 Ом
2 А	Відправлення в послідовний порт «9»	Ухвалення з послідовного порту «8», установка значення цифрового виводу 5 в значення «Low»	Реле 5 перемикається на шунт в 0,1 Ом

Реалізація управління подібному способом дозволяє задавати необхідні поправочні коефіцієнти і значення змінних для загальної формули в тому операторі, в якому проводиться перемикавання стану цифрових виходів.

Передача вимірних значень з Arduino відбувається наступним чином.

Під час вибору конфігурації вимірювального ланцюга через установку реле відбувається вибір необхідних коефіцієнтів і змінних для отримання підсумкового значення, яке згодом у вигляді текстового рядка буде відправлено в послідовний порт і лічено керуючої програмою.

Інтерфейс програми управління при першому запуску представлений на Рис. 19.

						ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			50



Рис. 19. Інтерфейс програми без вибору режиму вимірювання

Для того, щоб програма почала показувати дані і діапазони вимірювань, необхідною умовою є вибір між амперметром або вольтметром, а також між постійним або змінним напругою. Далі, в залежності від того, що саме було вибрано з'являються діапазони вимірювань. Інтерфейс програми в режимі роботи «вольтметр» показаний на Рис. 20, інтерфейс програми в режимі роботи «амперметр» показаний на Рис. 21.



Рис. 20. Інтерфейс програми в режимі роботи «вольтметр»

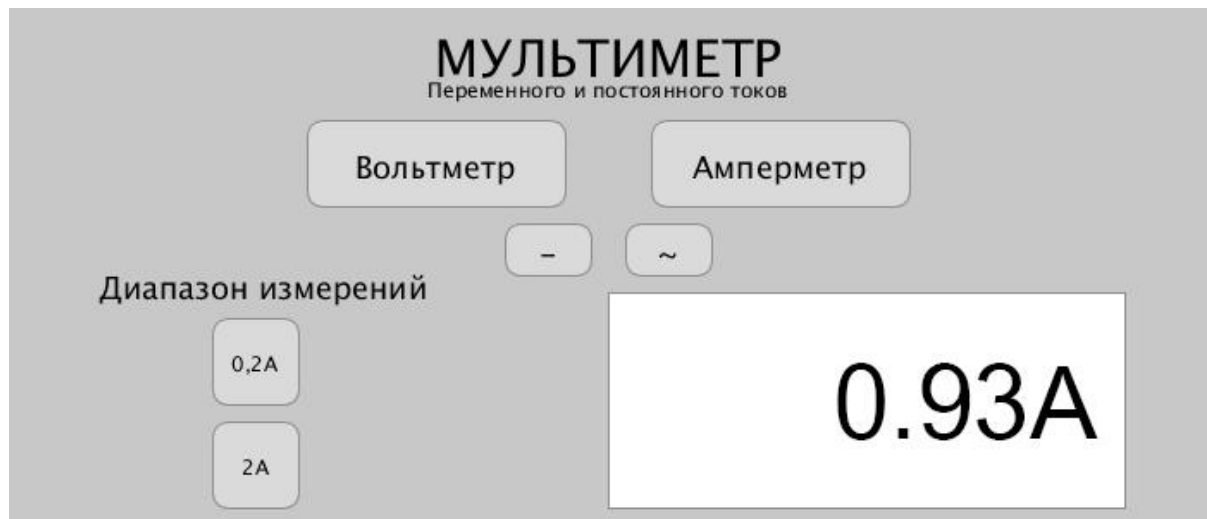


Рис. 21. Інтерфейс програми в режимі роботи «амперметр»

Висновки

В ході роботи досягнуто наступних результатів:

- проаналізовані існуючі технічні рішення;
- розроблена структура програмного забезпечення управління мультиметром;
- розроблена і протестована програма вимірювання для Arduino UNO.
- розроблена принципова схема мультиметра з комп'ютерним управлінням;

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- обґрунтований вибір інструментальних засобів і елементної бази мультиметра;
- обґрунтований вибір методів вирішення поставлених завдань;
- розроблена програма, що управляє мультиметром і її інтерфейс;
- розроблена структура програмного комплексу мультиметра.
- Розроблено принципову схему мультиметра з комп'ютерним управлінням.

Список використаних джерел

1. Івлєв В.І., Батин В.В., Белянущкін А.В. [та ін.]. Азбука фізики для студентів: навч. посібник. Саранськ: Вид-во мордою. ун-ту, 2014. 64 с.
2. Основи використання цифрових мультиметров. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://www.kipia.info/publication/multimetry/>
3. Пристрій амперметра і вольтметра. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://electricalschool.info/spravochnik/izmeren/1840-ustrojstvo-ampmetra-i-voltmetra.html>

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

4. Садченко Д.А. Сучасні цифрові мультиметри. М .: Солон-Прес, 2002.
5. Вознесенський А.С., Шкуратнік В.Л. Електроніка та вимірювальна техніка. М .: Гірська книга: Изд-во МДГУ, 2008. 480 с.
6. Діючі значення струму і напруги. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://electricalschool.info/spravochnik/electroteh/566-dejjstvujushhie-znachenija-toka-i.html>
7. Вимірювання діючого значення напруги. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://arv.radioliga.com/content/view/107>
8. Arduino. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://arduino.ru/About>
9. Сирцова А.О. Роль вільного ПЗ в освіті // Нові інформаційні технології в автоматизованих системах. 2015. № 18. С. 440-445.
10. Програмування Ардуіно. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://arduino.ru/Reference>
11. Processing - мова програмування в Arduino. [Електронний ресурс] Код доступу: <https://volti.ru/wiki/processing/>
12. Processing і Arduino.[Електронний ресурс] Код доступу: <http://robocraft.ru/blog/arduino/336.html>
13. Внутрішній опір - амперметр. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://www.ngpedia.ru/id458464p1.html>
14. Випрямляч струму. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://bse.sci-lib.com/article007421.html>
15. Прецизійні випрямлячі на ОУ в пристроях на мікросхемах. [Електронний ресурс] Код доступу: <http://nauchebe.net/2014/06/precizionnye-vupryamiteli-na-ou-v-ustrojstvaх-na-mikrosxemax/>
- 16 . Волович Г.І. Схемотехніка аналогових та аналого цифрових електронних пристроїв. 3 е изд. стер. М .: Додека XXI, 2011. 528 с.
17. Єгоров О.М., Куренівський А.А, Храмов А.Є. Активні фільтри. [Електронний ресурс] Код доступу:

						ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			54

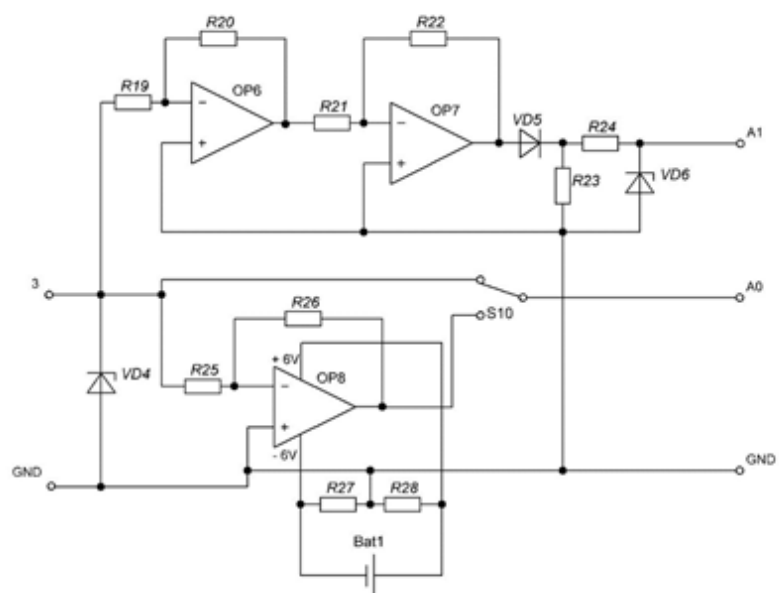
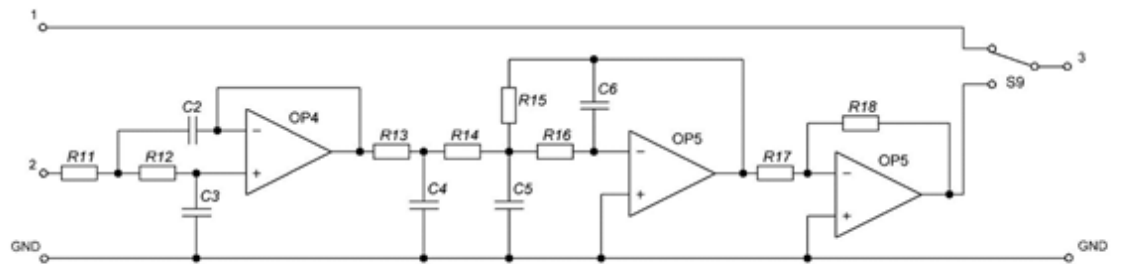
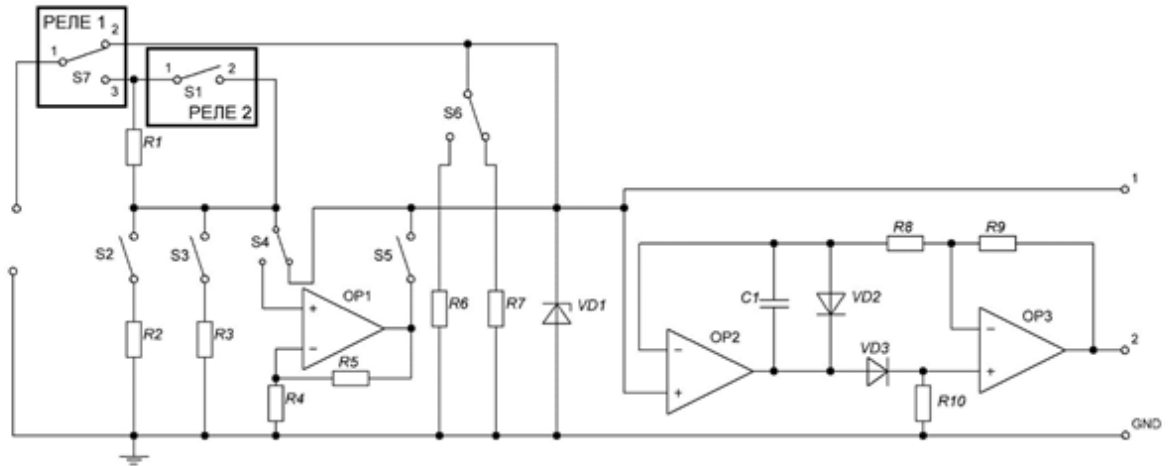
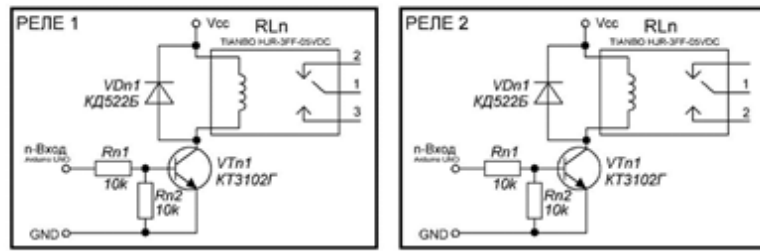
http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2015/02/16/08_aktivnye_filtry.pdf

18. Реле модуль. [Електронний ресурс] Код доступу:
http://zelectro.cc/DIY_Relay_module

19. Про операційних підсилювачах (ОП). [Електронний ресурс] Код доступу: <http://www.prointellekt.ru/OU1.php>

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Додаток 1



Зона	Поз. Позначення	Найменування	К- сть	Примітка
		<i>Резистори</i>		
	R1, R2	MЛТ-0,5 0.5 Вт, 10 МОм, ±5%	2	
	R3	MF-25 0.25 Вт, 2 МОм, ±1%	1	
	R4, R20	MF-25 0.25 Вт, 1 МОм, ±1%	2	
	R5	MЛТ-0,5 0.5 Вт, 8.2 МОм, ±5%	1	
	R6	KNP-100 1 Вт, 0.1 Ом, ±5%	1	
	R7	CF-50 0.5 Вт, 9.1 Ом, ±5%	1	
	R8...R10, R23	MF-25 0.25 Вт, 2 кОм, ±1%	4	
	R11, R12	MF-25 0.25 Вт, 16 кОм, ±1%	2	
	R13	MF-25 0.25 Вт, 6.2 кОм, ±1%	1	
	R14...R16, R21, R22, R27, R28	С2-298 0.25 Вт, 10 кОм, ±1%	7	
	R17	С2-298 0.25 Вт, 87.6 кОм, ±1%	1	
	R18	MF-25 0.25 Вт, 220 кОм, ±1%	1	
	R19, R24...R26	С2-298 0.125 Вт, 1 кОм, ±0.1%	4	
		<i>Конденсатори</i>		
	С1	ЕСАР 0.1 мкФ, 50 В	1	
	С2, С3	ЕСАР 10 мкФ, 160 В	4	
	С5, С6	ЕСАР 150 мкФ, 160 В	1	
	С4			
	VD1, VD4	Стабілітрон КС407Г	2	
	VD6	Стабілітрон КС147А	1	
	VD2, VD5	Діод КД522Б	2	
	VD3	Діод КДШ2105В	1	
	ОР1...ОР8	Операційний Підсилювач LM358т	4	
	Bat1	Акумуляторна збірка А-BLOCK Model: 3.1, Li-Ion, 2200mAh 12V	1	

					ЕЛІТ 6.171.00.10.413 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Дяденко В. В.				Мультиметр на основі мікроконтролеру. Перелік елементів	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Д'яченко О. В.						1	1
Н. Контр.	Гапич В. М.					СумДУ, ЕС-71		
Затвердж.	Опанасюк А.С.							

Додаток 2

Код програми для мікроконтролеру

```
char val = '0';
char i = '1';
float k=1.0;
float amp=1;
char ed='B';
char z=' ';
float type=0.0;

#define REFRESH_TIME 330

void setup() {

    pinMode(2, OUTPUT);
    pinMode(3, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);
    pinMode(5, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
    pinMode(7, OUTPUT);
    pinMode(8, OUTPUT);
    pinMode(9, OUTPUT);
    pinMode(10, OUTPUT);
    digitalWrite(2, LOW);
    digitalWrite(3, LOW);
    digitalWrite(4, LOW);
    digitalWrite(5, LOW);
    digitalWrite(6, LOW);
    digitalWrite(7, LOW);
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
    Serial.begin(9600);
    establishContact();
}

void loop() {
    if (Serial.available() > 0) {
        val = Serial.read();
        if (val == '1' || val == '0') i = val;

        if(val == '1')
        {
            digitalWrite(4, LOW);
            ed="B";
            amp=1;
        }
        if(val == '0')
        {
            digitalWrite(4, HIGH);
            ed="A";
        }
        if(val == '3')
        {
            digitalWrite(9, LOW);
            type=0.0;
        }
        if(val == '4')
        {
            digitalWrite(9, HIGH);
            type=1.0;
        }
    }
}
```

```

}
if(val == '2')
{
    digitalWrite(6, HIGH);
    digitalWrite(7, LOW);
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, HIGH);
    digitalWrite(10, HIGH);
    k=0.109;
}
if(val == '5')
{
    digitalWrite(6, HIGH);
    digitalWrite(7, LOW);
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
    k=1;
}
if(val == '6')
{
    digitalWrite(6, LOW);
    digitalWrite(7, HIGH);
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
    k=2;
}
if(val == '7')
{
    digitalWrite(6, LOW);
    digitalWrite(7, LOW);
    digitalWrite(8, HIGH);
    digitalWrite(9, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
    k=6;
}
if(val == '8')
{
    digitalWrite(5, HIGH);
    k=1;
    amp=9.1;
}
if(val == '9')
{
    digitalWrite(5, LOW);
    amp=0.1;
}
if(analogRead(A1) > 0)
{
    digitalWrite(2, LOW);
    z=' ';
}
if(analogRead(A1) <= 0)
{
    digitalWrite(2, HIGH);
    z='-';
}
delay(50);
}
else
{
    if (type < 1)

```

```
{
    float out = (analogRead(A0)*5*k)/(1023.0*amp);
    delay(100);
}
else
{
    unsigned long CalcStart = millis();
    float first = 0;
    int ReadCnt = 0;
    while ((millis() - CalcStart) < REFRESH_TIME)
    {
        first += sqrt(analogRead(A0));
        ReadCnt++;
    }
    float second = sqrt(first/ReadCnt);
    float out = (second*5*k)/(1023.0*amp);
}
Serial.print(z);
Serial.print(out);
Serial.println(ed);
}
}
void establishContact() {
while (Serial.available() <= 0) {
Serial.println("A");
delay(300);
}
}
```

Додаток 3

Код керуючої програми

```
int x_main_size = 700;
int y_main_size = 300;
int tip_izm = 3;
int pp = 0;
String izm;
import processing.serial.*;
Serial myPort;
String val;
boolean firstContact = false;
Button on_button, on_button2, on_button3, on_button4, on_button5, on_button6,
on_button7, on_button8, on_button9, on_button10;
void setup() {
  size (700, 300);
  smooth();

  on_button = new Button("Вольтметр", x_main_size/2-175, 65, 150, 50);
  on_button2 = new Button("Амперметр", x_main_size/2+25, 65, 150, 50);
  on_button3 = new Button("-", x_main_size/2-60, 125, 50, 30);
  on_button4 = new Button("~", x_main_size/2+10, 125, 50, 30);
  on_button5 = new Button("0,5B", x_main_size/2-260, 180, 50, 50);
  on_button6 = new Button("5B", x_main_size/2-200, 180, 50, 50);
  on_button7 = new Button("10B", x_main_size/2-260, 240, 50, 50);
  on_button8 = new Button("30B", x_main_size/2-200, 240, 50, 50);
  on_button9 = new Button("0,2A", x_main_size/2-230, 180, 50, 50);
  on_button10 = new Button("2A", x_main_size/2-230, 240, 50, 50);

  myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
  myPort.bufferUntil('\n');
}
void draw() {
  clear();
  background(200);
  textSize(30);
  textAlign(CENTER);
  text("МУЛЬТИМЕТР", x_main_size/2, 40);
  textSize(12);
  text("Переменного и постоянного токов", x_main_size/2, 52);
  textSize(18);
  on_button.Draw();
  on_button2.Draw();
  on_button3.Draw();
  on_button4.Draw();

  if (pp == 1 && (tip_izm == 1 || tip_izm == 0 )){
    textSize(18);
    text("Диапазон измерений", x_main_size/2-200, 160);
    textSize(12);

    if (tip_izm == 1)
    {
      on_button5.Draw();
      on_button6.Draw();
      on_button7.Draw();
      on_button8.Draw();
    }

    if (tip_izm == 0)
    {
      on_button9.Draw();
      on_button10.Draw();
    }
  }
}
```

```

    }
    fill(255);
    izm = val;
    rect(x_main_size/2, y_main_size/2+15, x_main_size/2-50, y_main_size/2-25);
    fill(0);
    textSize(55);
    textAlign(RIGHT);
    text(val, x_main_size/2+280, y_main_size/2+100);
  }
}
void serialEvent( Serial myPort) {
  val = myPort.readStringUntil('\n');
  if (val != null) {
    val = trim(val);
    println(val);

    if (firstContact == false) {
      if (val.equals("A")) {
        myPort.clear();
        firstContact = true;
        myPort.write("A");
        println("contact");
      }
    }
  }
  else {
    println(val);
    if (on_button.MouseIsOver() && (mousePressed == true)) {
      myPort.write('1');
      println("1");
      myPort.write("A");
      tip_izm = 1;
      pp = 0;
    }
    if (on_button2.MouseIsOver() && (mousePressed == true)) {
      myPort.write('0');
      println("0");
      myPort.write("A");
      tip_izm = 0;
      pp = 0;
    }
    if (on_button3.MouseIsOver() && (mousePressed == true)) {
      myPort.write('3');
      println("3");
      myPort.write("A");
      pp = 1;
    }
    if (on_button4.MouseIsOver() && (mousePressed == true)) {
      myPort.write('4');
      println("4");
      myPort.write("A");
      pp = 1;
    }
    if (on_button5.MouseIsOver() && (mousePressed == true) && (tip_izm == 1)) {
      myPort.write('2');
      println("2");
      myPort.write("A");
    }
    if (on_button6.MouseIsOver() && (mousePressed == true) && (tip_izm == 1)) {
      myPort.write('5');
      println("5");
      myPort.write("A");
    }
    if (on_button7.MouseIsOver() && (mousePressed == true) && (tip_izm == 1)) {

```

```

        myPort.write('6');
        println("6");
        myPort.write("A");
    }
    if (on_button8.MouseIsOver() && (mousePressed == true) && (tip_izm == 1)) {
        myPort.write('7');
        println("7");
        myPort.write("A");
    }
    if (on_button9.MouseIsOver() && (mousePressed == true) && (tip_izm == 0)) {
        myPort.write('8');
        println("8");
        myPort.write("A");
    }
    if (on_button10.MouseIsOver() && (mousePressed == true) && (tip_izm == 0)) {
        myPort.write('9');
        println("9");
        myPort.write("A");
    }
}
}
}

class Button {
    String label;
    float x;
    float y;
    float w;
    float h;

    Button(String labelB, float xpos, float ypos, float widthB, float heightB) {
        label = labelB;
        x = xpos;
        y = ypos;
        w = widthB;
        h = heightB;
    }

    void Draw() {
        fill(218);
        stroke(141);
        rect(x, y, w, h, 10);
        textAlign(CENTER, CENTER);
        fill(0);
        text(label, x + (w / 2), y + (h / 2));
    }

    boolean MouseIsOver() {
        if (mouseX > x && mouseX < (x + w) && mouseY > y && mouseY < (y + h)) {
            return true;
        }
        return false;
    }
}
}

```

Додаток 4

Код програми для мікроконтроллеру

```
int Relay;
int i = 0;

void setup() {
    pinMode(2, OUTPUT);
    pinMode(3, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    while (Serial.available() == 0);

    i = Serial.read();

    if (i == 2) {
        digitalWrite(3, LOW);
        digitalWrite(2, HIGH);
    }

    if (i == 3) {
        digitalWrite(2, LOW);
        digitalWrite(3, HIGH);
    }
}
```


Додаток 5

Скетч керуючої програми

```
import processing.serial.*;
int value = 1;
Serial port;
Button on_button, on_button2;

void setup() {
  size (300, 300);
  smooth();
  port = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
  port.bufferUntil('\n');
  on_button = new Button("Перешёлкнуть реле", 20, 20, 150, 100);
  on_button2 = new Button("Выключить реле", 20, 150, 150, 100);
}

void draw() {
  on_button.Draw();
  on_button2.Draw();
}

void mousePressed()
{
  if (on_button.MouseIsOver()) {
    print("Clicked: ");
    println(4);
    port.write(4);
  }
  if (on_button2.MouseIsOver()) {
    print("Clicked: ");
    println(5);
    port.write(5);
  }
}

class Button {
  String label;
  float x;
  float y;
  float w;
  float h;
  Button(String labelB, float xpos, float ypos, float widthB, float heightB) {
    label = labelB;
    x = xpos;
    y = ypos;
    w = widthB;
    h = heightB;
  }
  void Draw() {
    fill(218);
    stroke(141);
    rect(x, y, w, h, 10);
    textAlign(CENTER, CENTER);
    fill(0);
    text(label, x + (w / 2), y + (h / 2));
  }
  boolean MouseIsOver() {
    if (mouseX > x && mouseX < (x + w) && mouseY > y && mouseY < (y + h)) {
      return true;
    }
    return false;
  }
}
```

Додаток 6

