

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 15 » грудня 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Розробка джерела стабілізованого струму з мікропроцесорним керуванням

Виконав: студент


(підпис)

6321м групи

В.В. Москва

Керівник роботи:

професор каф. ПЕЕТ, д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

О.О. Ушкаренко

м. Миколаїв–2025року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Спеціальність	171«Електроніка»
Освітня програма	Електронні системи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

В. М. Рябенський

(підпис)

« 09 » жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» (освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Москві Владиславу Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка джерела стабілізованого струму з мікропроцесорним керуванням

керівник роботи Ушкаренко Олександр Олегович, професор каф. ПЕЕТ, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № 1217 від «14» жовтня 2025 року.

2. Термін подання роботи: 09.12.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: максимальний струм джерела складає 10 А;
номінальне діюче значення напруги живлення 220 В, частота 50 Гц;

мікроконтролер сімейства AVR; програмне забезпечення для мікроконтролера
на мові Сі, для комп'ютера на мові С++; наявність захисту від перенапруги.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

1. Аналітичний огляд джерел струму

2. Розробка апаратної частини системи керування джерелом струму

3. Розробка програмної частини системи керування джерелом струму

4. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. Структурна схема мікропроцесорної системи керування джерелом струму.

2. Принципова схема мікропроцесорної системи керування джерелом струму.

3. Блок-схема алгоритму роботи програми для мікроконтролера.

4. Блок-схема алгоритму роботи програми для комп'ютера.

5. Інтерфейс автоматизованого робочого місця оператора.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Тубальцев А.М.		

7. Дата видачі завдання « 15 » жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд джерел струму, принципу дії імпульсних перетворювачів напруги та струму	29.11.2024	виконано
2.	Розробка структурної схеми мікропроцесорної системи керування джерелом струму, та її опис, обґрунтування вибору елементів	11.04.2025	виконано
3.	Розробка принципової схеми системи керування, розрахунок параметрів елементів схеми керування	12.06.2025	виконано
4.	Розробка алгоритму основної програми мікроконтролера, алгоритмів підпрограм обробки переривань, розробка програми для комп'ютера на мові C++	31.10.2025	виконано
5.	Підготовка та оформлення розділу з охорони праці	28.11.2025	виконано
6.	Завершення роботи над пояснювальною запискою та підготовка графічного матеріалу і доповіді	20.12.2025	виконано

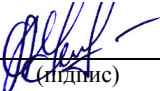
Студент


(підпис)

В.В. Москва

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

О.О. Ушкаренко

(прізвище та ініціали)

Анотація

У магістерській кваліфікаційній роботі представлено розробку джерела стабілізованого струму з мікропроцесорним керуванням. Проведено аналіз принципів побудови сучасних джерел струму та обґрунтовано вибір елементної бази. Розроблено структурну, принципову, друковану та монтажну схеми пристрою, а також алгоритми роботи і відповідне програмне забезпечення. Виконано моделювання функціонування схеми. Розроблений пристрій характеризується зменшеними масо-габаритними показниками та зниженими витратами за рахунок використання сучасних компонентів. Реалізовано можливість дистанційного керування джерелом струму за допомогою комп'ютера, що забезпечує виконання програмованих режимів роботи у дослідженнях. У роботі також запропоновано комплекс заходів з охорони праці, пов'язаних з експлуатацією розробленого пристрою.

Ключові слова: джерело стабілізованого струму, мікропроцесорне керування, моделювання, електронні схеми, дистанційне керування.

Abstract

The master's thesis presents the development of a stabilized current source with microprocessor control. The principles of modern current sources are analyzed, and the choice of the component base is justified. The structural, schematic, printed circuit board, and assembly diagrams of the device were developed, along with the operation algorithms and corresponding software. The functionality of the circuit was simulated. The developed device is characterized by reduced dimensions and cost due to the application of modern components. Remote control via a computer is implemented, enabling programmable current adjustment during experiments. The thesis also proposes a set of occupational safety measures related to the operation of the device.

Keywords: stabilized current source, microprocessor control, simulation, electronic circuits, remote control.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ СТРУМУ	9
1.1. Загальні підходи до побудови джерел стабілізованого струму	9
1.2. Принцип дії імпульсних перетворювачів та їх характеристики.	11
1.3. Огляд існуючих промислових зразків джерел струму	17
1.4. Джерела живлення Home Tools та Lab Tools.....	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЖЕРЕЛОМ СТРУМУ	24
2.1. Структурна схема джерела струму	24
2.2. Розробка принципової схеми джерела струму та опис її роботи	25
2.3. Розрахунок елементів силової схеми джерела струму	28
2.4. Моделювання роботи джерела струму та розрахунок надійності	33
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЖЕРЕЛОМ СТРУМУ	39
3.1. Розробка блок-схеми алгоритму основної програми для мікроконтролера та обробників переривань	39
3.2. Розробка блок-схеми алгоритму комунікаційної підсистеми....	42
3.3. Розробка блок-схеми алгоритму програми для комп'ютера	43
3.4. Інтерфейс програмних засобів для керування джерелом струму...	45
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	50
4.1. Вступ.....	50
4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину в процесі роботи з керованим джерелом струму	50
4.3. Розрахунок загального освітлення	53
4.4. Заходи для захисту від ураження електричним струмом.....	55
ВИСНОВКИ.....	57

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
ДОДАТОК А.....	61
ДОДАТОК Б	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ДН – дільник напруги

ДС – датчик струму

ДОН – джерело опорної напруги

ЕРС – електрорушійна сила

ІППН – імпульсний перетворювач постійної напруги

ІР – імпульсний регулятор

ККД – коефіцієнт корисної дії

ОП – операційний підсилювач

ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина

РС – регулятор струму

САР – система автоматичного регулювання

СЗ – струмовий захист

					171.6321м.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВСТУП

Функціонування будь-якої електронної схеми неможливе без надійного джерела живлення. Вибір типу такого джерела залежить від призначення пристрою, вимог до якості електроенергії та принципу його побудови. Для живлення можуть використовуватися джерела стабілізованої або нестабілізованої напруги чи струму. Сьогодні існує широкий спектр вторинних перетворювачів енергії, які відрізняються за вихідними характеристиками – діапазоном регулювання, потужністю, рівнем пульсацій, схемотехнічними рішеннями та використаною елементною базою. Такі пристрої застосовуються у різних сферах: від побутових приладів малої потужності до промислових установок та наукових експериментальних комплексів.

Побудова джерела живлення в першу чергу визначається його потужністю. Для невеликих навантажень можуть застосовуватися лінійні стабілізатори, однак при підвищенні струму їх використання стає менш ефективним через значні втрати енергії, зниження коефіцієнта корисної дії та погіршення теплового режиму роботи. Це призводить до збільшення розмірів та вартості пристрою. Тому актуальним є застосування імпульсних принципів стабілізації, які дозволяють підвищити ефективність роботи джерела та зменшити його масо-габаритні показники.

У даній магістерській кваліфікаційній роботі виконано розробку керованого джерела стабілізованого струму в діапазоні від 0 до 10 А. В основу пристрою покладено принцип імпульсної стабілізації, при якому прохідний транзистор працює у ключовому режимі. Це забезпечує зменшення розсіюваної потужності, полегшує фільтрацію та дозволяє отримати стабільні характеристики вихідного сигналу. Особливістю розробленого джерела є можливість керування з персонального комп'ютера, що дає змогу реалізовувати програмовані режими роботи та розширює сферу

					171.6321м.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

його застосування. Крім того, передбачено автономний режим керування за допомогою вбудованої клавіатури.

Об'єкт дослідження – процес розробки та функціонування джерел стабілізованого струму з мікропроцесорним керуванням.

Предмет дослідження – структурні, схемотехнічні та програмні рішення, що забезпечують стабілізацію струму та можливість його керування в автоматизованому та автономному режимах.

Методи дослідження – аналіз літературних джерел і технічної документації; порівняння існуючих схемотехнічних рішень; комп'ютерне моделювання; експериментальна перевірка працездатності створеного пристрою.

Новизна отриманих результатів полягає у розробці джерела стабілізованого струму з можливістю програмного керування від персонального комп'ютера та автономної роботи, що поєднує сучасну елементну базу з оптимізованим алгоритмом управління. Запропоноване рішення дозволило знизити масо-габаритні показники пристрою, зменшити енергетичні втрати та розширити функціональні можливості у порівнянні з традиційними джерелами струму.

					171.6321м.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Москва В.В.			Аналітичний огляд джерел струму	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							8	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

1.1. Загальні підходи до побудови джерел стабілізованого струму

Надійне джерело живлення є основою функціонування будь-якої електронної системи. Класичні рішення базуються на лінійних стабілізаторах, які відзначаються простотою та невисокою вартістю, однак при збільшенні струму навантаження суттєво зростають втрати енергії, зменшується ККД та погіршується тепловий режим [1], [2]. Це обмежує використання таких рішень у випадках, коли потрібні середні або великі струми.

Для подолання цих недоліків активно застосовуються імпульсні джерела, які забезпечують вищу ефективність завдяки роботі силового транзистора в ключовому режимі. У таких схемах втрати енергії значно знижуються, а розміри та маса пристрою зменшуються [3], [4].

Огляд сучасних джерел струму свідчить про розробку різноманітних топологій: понижувальних (buck), підвищувальних (boost), комбінованих buck-boost та резонансних схем [5]. Імпульсні регулятори дозволяють реалізовувати стабілізацію навіть при великих коливаннях вхідної напруги [6]. При цьому головними факторами, що визначають якість роботи, є правильний вибір елементної бази (MOSFET, IGBT, SiC, GaN-транзистори) та оптимізація алгоритмів керування [7].

Практичні приклади реалізації потужних імпульсних стабілізаторів наведені у роботах [8], [9], де описано застосування високочастотних перетворювачів у лабораторних та промислових джерелах. Важливо, що використання сучасних напівпровідникових матеріалів, зокрема SiC, дозволяє значно підвищити енергоефективність та щільність потужності пристроїв [10].

Останні роки характеризуються інтеграцією цифрового керування у джерела стабілізованого струму. Мікропроцесорні системи забезпечують гнучке налаштування режимів, реалізацію складних алгоритмів стабілізації

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

та можливість дистанційного управління через інтерфейси USB, Ethernet або спеціалізовані протоколи [11], [12].

У роботах [13], [14] наведено приклади застосування мікроконтролерів та цифрових сигнальних процесорів для стабілізації струму. Додатково виробники комерційних лабораторних блоків живлення (Digilent, Tektronix, Advanced Energy) активно впроваджують програмовані режими, що дозволяє інтегрувати такі джерела у автоматизовані системи вимірювань [15], [16], [17].

Для ефективної роботи імпульсних стабілізаторів важливим є точне вимірювання вихідного струму. У джерелах стабілізованого струму використовуються шунтові резистори з операційними підсилювачами, датчики Холла або спеціалізовані інтегральні сенсори (наприклад, ACS712) [18]. Дослідження показують, що точність вимірювального тракту безпосередньо впливає на стабільність системи та точність регулювання [19].

Окремим напрямом розвитку є розробка наднизькошумних та високоточних джерел струму для наукових експериментів. У роботах [20], [21] описано реалізацію ультранизькошумних програмованих джерел для фізичних досліджень, тоді як у [22] наведено приклад референсного джерела у фемто- та пікоамперному діапазонах. Такі рішення дозволяють забезпечити надзвичайно високу стабільність для метрологічних застосувань.

Аналіз літератури показує, що актуальні тенденції у створенні джерел стабілізованого струму пов'язані з переходом на імпульсні топології, використанням сучасної елементної бази (SiC, GaN), впровадженням цифрового мікропроцесорного керування та забезпеченням дистанційного контролю. Це дозволяє поєднувати високий ККД, малі масо-габаритні показники, програмованість і точність. З огляду на це, вибір напрямку розробки джерела струму з мікропроцесорним керуванням для магістерської роботи є обґрунтованим і відповідає сучасним науково-технічним тенденціям.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1.2. Принцип дії імпульсних перетворювачів та їх характеристики

Функціональний принцип імпульсних перетворювачів постійної напруги (ІППН) ґрунтується на періодичній комутації кола навантаження з первинним джерелом живлення. Реалізація цього процесу здійснюється за допомогою напівпровідникових силових елементів – транзисторів, діодів та тиристорів. Середні значення напруги та струму на навантаженні визначаються тривалістю інтервалів підключення джерела напруги до накопичувального елемента ІППН.

Частота комутації (частота перетворення) залежить від типу ключових елементів і може становити від кількох до десятків кілогерц (у випадку застосування тиристорів та біполярних транзисторів) або від сотень кілогерц до мегагерц (для МДП-транзисторів). Період перетворення $T_n = 1/f_n$ включає фазу замкненого стану силового ключа, коли енергія передається від джерела U_{ex} , та фазу його розімкненого стану $T_n = t_1 + t_0$. Тривалість замкненого інтервалу доцільно описувати відносною тривалістю імпульсу γ : $t_1 = \gamma T_n$. Варіювання цього параметра забезпечує можливість регулювання та стабілізації вихідної напруги. Метод керування на основі зміни відносної тривалості імпульсів при незмінній частоті їх проходження відомий як широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). У колах ІППН напруга формується переважно у вигляді прямокутних імпульсів, тоді як струм характеризується переважно трикутною формою.

Основними перевагами ІППН у порівнянні з лінійними стабілізаторами є високий коефіцієнт корисної дії, зменшені масо-габаритні показники та підвищена ефективність енергоперетворення. До недоліків відносяться наявність пульсацій вихідних параметрів, генерація електромагнітних перешкод, дещо гірші динамічні властивості та конструктивна складність. Водночас у більшості практичних застосувань використання ІППН є найбільш доцільним і технічно виправданим рішенням.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Структурна схема ІППН (рис. 1.1) включає такі функціональні вузли: імпульсний регулятор (ІР), через який здійснюється передача енергії від джерела живлення Д до навантаження Н; дільник напруги (ДН); датчик струму (ДС); схему струмового захисту (СЗ); підсилювач похибки (ПН); широтно-імпульсний модулятор (ШІМ) та формуючий каскад (ФК).

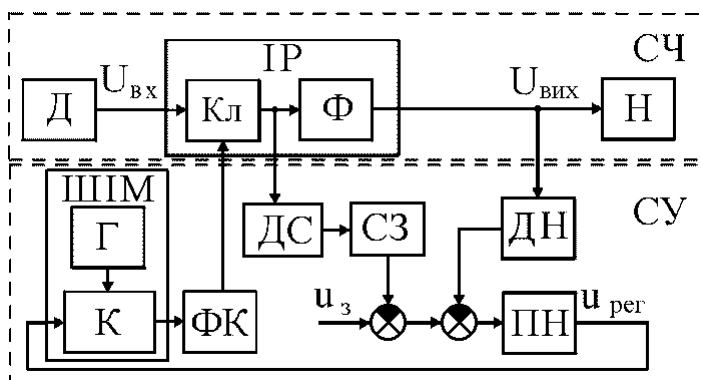


Рисунок 1.1 – Структурна схема ІППН.

Імпульсний регулятор (ІР) містить силові ключові елементи КЛ та реактивні компоненти фільтра Ф. Широтно-імпульсний модулятор (ШІМ) складається з генератора пилкоподібної (трикутної) напруги Г та компаратора К. Сукупність електричних кіл, що включають елементи ІР та забезпечують передачу енергії від джерела живлення Д до навантаження Н, утворюють силову частину (СЧ) ІППН.

Система керування (СУ) формує сигнали для управління силовими ключами з метою підтримання стабільності вихідної напруги. Для цього реальне значення $U_{вих}$ контролюється та порівнюється із заданим рівнем $u_з$. Додатково СУ виконує функції струмового захисту. До її складу входять підсилювач напруги (ПН), дільник напруги (ДН), датчик струму (ДС), схема захисту (СЗ), ШІМ і формуючий каскад (ФК).

Сигнал, отриманий на виході дільника напруги, пропорційний фактичному рівню напруги на навантаженні, та порівнюється із задавальним сигналом $u_з$. Різниця між цими сигналами підсилюється ПН і подається на

ШІМ. На виході модулятора формується послідовність прямокутних імпульсів, тривалість яких визначається напругою регулювання $u_{рег}$. Ці імпульси надходять до формуючого каскаду, де перетворюються у сигнали керування для силових ключів. Останні з частотою перетворення підключають джерело живлення Д до реактивних елементів Ф, відбираючи енергію дискретними порціями. Завдяки згладжувальному ефекту фільтра енергія надходить до навантаження Н у практично безперервному режимі.

У випадку перевищення струмом силового ключа допустимого рівня, схема захисту (СЗ) автоматично знижує напругу u_3 .

На рис. 1.2, а, б, в, наведені три основні силові конфігурації ІППН [2,7,8,9], у яких використовується один керований ключ – транзистор.

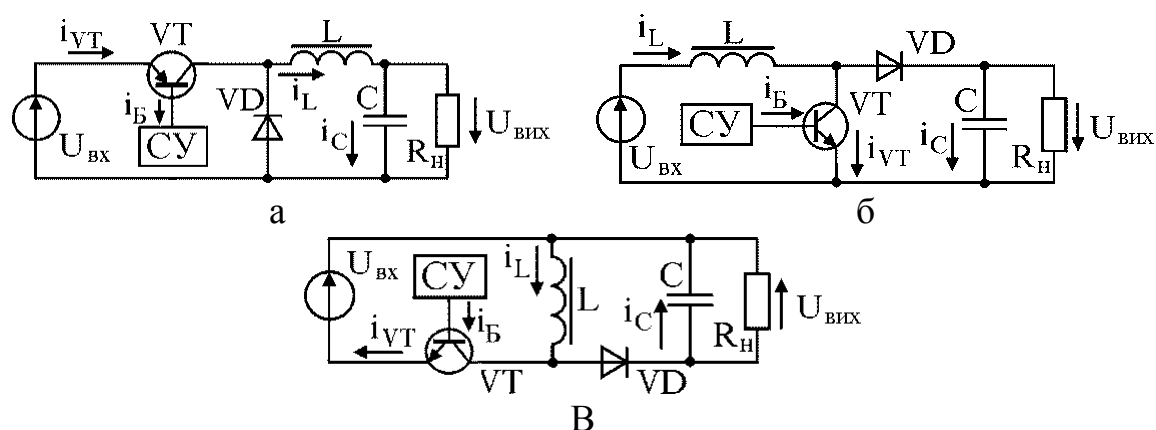


Рисунок 1.2 – Основні схеми ІППН

Класифікуються вони як понижаючий, підвищуючий та полярно-інвертуючий ІППН. У понижаючому ІППН вихідна напруга завжди менше за вхідну. Коли транзистор VT відкрито черговим імпульсом струму бази $i_{бVT}(t)$, тривалістю $t_1 = \gamma T$ (рис. 1.3, а), енергія від джерела $U_{вх}$ надходить до навантаження R_H і накопичується в дроселі L та конденсаторі C фільтра. Спадання напруги на транзисторі $U_{KEVT}(t)$ при цьому невелике, порядку 1В, та відповідає напрузі насичення $U_{KE нас}$ транзистора. До діода VD прикладено зворотню напругу $U_{VD}(t) = U_{вх} - U_{KEVT}(t)$, що близька за

величиною до вхідної. Струм дроселя $i_L(t)$ наростає за експоненціальним законом від мінімального $I_{L\ min}$ до максимального $I_{L\ max}$ значень.

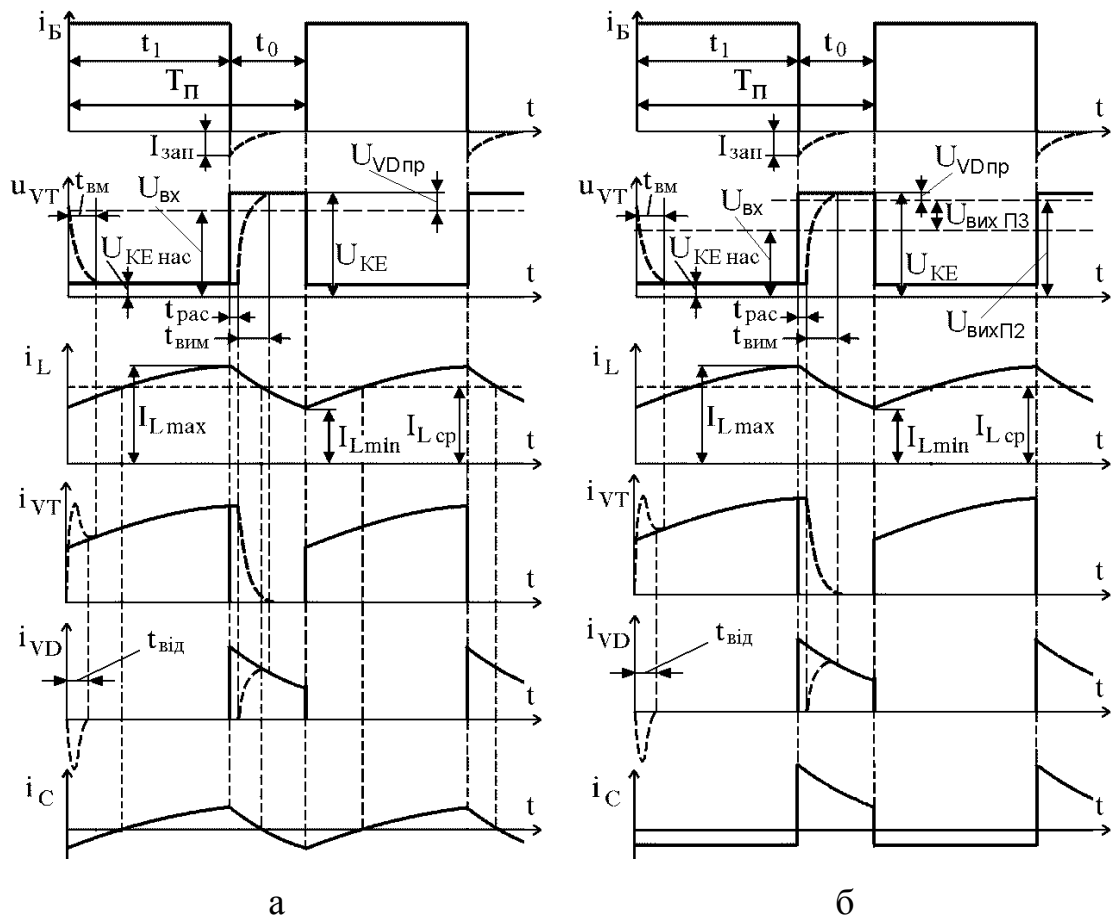


Рисунок 1.3 – Осцилограми змін струмів та напруг

Струм транзистора $i_{VT}(t)$ змінюється аналогічно. Після завершення відкриваючого імпульсу $i_B(t)$ транзистор VT закривається, відключаючи дросель від джерела живлення. При цьому струм транзистора зменшується. У момент початку спадання струму дроселя за рахунок напруги його самоіндукції відкривається діод VD . У цей період дросель виявляється підключеним паралельно навантаженню та фільтруючому конденсатору, а контур струму замикається через діод. Струм дроселя убиває експоненціально від максимального значення до мінімального. Протягом інтервалу t_0 струм діода $i_{VD}(t)$ є ідентичним струму дроселя. Після закінчення паузи t_0 транзистор знову відкривається, і процеси повторюються.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Струм дроселя можна подати як суму постійної складової $I_{L\text{cp}}$ та змінної $i_L - I_{L\text{cp}}$. Змінна частина переважно проходить через конденсатор C (струм $i_C(t)$ на рис. 1.3, а), тоді як постійна замикається через навантаження. Завдяки цьому дросель виконує функцію згладжування вихідної напруги протягом усього робочого циклу, що пояснює значно менші пульсації у понижуючій схемі порівняно з підвищуючою та інвертуючою.

У варіантах, коли дросель під час накопичення енергії з'єднаний паралельно з джерелом U_{ex} , схема може працювати як підвищуюча або як інвертуюча залежно від способу підключення навантаження та фільтруючого конденсатора (рис. 1.2, б, в). Для підвищуючого ІППН характерною є вихідна напруга, яка, як правило, перевищує вхідну. У полярно-інвертуючій схемі вихідна напруга може бути як більшою, так і меншою від вхідної залежно від навантаження та відносної тривалості імпульсу γ . Відповідні часові діаграми наведено на рис. 1.3, б.

У момент відкривання транзистора імпульсом струму $i_B(t)$ дросель L підключається до вхідної напруги U_{ex} , при цьому діод VD закритий зворотною напругою, а струм навантаження протікає через накопичувальний конденсатор C . Струм дроселя $i_L(t)$ наростає за експоненціальним законом, і відбувається накопичення енергії від джерела U_{ex} у його магнітному полі. Після закриття транзистора та різкого зменшення струму через нього, діод відкривається під дією ЕРС самоіндукції дроселя.

У підвищуючому ІППН у фазі закритого транзистора дросель L підключається послідовно з джерелом живлення U_{ex} , забезпечуючи постійне відбирання енергії від джерела (за умови безперервного струму дроселя). У такій схемі пульсації вхідного струму є мінімальними. Безперервний режим струму має місце, якщо при закритому транзисторі протягом інтервалу t_0 струм $i_L(t)$ не знижується до нуля (рис. 1.3, б). Якщо ж індуктивність дроселя мала або струм навантаження низький, струм стає переривчастим. Хоча

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ППН зберігає працездатність, такий режим небажаний через підвищені пульсації вихідної напруги.

За однакових струмів навантаження та інших рівних умов вихідна напруга підвищуючої схеми перевищує вихідну напругу інвертуючої на величину U_{ex} . При цьому у фільтрації вихідної напруги підвищуючих та інвертуючих ППН бере участь лише конденсатор C , через який протікають імпульси струму, рівні струму навантаження (рис. 1.3, б). Це зумовлює більші пульсації вихідної напруги порівняно з понижуючою схемою.

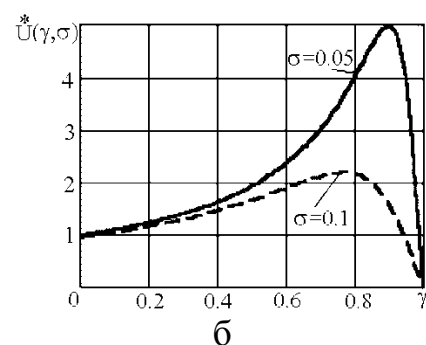
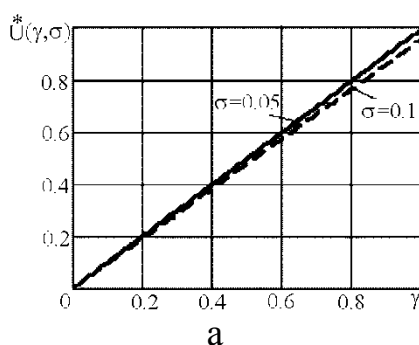
Статичні характеристики ППН для безперервних струмів дроселя задаються у вигляді [8,9]:

$$U_{\text{вих}} = f(\gamma, \sigma, U_{\text{ex}}), \quad (1.1)$$

де γ – відносна тривалість імпульсу; $\sigma = R_g/R_n$ – відносна величина опору втрат; $R_g = r_L + r_{\text{дин}}$; $r_{\text{дин}}$ – динамічний опір відкритих напівпровідникових ключів, r_L – активний опір у колі дроселя. Вираз (1.12) для трьох типів ППН має вигляд:

- для понижуючого $f(\gamma, \sigma, U_{\text{ex}}) = \gamma(1 - \sigma)U_{\text{ex}}$;
- для підвищуючого $f(\gamma, \sigma, U_{\text{ex}}) = \frac{(1 - \sigma)(1 - \gamma)U_{\text{ex}}}{\sigma + (1 - \sigma)(1 - \gamma)^2}$;
- для інвертуючого $f(\gamma, \sigma, U_{\text{ex}}) = \frac{(1 - \sigma)(1 - \gamma)\gamma U_{\text{ex}}}{\sigma + (1 - \sigma)(1 - \gamma)^2}$.

На рис.1.4 ,а, б, в наведено регульовальні характеристики трьох типів перетворювачів ($U_{\text{вих}} = f(\gamma)$, $\sigma = \text{const}$, $U_{\text{ex}} = \text{const}$) для двох значень втрат $\sigma = 0,01$ (безперервна лінія) і $\sigma = 0,05$ (пунктирна лінія).



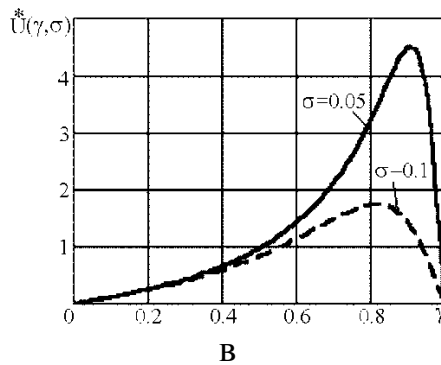


Рисунок 1.4 – Статичні характеристики ППН.

Регулювальна характеристика понижуючого імпульсного перетворювача постійної напруги є практично лінійною та лише незначною мірою залежить від величини втрат σ у колі. Для підвищуючого та інвертуючого ППН характерною є істотна залежність вихідної напруги від відносних втрат, особливо в діапазоні максимальних значень. Таким чином, регулювальні характеристики підвищуючого та інвертуючого ППН мають виражено нелінійний характер.

Існує межа $U_{max}(\gamma_{кр})$, до якої характеристики зростають. Тому для роботи зазвичай використовується діапазон $\gamma \in [0.. \gamma_{кр}]$, тобто відбувається обмеження максимального значення $\gamma_{max} < \gamma_{кр}$.

Прохідні характеристики $U_{вих} = f(U_{вх})$ лінійні. При заданих $\sigma = const$ і $\gamma = const$ визначаються коефіцієнтом передачі ППН $U_{вих} = K_{np}(\gamma, \sigma) \cdot U_{вх}$. Зовнішні характеристики можна одержати, якщо покласти $U_{вх} = const$ та $\gamma = const$ і змінювати опір навантаження $U_{вих} = f(R_g/R_n)$.

1.3. Огляд існуючих промислових зразків джерел струму

Створення джерела стабілізованого струму з мікропроцесорним керуванням передбачає поєднання сучасних схемотехнічних рішень та ефективних методів програмування. У підручнику [21] детально розглядаються принципи побудови мікропроцесорної техніки, архітектура контролерів та особливості їх використання у вбудованих системах, що є

фундаментальною базою для реалізації функцій керування струмовим джерелом. Продовженням цієї тематики є видання [22], де увага приділяється апаратно-програмним засобам відображення інформації, зокрема організації інтерфейсів користувача, що важливо для контролю та моніторингу роботи стабілізованого джерела.

Посібник [23] містить практичні підходи до програмної реалізації методів розрахунку та аналізу електричних кіл, що дозволяє створювати алгоритми обробки даних і контролю параметрів у режимі реального часу. Підручник [24] доповнює цей напрямок, висвітлюючи принципи побудови програмованих електронних систем збору й обробки інформації, які можуть бути використані для організації адаптивних алгоритмів стабілізації струму. Важливим етапом є моделювання та перевірка коректності розроблених схемних рішень. У роботі [26] наведені сучасні підходи до моделювання електронних та електроенергетичних систем, що дозволяє апробувати алгоритми керування й оцінити їхню ефективність до реалізації в апаратурі. Для апаратної частини особливе значення мають праці [27] та [28], присвячені проектуванню цифрових пристроїв на ПЛІС із використанням мови Verilog та середовища MAX+plus II. Використання ПЛІС у складі системи стабілізації струму дає змогу реалізувати швидкодіючі блоки керування та захисту, а також підвищити надійність роботи пристрою.

Окремо варто відзначити дослідження [25], де подано формальний опис елементів автоматизованого робочого місця оператора, що може бути застосовано при проектуванні програмно-апаратного інтерфейсу джерела струму для зручності його експлуатації.

Узагальнюючи, літературні джерела [21-28] забезпечують комплексну теоретичну та практичну базу для розробки джерела стабілізованого струму з мікропроцесорним керуванням, охоплюючи питання схемотехніки, моделювання, програмування та створення апаратно-програмних інтерфейсів.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

На рис. 1.5 показано зовнішній вигляд джерела струму ИТ-10У.



Рисунок 1.5 – Фото джерела струму

Технічні характеристики джерела струму зведені в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики джерела струму

Напруга живлення	220В, 50 Гц
Споживана потужність, не більше	200Вт
Діапазон регулювання вихідного струму	50 мА – 10 А
Квант зміни вихідного струму	2,5 мА
Стабільність середнього струму, не більше	0,1%
Максимальна вихідна напруга	19 В
Пульсації струму, не більше	0,5%

Пристрій забезпечує широкий спектр функціональних можливостей, включаючи дистанційне керування вихідним струмом джерела від персонального комп'ютера та програмне (плавне) автономне відключення навантаження у разі збоїв у роботі комп'ютера або відключення електроживлення. Крім цього, передбачено повністю автономний режим роботи з регулюванням струму відповідно до попередньо запрограмованого

алгоритму, погодженого з технічними вимогами замовника. Контроль та індикація здійснюються за допомогою рідкокристалічного дисплея, а робочий режим відображається світлодіодами. Серед можливих областей застосування пристрою – живлення резистивних нагрівальних елементів, включно з керамічними, що мають негативний температурний коефіцієнт опору; регулювання яскравості галогенних ламп; керування струмом індуктивних навантажень, таких як електромагніти, електродвигуни та соленоїди; живлення та контроль потужності лазерних діодних лінійок; забезпечення роботи високопотужних елементів Пельтьє; а також заряджання акумуляторних батарей, включно з автомобільними, за оптимізованими програмами та живлення гальванічних установок.

1.4. Джерела живлення Home Tools та Lab Tools

На рис. 1.6 приводиться зовнішній вигляд джерела струму HomeTools.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд джерела струму HomeTools

Джерело живлення Home Tools являє собою компактний імпульсний перетворювач мережної напруги 220 В у постійну регульовану напругу з можливістю одночасного керування вихідним струмом та цифровою індикацією. Пристрій призначений для підключення різноманітної низьковольтної електронної техніки, задовольняючи потреби побутових

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

радіоаматорів, зручний при ремонті електронних апаратів та незамінний у лабораторних експериментах. Функція стабілізації струму забезпечує захист від короткого замикання та розширює можливості застосування, наприклад, для заряджання акумуляторних батарей, включно з автомобільними.

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики

Напруга живлення	від 187 до 242 В, 50 Гц
Максимальна споживана потужність	не більше 190Вт (при жив. 220В)
ККД	не менш 90 %
Вихідна регульована напруга	модель 18В/10А: 3 - 11 – 18В модель 30В/5А: 3 - 18 – 30В
Вихідний регульований струм	модель 18В/10А: 0.05 - 1.5А, 0.1 - 10А модель 30В/5А: 0.05 – 1.5А, 0.1 - 5А
Перемикання з режиму стабілізації напруги в струм і назад залежно від параметра навантаження	Автоматичне
Індикація режимів стабілізації	Світлова
Керування цифровим індикатором	трипозиційний перемикач (В - А max - А)
Ефективне значення пульсації вихідної напруги при навантаженні 80%	не більше - 80mV
Діапазон робочих температур	від + 5 °С до + 40°С
Режим роботи	Цілодобово
Габаритні розміри	195 x 150 x 95 мм

На рис.1.9 приводиться фотографія джерела живлення Lab Tools.



Рисунок 1.7 – Джерело живлення Lab Tools

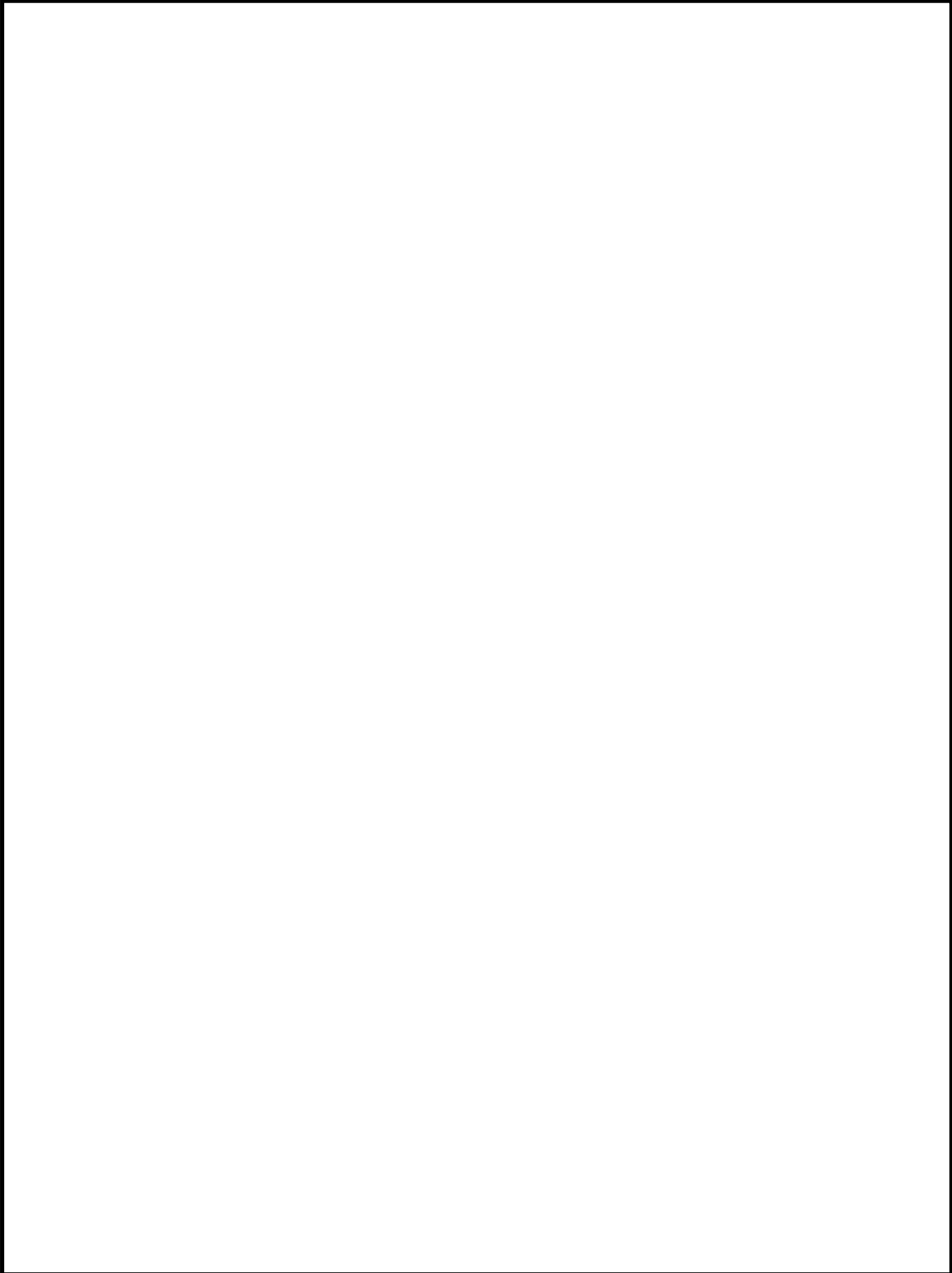
					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

Джерело живлення LAB Tools призначене для забезпечення стабільною напругою або струмом низьковольтних електронних пристроїв під час лабораторних робіт і досліджень. Можливість точного встановлення вихідних параметрів, паралельна індикація напруги, струму та режиму стабілізації забезпечує зручність у використанні та контроль роботи пристрою. Завдяки цим характеристикам джерело є незамінним при проведенні експериментів і розробок у сфері радіоелектроніки, а також під час налаштування й ремонту радіоапаратури. Висока вихідна потужність, стабільність параметрів і здатність працювати безперервно на максимальному навантаженні дозволяють використовувати його для заряджання різних типів акумуляторів, а також для живлення гальванічних ванн.

Таблиця 1.3 – Основні технічні характеристики

Живляча напруга	від 187 до 242 В, 50 Гц
Максимальна споживана потужність	не більше 500Вт (при жив. 220В)
ККД	не менш 90 %
Вихідна регульована напруга	модель 20В/20А: 3 - 11 – 20В модель 30В/15А: 3 - 18 – 30В модель 15В/30А: 3 - 10 – 15В
Вихідний регульований струм	модель 20В/20А: 0.1 - 5А, 0.1 - 20А модель 30В/15А: 0.1 – 3А, 0.1 - 15А модель 15В/30А: 0.3 - 3А, 1.5 - 30А
Перемикання з режиму стабілізації напруги в струм і назад залежно від параметра навантаження	Автоматичне
Індикація режимів стабілізації	Світлова
Ефективне значення пульсації вихідної напруги при навантаженні 80%	не більше – 60мВ
Діапазон робочих температур	від + 5 °С до + 40°С
Габаритні розміри	100 x 240 x 240 мм

					171.6321м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.6321м.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розробка апаратної частини системи керування джерелом струму	Літ.	Арк.	Аркуші
Розробник		Москва В.В.						
Консультант							23	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЖЕРЕЛОМ СТРУМУ

2.1. Структурна схема джерела струму

На рис. 2.1 приводиться структурна схема джерела струму, що розробляється.

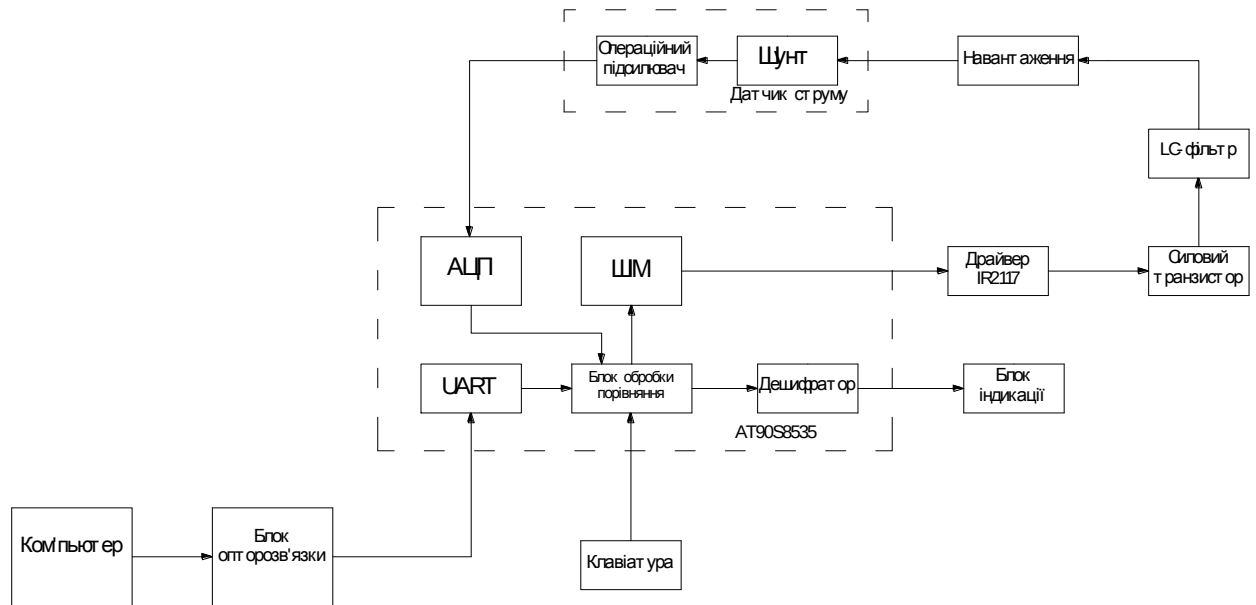


Рисунок 2.1 – Структурна схема джерела струму

Регулювання величини струму через навантаження може здійснюватися як за допомогою клавіатури, так і дистанційно через комп'ютер. Команди, що надходять із комп'ютера, обробляються мікроконтролером через блок оптичного зв'язку, який запобігає пошкодженню пристроїв унаслідок протікання урівнювальних струмів, що можуть виникати через різницю потенціалів землі, особливо на великих відстанях. Передача команд на зміну струму здійснюється через UART, інтегрований у мікроконтролер. Збільшення або зменшення струму також можливе за допомогою відповідних кнопок на панелі джерела живлення.

Програмно реалізований блок обробки та порівняння здійснює порівняння заданого значення струму зі значенням фактичного струму навантаження. У разі їхньої різниці змінюється скважність широтно-

імпульсної модуляції (ШІМ), що приводить до корекції струму в навантаженні. ШІМ реалізовано програмно за допомогою одного таймера-лічильника мікроконтролера. Сигнал із виходу мікроконтролера надходить на драйвер IR2117, який керує силовим транзистором. Для згладжування пульсацій застосовано LC-фільтр: індуктивність накопичує енергію, коли транзистор відкритий і струм протікає через навантаження, і віддає її в навантаження під час закриття транзистора.

Послідовно з навантаженням включено датчик струму, що представляє собою шунт із малим опором та неінвертуючий підсилювач. Напруга на шунті пропорційна струму, що протікає через навантаження, і підсилюється до рівня, достатнього для роботи інтегрованого в мікроконтролер АЦП. Значення струму у цифровому вигляді, отримане після перетворення АЦП, порівнюється з уставкою. У разі відхилення від заданого значення скважність ШІМ коригується, забезпечуючи стабільність струму в навантаженні.

2.2. Розробка принципової схеми джерела струму та опис її роботи

Принципова схема джерела струму наведена на рис. 2.2. Пристрій живиться від мережної змінної напруги 220 В. Трансформатор Tr1 має дві вторинні обмотки: одна забезпечує живлення силової схеми напругою 36 В, друга – схеми керування напругою 16 В. Випрямлення здійснюється за допомогою діодних мостів VD1 та VD2. Для зменшення пульсацій у вихідній напрузі силової частини застосовані конденсатори C6-C12 та дросель L1. Постійна напруга для схеми керування формується за допомогою інтегральних стабілізаторів DA1 та DA2, а також електролітичних конденсаторів. Напруга +12 В живить драйвер DD1 та операційний підсилювач DA3, а +5 В – мікроконтролер, оптичний ізолятор DD2 та світлодіодні індикатори HG1.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

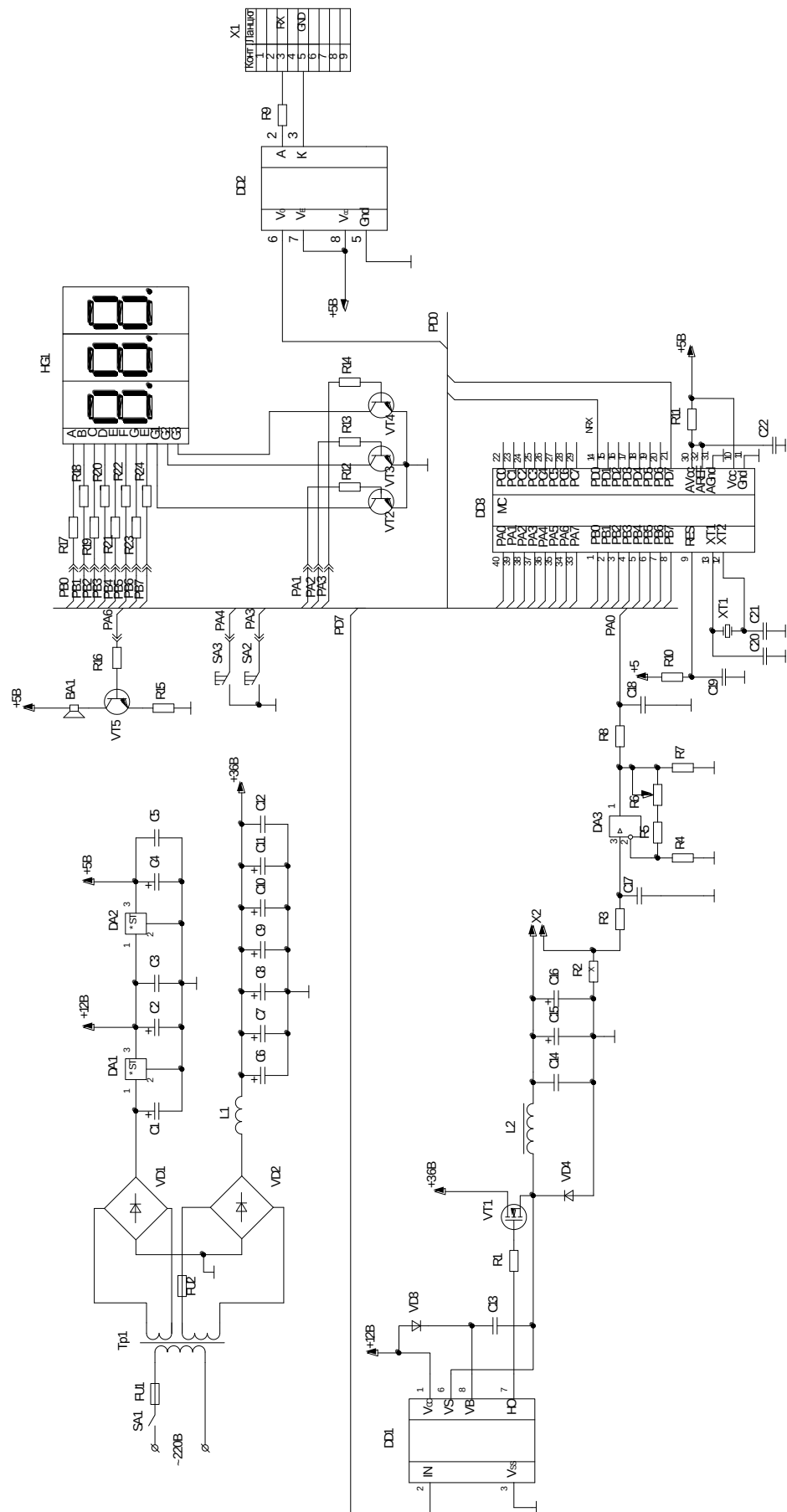


Рисунок 2.2 – Принципова схема джерела струму

Для роботи мікроконтролера використовуються кварцовий резонатор XT1 та конденсатори C20 і C21. На виводі RES підтримується високий рівень сигналу завдяки підключенню через струмообмежуючий резистор R10 до напруги +5 В. Конденсатор C19 забезпечує апаратний сброс контролера при увімкненні живлення та запобігає впливу високочастотних перешкод. Вбудований АЦП мікроконтролера також живиться від +5 В, при цьому опорна напруга дорівнює напрузі живлення.

Сигнал ШІМ з виходу мікроконтролера RD7 подається на драйвер через діод VD3 і конденсатор C13, після чого керує затвором польового транзистора VT1. Транзистор працює в режимах насичення (відкритий) і відсічки (закритий). На його витоку подається напруга +36 В. Коли транзистор відкритий, струм проходить через навантаження, а дросель L2 накопичує енергію. При закритому транзисторі накопичена енергія передається в навантаження, підтримуючи струм. Конденсатори C14-C16 згладжують пульсації, а діод VD4 захищає транзистор від наднапруг під час перемикання.

Для вимірювання струму через навантаження використовується шунт R2. Напруга на шунті пропорційна струму і підсилюється операційним підсилювачем DA3. Коефіцієнт підсилення визначається резисторами R4-R6. Фільтри низьких частот на елементах R3-C17 та R8-C18 захищають підсилювач від високочастотних перешкод. Сигнал із виходу підсилювача подається на вхід АЦП.

Відображення струму здійснюється на світлодіодному індикаторі HG1. Обмеження струму через світлодіоди забезпечується резисторами R17-R24, а керування катодами сегментів здійснюють транзистори VT2-VT4 у ключовому режимі. Резистори R12-R14 обмежують струм бази транзисторів. Керування звуковим сигналом реалізовано через транзистор VT5. Збільшення або зменшення струму здійснюється за допомогою кнопок SA2 та SA3. Нестабільність живлячих напруг призводить до зміни режимів роботи

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

апаратури, що проявляється у коливанні вихідної потужності та збільшенні нелінійних спотворень. Тому для коректної роботи пристрою необхідне стабільне живлення, яке забезпечується застосуванням стабілізаторів напруги та струму (рис. 2.2).

Живлення приладу здійснюється стабілізованими напругами +12 В та +5 В, а також нестабілізованою напругою +36 В. Напруга +12 В призначена для живлення операційного підсилювача, а стабілізованою напругою +5 В живиться мікроконтролер.

Після аналізу існуючих схем випрямних пристроїв було обрано однофазну мостову схему, яка відзначається ефективним використанням потужності трансформатора та вдвічі меншою зворотною напругою на діодах порівняно з одно- та двохнапівперіодними схемами. Мостова схема включає однофазний трансформатор, діодний міст, згладжувальні фільтри та стабілізатори напруги. Пристрій живиться від мережі змінної напруги 220 В.

Для стабілізації напруги +12 В застосовано інтегральний стабілізатор LM7812 із коефіцієнтом нестабільності по напрузі 0,3 % та по струму близько 0,5 %, при максимальній вхідній напрузі до 40 В і вихідному струмі до 1,5 А. Для формування стабілізованої напруги +5 В використовуються мікросхеми LM7805. Для зменшення пульсацій у схемі застосовані електролітичні конденсатори.

Команди на зміну струму надходять у мікроконтролер із комп'ютера через елемент оптичної розв'язки DD2, що запобігає виходу зі строю комп'ютера або блоку живлення внаслідок протікання урівнювальних струмів, які можуть виникати через нерівні потенціали землі, особливо на великих відстанях між комп'ютером та джерелом живлення.

2.3. Розрахунок елементів силової схеми джерела струму

Розроблюване джерело живлення умовно поділяється на дві основні частини: силову та керуючу. До силової частини належать силовий трансформатор, польовий транзистор та згладжувальний фільтр. Керуюча

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

частина включає мікроконтролер, напівмостовий драйвер та датчик струму. Нижче наведено розрахунок та обґрунтування вибору схемних рішень для кожної з цих складових джерела струму.

Вихідними початковими даними для розрахунку є:

- напруга первинної обмотки $U_1 = 220 \text{ В}$;
- напруга вторинної обмотки $U_{2,1} = 36 \text{ В}$;
- напруга вторинної обмотки $U_{2,2} = 16 \text{ В}$;
- струм вторинної обмотки $I_{2,1} = 10 \text{ А}$;
- струм вторинної обмотки $I_{2,2} = 1 \text{ А}$;
- потужність вторинної обмотки.

$$P_{\text{вих}} = (I_{2,1} \cdot U_{2,1}) + (I_{2,2} \cdot U_{2,2}) \quad (2.1)$$

$$P_{\text{вих}} = (10 \cdot 36) + (1 \cdot 16) = 376 \text{ Вт}$$

Розміри магнітопроводу трансформатора обраної конструкції, необхідні для одержання від трансформаторів заданої потужності, можуть бути знайдені на основі формули:

$$S_{\text{ст}} \cdot S_{\text{ок}} = \frac{0,901 \cdot P_{\text{вих}}}{B_{\text{мах}} \cdot J \cdot K_{\text{ок}} \cdot K_{\text{ст}}} = \frac{0,901 \cdot 376}{1,65 \cdot 2 \cdot 0,35 \cdot 0,93} = 315,39 \quad (2.2)$$

де $B_{\text{мах}} = 1,65 \text{ Тл}$ – магнітна індукція.

Таблиця 2.1 – Магнітна індукція $B_{\text{мах}}$ при $P_{\text{вих}}$

Конструкція магнітопроводу	Магнітна індукція $B_{\text{мах}}$, [Тл] при $P_{\text{вих}}$, [Вт]				
	5~15	15~50	50~150	150~300	300~1000
Броньова (пластинчаста)	1,1~1,3	1,3	1,3~1,35	1,35	1,35~1,2
Броньова (стрічкова)	1,55	1,65	1,65	1,65	1,65
Кільцева	1,7	1,7	1,7	1,65	1,6

$J = 2 \text{ А/мм кв.}$ – щільність струму.

Таблиця 2.2 – Щільність струму I

Конструкція магнітопровода	Щільність струму I, [А/мм кв.] при P _{вих} , [Вт]				
	5≈15	15≈50	50≈150	150≈300	300≈1000
Броньова (пластинчаста)	3,9≈3,0	3,0≈2,4	2,4≈2,0	2,0≈1,7	1,7≈1,4
Броньова (стрічкова)	3,8≈3,5	3,5≈2,7	2,7≈2,4	2,4≈2,3	2,3≈1,8
Кільцева	5≈4,5		4,5≈3,5	3,5	3,0

$K_{ок} = 0,35$ – коефіцієнт заповнення вікна.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт заповнення вікна

Конструкція магнітопровода	Робоча напруга [В]	Коефіцієнт заповнення вікна $K_{ок}$ при P _{вих} , [Вт]				
		5-15	15-50	50-150	150-300	300-1000
Броньова (стрічкова)	до 100	0,15-0,27	0,27-0,29	0,29-0,32	0,32-0,34	0,34-0,38
	100-1000	0,13-0,23	0,23-0,26	0,26-0,27	0,27-0,30	0,30-0,33
Кільцева		0,18-0,20		0,20-0,26	0,26-0,27	0,27-0,28

$K_{ст} = 0,93$ – коефіцієнт заповнення магнітопровода сталлю.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт заповнення $K_{ст}$

Конструкція магнітопровода	Коефіцієнт заповнення $K_{ст}$ при товщині сталі, мм				
	0,08	0,1	0,15	0,2	0,35
Броньова (пластинчаста)	-	0,7(0,75)	-	0,85(0,89)	0,9 (0,95)
Броньова (стрічкова)	0,87	-	0,90	0,91	0,93
Кільцева	0,85		0,88		

Величину номінального струму первинної обмотки трансформатора знаходимо за виразом:

$$I_1 = \frac{P_{вих}}{U_1 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{376}{220 \cdot 0.95 \cdot 0.93} = 1.94 (\text{А}). \quad (2.3)$$

Таблиця 2.5 – Сумарна потужність вторинних обмоток

Величина	Сумарна потужність вторинних обмоток $P_{вих}$, [Вт]				
	2≈15	15≈50	50≈150	150≈300	300≈1000
броньовий стрічковий	0,5-0,6	0,6≈0,8	0,8≈0,9	0,90≈0,93	0,93≈0,95
	0,76≈8,88		0,88≈0,92	0,92≈0,95	0,95≈0,96
cos φ	0,85≈0,90	0,90≈0,93	0,93≈0,95	0,95≈0,93	0,93≈0,94

Струми вторинних обмоток були задані. Тепер потрібно визначити діаметр провідників у кожній обмотці без урахування товщини ізоляції.

Перетин проведення в обмотці: $S_{np} = \frac{I}{J}$, діаметр $d = 1.13\sqrt{S_{np}}$.

$$d_1 = 1.13\sqrt{\frac{1.94}{2}} = 1.11 \quad (2.4)$$

$$d_{2.1} = 1.13\sqrt{\frac{10}{2}} = 2.52 \quad (2.5)$$

$$d_{2.2} = 1.13\sqrt{\frac{1}{2}} = 0.81 \quad (2.6)$$

Визначаємо число витків в обмотках трансформатора:

$$W_1 = 45 \frac{U_n (1 - \Delta U_n / 100)}{B \cdot S_{cm}} = 45 \frac{220(1 - 2.5/100)}{1.65 \cdot 8} = 731.25 = 732 \quad (2.7)$$

$$W_{2.1} = 45 \frac{U_n (1 - \Delta U_n / 100)}{B \cdot S_{cm}} = 45 \frac{36(1 - 2.5/100)}{1.65 \cdot 8} = 119.15 = 120 \quad (2.8)$$

$$W_{2.2} = 45 \frac{U_n (1 - \Delta U_n / 100)}{B \cdot S_{cm}} = 45 \frac{16(1 - 2.5/100)}{1.65 \cdot 8} = 53.1 = 54 \quad (2.9)$$

В табл. 2.6 зведені вихідні дані до визначення вхідної напруги та коефіцієнтів заповнення імпульсів.

Таблиця 2.6 – Вихідні дані до визначення вхідної напруги

Вихідні дані	П1
Номінальна вхідна напруга U_{ex} , В	-
Нестабільність середнього значення вхідної напруги, Δ_{ex}	$\pm 0,2$
Амплітуда пульсацій на вході, $\Delta_{\sim}$	0,05
Значення вихідної напруги $U_{вих\ min}$; $U_{вих\ max}$, В	0,1; 10
Значення струму навантаження $I_{н\ min}$; $I_{н\ max}$, А	0,1; 10
Змінна складова вихідної напруги $U_{вих\sim}$, В	0,9
ККД	0,8
Частота перетворення f_n , кГц	20

Якщо у вихідних даних зазначена номінальна вхідна напруга U_{ex} , те на качану варто знайти $U_{ex\ min}$ і по ньому обчислити γ_{max} . При цьому для П1 повинно бути $\gamma_{max} < 0,95$. Якщо вхідна напруга не задана, то потрібно задатися максимальним коефіцієнтом заповнення:

– для П1 $\gamma_{max} = 0,9$;

Мінімальна вхідна напруга:

– для П1

$$\begin{aligned}
 U_{ex\ min} &= \frac{1}{1 - \Delta_{\sim}} \left(\frac{U_{вих\ max}}{\gamma_{max}} + U_{KE\ нас} + U_{dp} \right) = \\
 &= \frac{1}{1 - 0,05} \left(\frac{10}{0,9} + 1,5 + 0,02 \cdot 10 \right) \approx 14 \text{ В},
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

де попередньо прийняте $U_{VD} \approx 1 \text{ В}$ – пряме спадання напруги на комутуючому діоді; $U_{KE\ нас} \approx 1,5 \text{ В}$ – напруга насичення регулюючого транзистора; $U_{dp} \approx 0,02 \cdot U_{вих}$ – постійна складова напруги u_L на дроселі (спадання напруги на його активному опорі).

Номинальна вхідна напруга:

$$U_{ex} = \frac{U_{ex \min}}{1 - \Delta_{ex}}; \quad (2.11)$$

– для П1 $U_{ex} = \frac{14}{1 - 0,2} \approx 17,5 \text{ В};$

Максимальна вхідна напруга:

$$U_{ex \max} = U_{ex}(1 + \Delta_{ex}); \quad (2.12)$$

– для П1 $U_{ex \max} = 17,5(1 + 0,2) = 21 \text{ В};$

Мінімальне і номінальне значення коефіцієнтів заповнення імпульсів:

– для П1

$$\gamma_{\min} = \frac{U_{vix \min}}{\eta U_{ex \max}} = \frac{10}{0,9 \cdot 21} \approx 0,0534; \quad (2.13)$$

$$\gamma = \frac{U_{vix}}{\eta U_{ex}} = \frac{5}{0,9 \cdot 17,5} \approx 0,317; \quad (2.14)$$

Для П1 повинна дотримуватися умови $\gamma_{\min} < \gamma < \gamma_{\max}$, інакше потрібно відкоригувати припущення або вихідні дані.

2.4. Моделювання роботи джерела струму та розрахунок надійності

Для перевірки працездатності системи промодельємо її в пакеті Electronics Workbench (рис. 2.3).

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

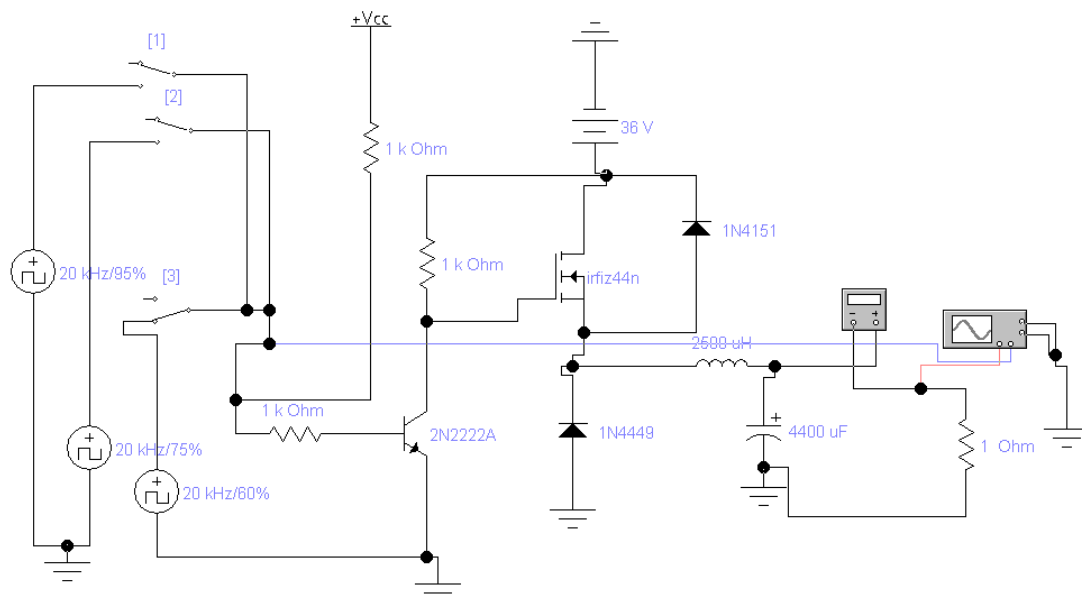


Рисунок 2.3 – Компьютерна модель джерела струму

В пакеті EWB відсутній елемент, який би дозволив моделювати роботу ШІМ. Але є генератор прямокутних імпульсів, який має можливість змінювати скважність імпульсів. Саме за допомогою джерел прямокутних сигналів в даній моделі реалізовано ШІМ. Значення величин елементів на схемі вибираються у відповідності до розрахункового.

У результаті моделювання одержуємо осцилограми (рис. 2.4).

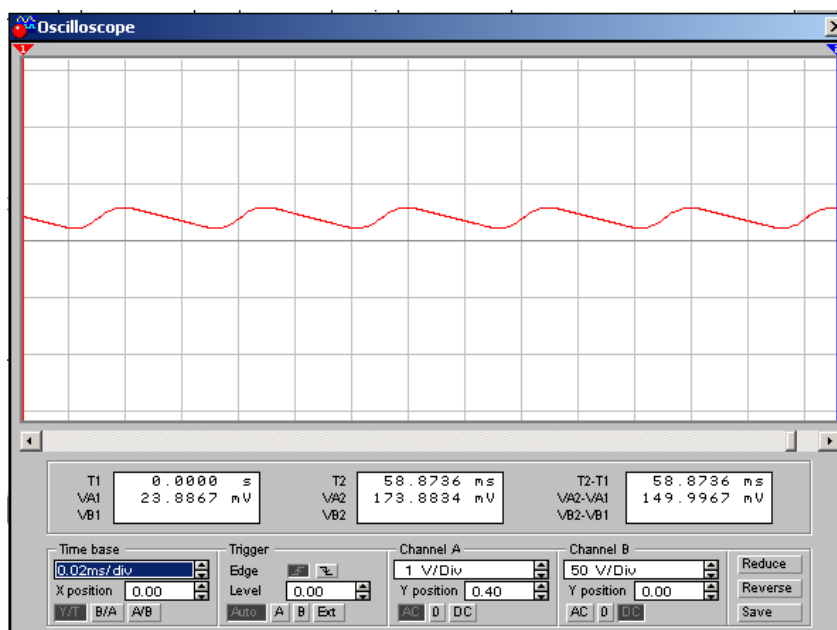


Рисунок 2.4 – Осцилограми струму та керуючих імпульсів

Таким чином, модель на рис. 2.4 у повній мірі розкриває принцип роботи проектованої системи, а також підтверджує її працездатність.

Для оцінки стабільності та надійності роботи системи визначимо ймовірність безвідмовної роботи джерела струму. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи проводиться для схеми, наведеної на рис. 2.2. Для цього необхідно враховувати потоки відмов кожного елемента схеми, які зведені у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Потоки відмовлень елементів

Елементи	$\lambda_i \cdot 10^5 \text{ год}^{-1}$	Кількість
ПП прилади	0,5	17
Резистори	0,25	24
Конденсатори	0,15	22
Кварци	0,03	1

Сумарна інтенсивність відмовлень визначається по формулі:

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n n_i \cdot \lambda_i . \quad (2.15)$$

Одержуємо

$$\lambda_0 = 0,5 \cdot 17 + 0,25 \cdot 24 + 0,15 \cdot 22 + 0,03 = 17,83 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Тоді середній час безвідмовної роботи m_t буде дорівнює:

$$m_t = \frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{17,83 \cdot 10^{-5}} = 5610 \text{ год.} \quad (2.16)$$

Ймовірність безвідмовної роботи розраховується по формулі:

$$P(t) = e^{-\lambda_0 \cdot t} . \quad (2.17)$$

Графік ймовірності безвідмовної роботи показаний нижче:

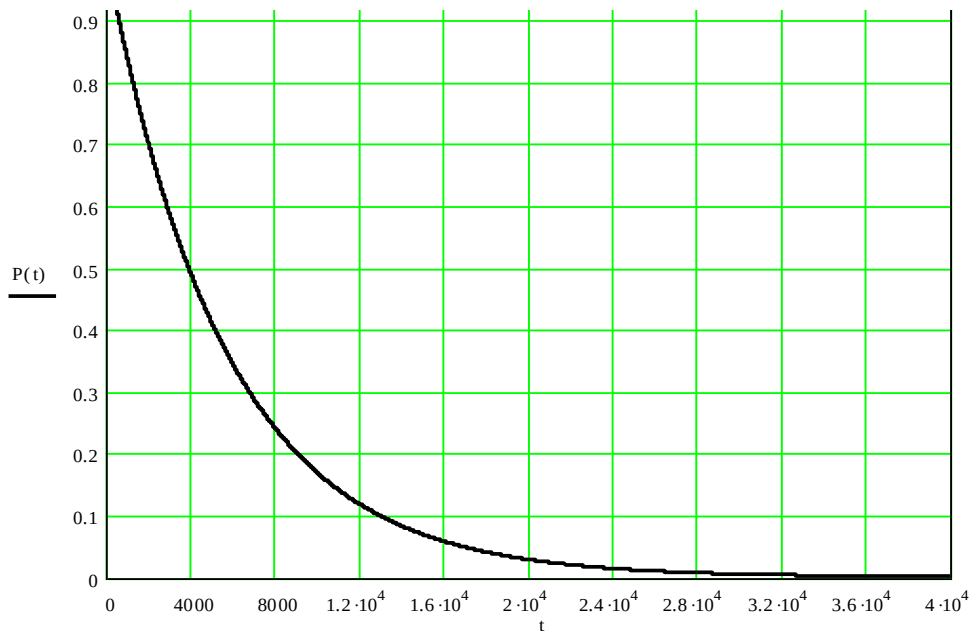


Рисунок 2.5 – Крива ймовірності безвідмовної роботи джерела струму

Час безвідмовної роботи визначається по ймовірності безвідмовної роботи, що дорівнює 0,25. Виходячи з формули (2.17), час безвідмовної роботи визначається по формулі:

$$t = -\frac{1}{\lambda_0} \cdot \ln(P) \text{ , год.} \quad (2.18)$$

тоді:

$$t = -\frac{1}{17,83 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln(0,25) = 7775 \text{ год.} \quad (2.19)$$

Як видно з розрахунків, час безвідмовної роботи джерела струму складає 7775 годин, що дорівнює 1-му року роботи системи.

Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено кероване джерело струму, для якого створено структурну та принципову схеми. Обґрунтовано вибір схемотехнічного рішення, проведено розрахунок трансформатора, згладжуючого фільтру та номіналів інших елементів схеми.

Застосування мікроконтролера дозволило частково перенести функції керування з апаратного рівня на програмний, що зменшило кількість додаткових елементів у схемі та, як наслідок, підвищило надійність роботи пристрою. Крім того, це надало джерелу струму гнучкості, забезпечивши можливість роботи як в автономному режимі, так і під керуванням комп'ютера.

Індикація струму здійснюється у зручній для користувача формі, а зміна програмного забезпечення мікроконтролера дозволяє реалізувати складні закони керування струмом. Це підвищує точність джерела, розширює його область застосування та покращує якість перехідного процесу, виключаючи значне перерегулювання, що могло б негативно впливати на навантаження.

Таким чином, розроблене джерело струму характеризується високою стабільністю, надійністю, точністю керування та широкими функціональними можливостями, що забезпечує його ефективне використання в лабораторних дослідженнях, ремонті та налаштуванні електронної апаратури.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розробка програмної частини системи керування джерелом струму	Літ.	Арк.	Аркуші
Розробник		Москва В.В.						
Консультант							38	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЖЕРЕЛОМ СТРУМУ

3.1. Розробка блок-схеми алгоритму основної програми для мікроконтролера та обробників переривань

На рис. 3.1 наведено блок-схему основного циклу роботи програми. Особливістю програми є її безперервний характер: виконання алгоритму починається з увімкнення живлення пристрою і триває до моменту його відключення, тобто завершення роботи програми відбувається лише при вимиканні джерела струму.

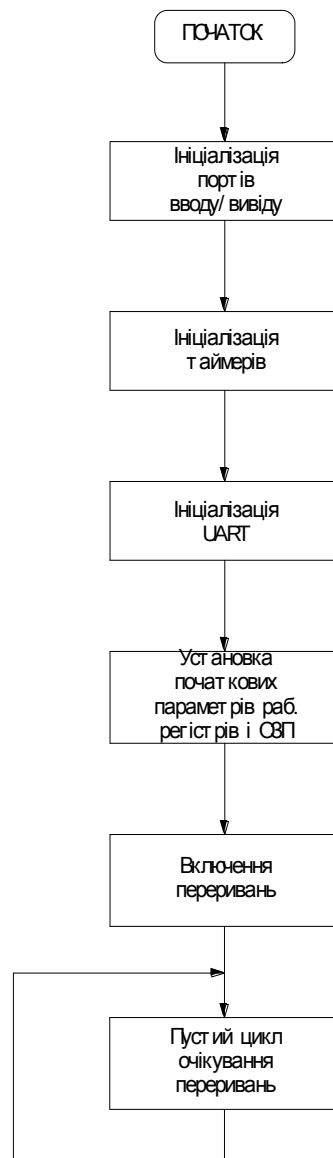


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму основного циклу програми.

На початковому етапі відбувається налаштування портів мікроконтролера. Через запис у регістри DDRP (де Р – назва порту) визначається напрямок передачі даних – на вхід або на вихід. Паралельно налаштовується стек, встановлюється швидкість передачі даних UART (9600 біт/с), дільники таймерів-лічильників та частота роботи АЦП. Також резервується область оперативної пам'яті мікроконтролера для збереження даних, отриманих після завершення перетворення АЦП.

Після завершення налаштувань команда sei дозволяє обробку переривань, і лічильник команд переходить у режим очікування настання переривання. У програмі передбачені підпрограми обробки переривання за завершенням перетворення АЦП та за прийомом байта даних через UART.

Основна логіка роботи програми реалізована саме в обробниках переривань. Аналого-цифровий перетворювач функціонує в автономному циклічному режимі, де кожне наступне перетворення розпочинається одразу після завершення попереднього. На рис. 3.2 наведено блок-схему алгоритму підпрограми обробки переривання за завершенням перетворення АЦП.

Після завершення переривання дані з регістрів АЦП (ADCH:ADCL) зчитуються та записуються у внутрішню пам'ять. Важливим є порядок зчитування: спочатку зчитується молодший байт, а потім старший. У разі зворотного порядку обидва регістри блокуються, і навіть при наступному перериванні дані не оновлюються. Розблокування відбувається лише при зчитуванні старшого байта.

Далі перевіряється значення лічильника ADC_count. Якщо воно менше 63, лічильник збільшується на одиницю. Після виконання 64 перетворень дані з оперативної пам'яті сумуються і діляться на 64 для отримання середнього значення (Feedback). Ця процедура дозволяє зменшити вплив пульсацій струму навантаження. Після обчислення середнього значення внутрішній лічильник і комірки пам'яті обнуляються.

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

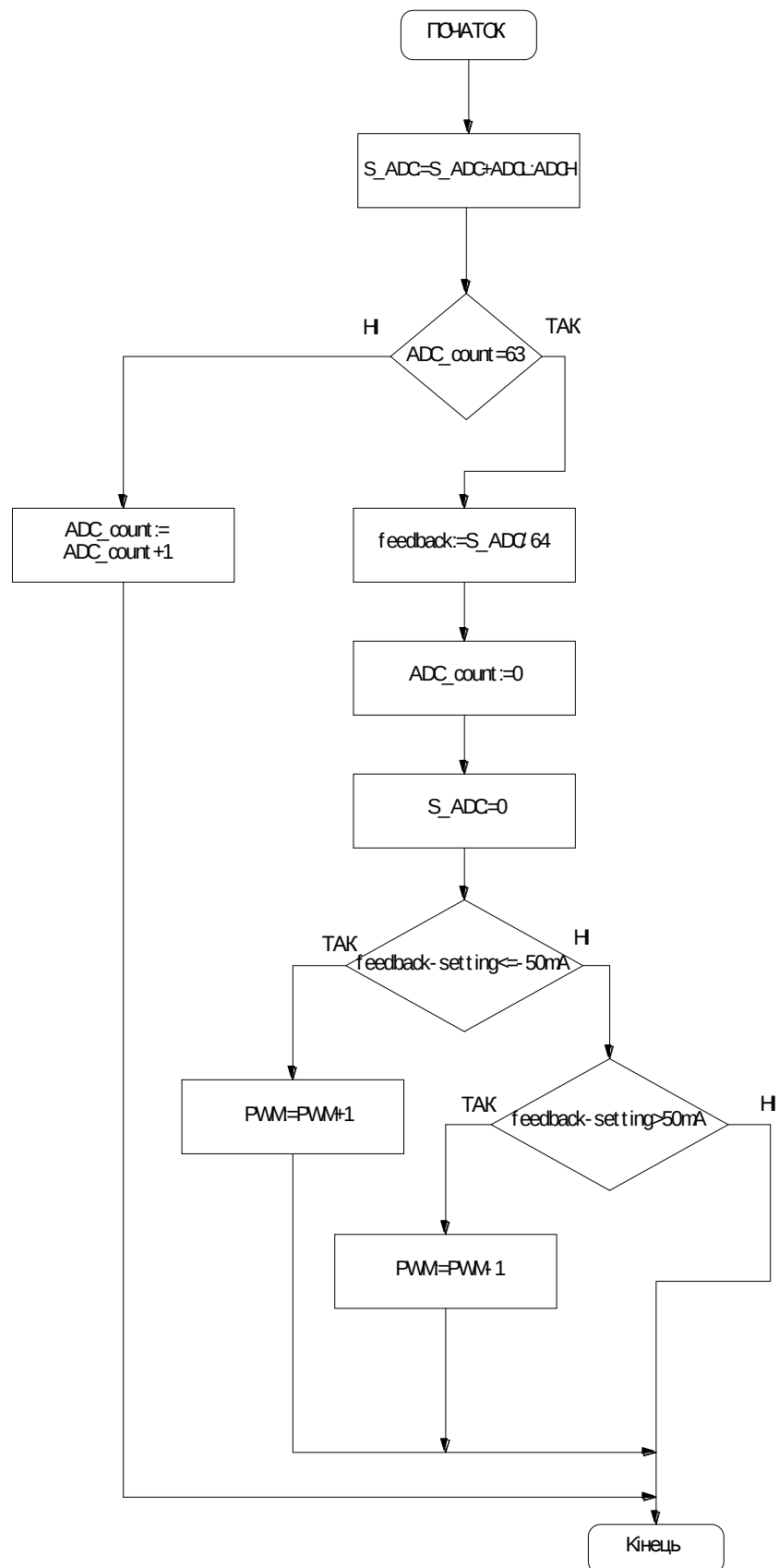


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму обробки переривання АЦП

Отримане середнє значення порівнюється з заданим значенням (Setting). Якщо різниця перевищує 50 мА, у регістр порівняння таймера-лічильника, що працює в режимі ШІМ, додається або віднімається одиниця залежно від знаку різниці. Це призводить до зміни ширини імпульсу, а відповідно – до корекції струму в навантаженні. Цикл повторюється кожні 64 переривання АЦП доти, поки струм через навантаження не стабілізується в заданому діапазоні.

3.2. Розробка блок-схеми алгоритму комунікаційної підсистеми

На рис. 3.3 представлена блок-схема алгоритму обробки переривання по прийому байта даних.

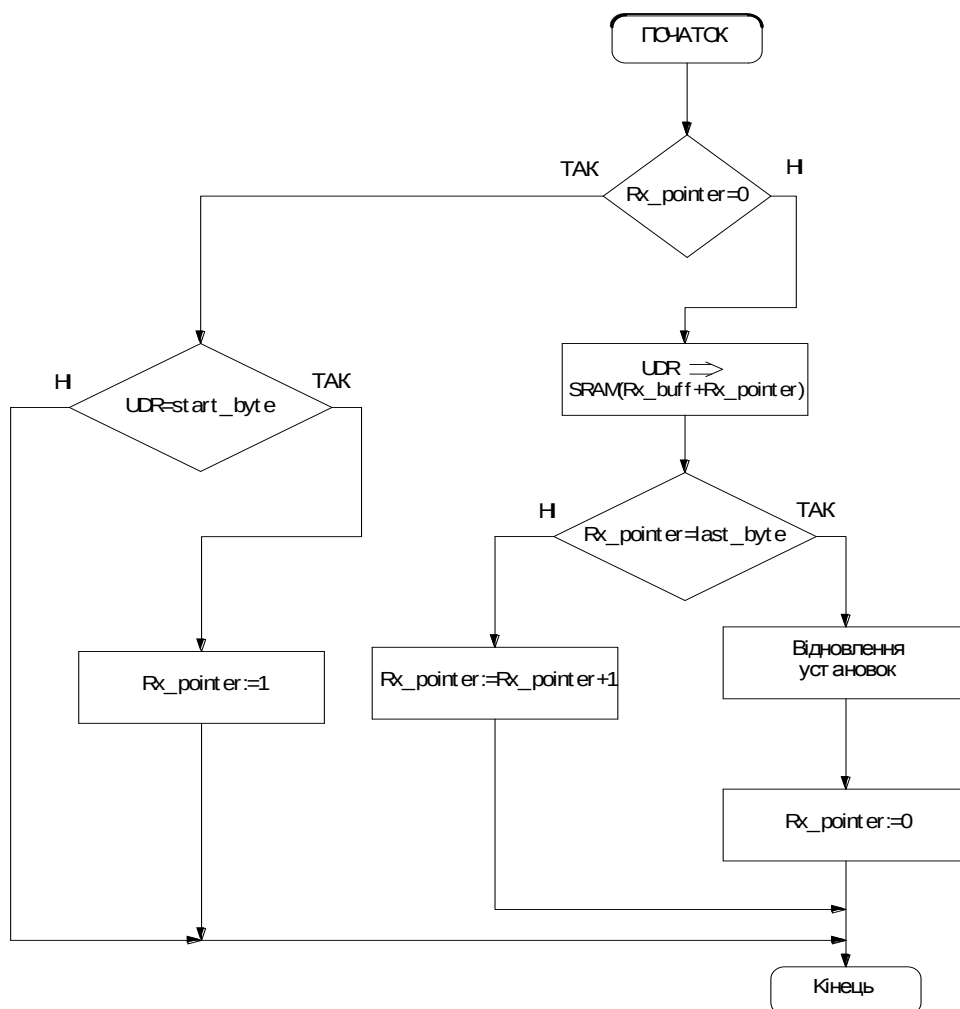


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму обробки переривання по прийому байта даних

При виникненні переривання значення вказівника RXpointer порівнюється з нулем. Оскільки команда на зміну величини струму складається з трьох байтів, за допомогою цього вказівника визначається номер прийнятого байта. Якщо значення вказівника дорівнює нулю (перший байт), отримане значення перевіряється на відповідність 0x0D, що є ідентифікатором команди на зміну струму. У разі підтвердження значення, вказівник збільшується на одиницю.

При надходженні другого байта (старшого байта значення струму) його значення зберігається у зарезервованій комірці оперативної пам'яті, виділеній при ініціалізації контролера. Надходження третього байта (молодшого байта) призводить до оновлення значення регістру уставки 'Setting'. Наприклад, для встановлення струму навантаження 2,7 А команда має вигляд 0x0D010E, де два останні байти (010E) відповідають значенню струму, помноженому на 100 ($010E_{16} = 270_{10}$), що дорівнює 2,7 А.

Індикація струму через навантаження здійснюється за допомогою трьох семисегментних індикаторів з загальним катодом. Для керування ними задіяно 11 виводів мікроконтролера. Програмно реалізований дешифратор перетворює значення струму у код семисегментних індикаторів. Дані по черзі виводяться на порт мікроконтролера, при цьому відповідний індикатор активується логічною одиницею, а інші два — вимкнені. Завдяки високій частоті комутації створюється візуальна ілюзія безперервного відображення величини струму. Переваги такого способу індикації були розглянуті у Розділі 2.

3.3. Розробка блок-схеми алгоритму програми для комп'ютера

Програмне забезпечення візуального інтерфейсу повинно відповідати наступним вимогам:

- забезпечувати просте та зручне регулювання струму навантаження;
- надавати засоби відображення інформації в наочній та зрозумілій формі.

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Провівши аналіз існуючих мов програмування, було обрано мову C++ завдяки її поширеності та високій популярності. Розробка програми здійснюється у середовищі Visual C++. Альтернативний варіант інтерфейсу реалізовано в SCADA-системі. Алгоритм роботи наведено на рис. 3.4.

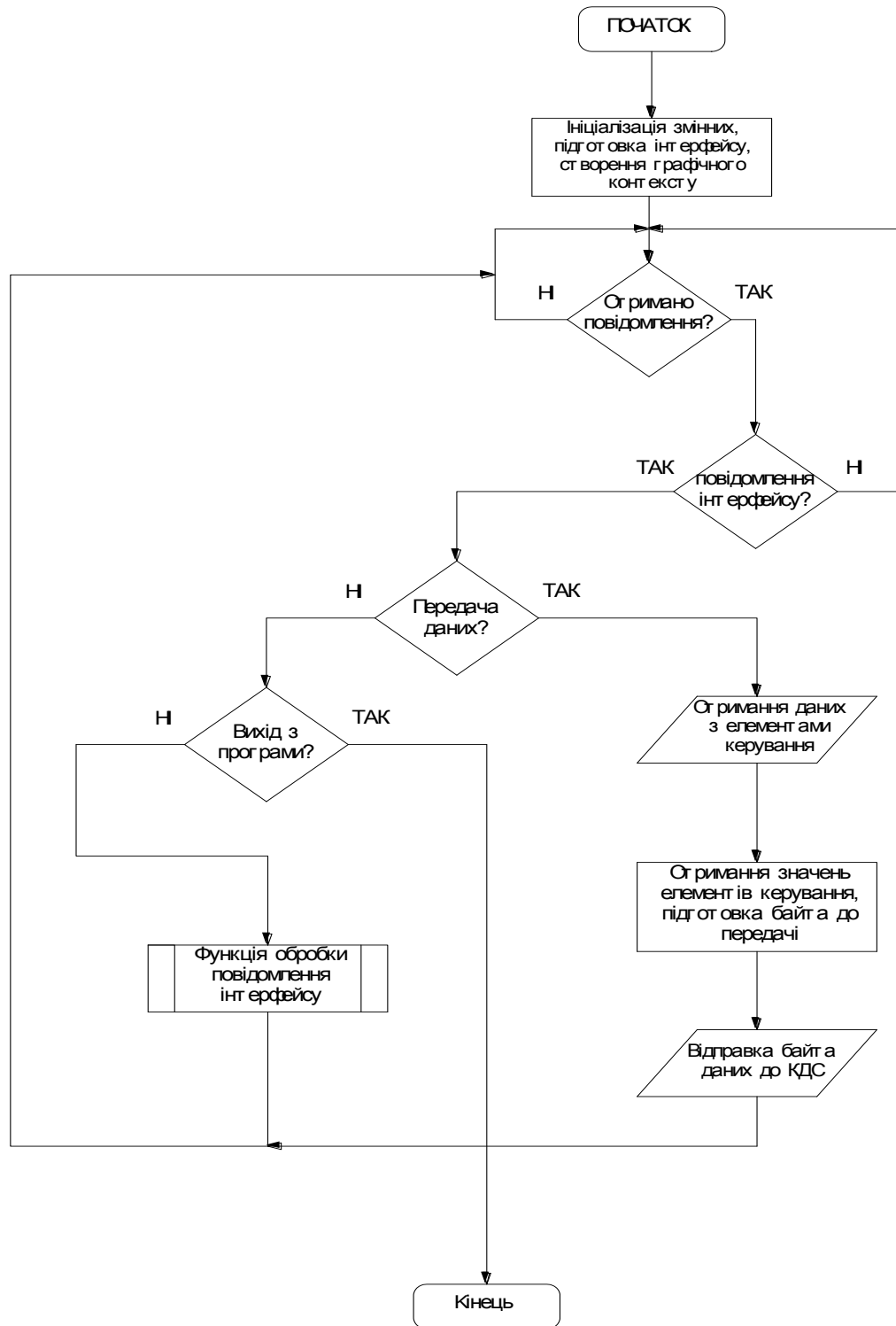


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму програми для комп'ютера

При запуску програми відбувається ініціалізація змінних, що використовуються в програмі, а також створюються елементи керування користувацького інтерфейсу. Після цього програма переходить у режим очікування повідомлень, на основі яких організована взаємодія між програмою та операційною системою.

У разі надходження повідомлення від інтерфейсу користувача (наприклад, натискання кнопки) виконується відповідна функція. Повідомлення від операційної системи (наприклад, буфера обміну) ігноруються. Якщо натиснута кнопка для встановлення нового значення струму, програма передає відповідну команду у контролер. У протилежному випадку перевіряється натискання кнопки виходу з програми — при підтвердженні закривається головне діалогове вікно.

Якщо ж кнопка виходу не була натиснута, виконується обробка інших повідомлень, таких як установка нового значення струму або відкриття/закриття порту. Одночасно відбувається оновлення стану елементів керування інтерфейсу та відображення текстової і графічної інформації.

3.4. Інтерфейс програмних засобів для керування джерелом струму

При запуску програми з'являється графічний інтерфейс з елементами керування. На рис. 3.5. представлено зовнішній вигляд інтерфейсу програми.

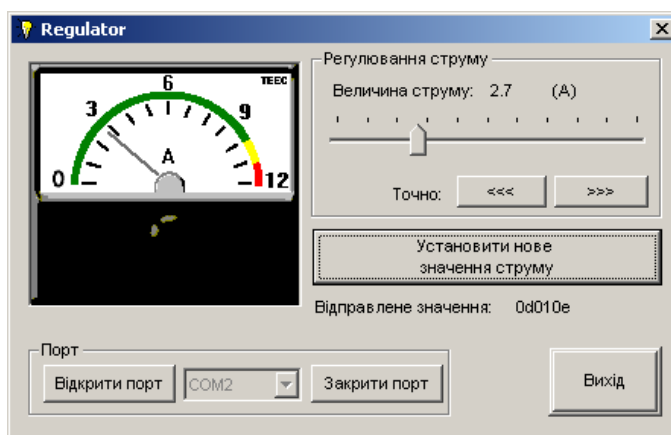


Рисунок 3.5 – Інтерфейс програми для керування джерелом струму

Під час роботи з програмою спочатку необхідно вибрати порт, встановлений на комп'ютері, та натиснути кнопку «Відкрити порт». У обробнику цього натискання виконується виклик функції CreateFile(), яка забезпечує відкриття обраного порта. Формат передаючого слова та швидкість обміну встановлюються шляхом заповнення структури 'DCB', що містить такі параметри: швидкість передачі – 9600 біт/с, кількість біт даних – 8, кількість стоп-біт – 1, біт парності – відсутній. Зміна налаштувань порта здійснюється функцією SetCommState(), яка записує параметри у регістр керування UART.

Величина струму встановлюється за допомогою елемента інтерфейсу «slider». Натискання кнопки «Установити нове значення струму» формує та надсилає відповідну команду до мікроконтролера через виклик функції WriteFile(). На панелі приладу стрілка відображає встановлене значення струму.

Після завершення роботи з програмою порт необхідно закрити, а головну форму програми – завершити натисканням кнопки «Вихід». Текст програми наведено в Додатку Б.

Використання SCADA-систем значно прискорює процес розробки керуючих програм. Система ****Genie**** включає велику кількість елементів керування, має розвинений графічний інтерфейс та підтримує мову програмування Basic. Завдяки можливості створення власних модулів забезпечується реалізація практично будь-яких задач керування технологічними процесами.

На рис. 3.6. представлений вигляд інтерфейсу системи керування джерелом струму.

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

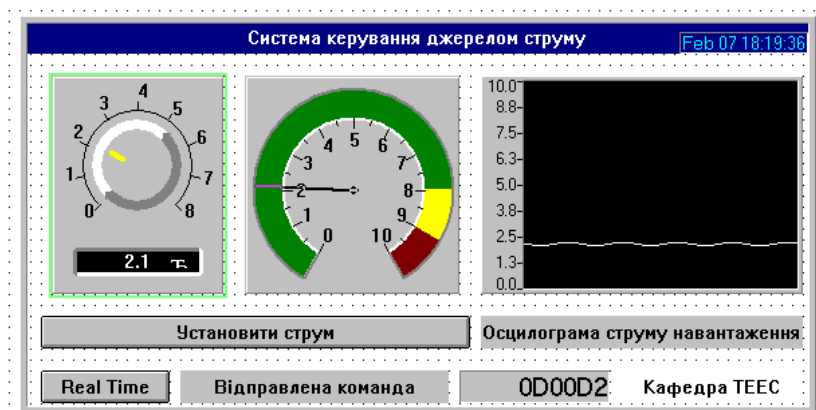


Рисунок 3.6 – Інтерфейс програми керування джерелом струму

Керування величиною струму через навантаження здійснюється шляхом повороту регулятора до потрібного значення. Для підтвердження змін необхідно натиснути кнопку «Установити струм», після чого відповідна команда надсилається до джерела струму та відображається поруч із позначкою «Відправлена команда». Якщо активовано режим «Real Time», керування струмом здійснюється у реальному часі: зміни регулятора одразу передаються до джерела струму. Відображення встановленого значення струму забезпечується елементами керування METER та GRAPH DISPLAY.

На рис. 3.7 зображена схема зв'язку між модулями, за допомогою яких відбувається керування джерелом.

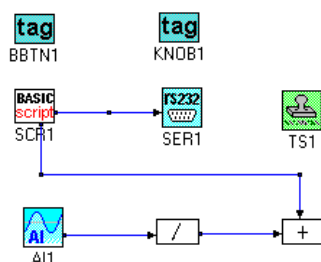


Рисунок 3.7 – Схема зв'язку між модулями

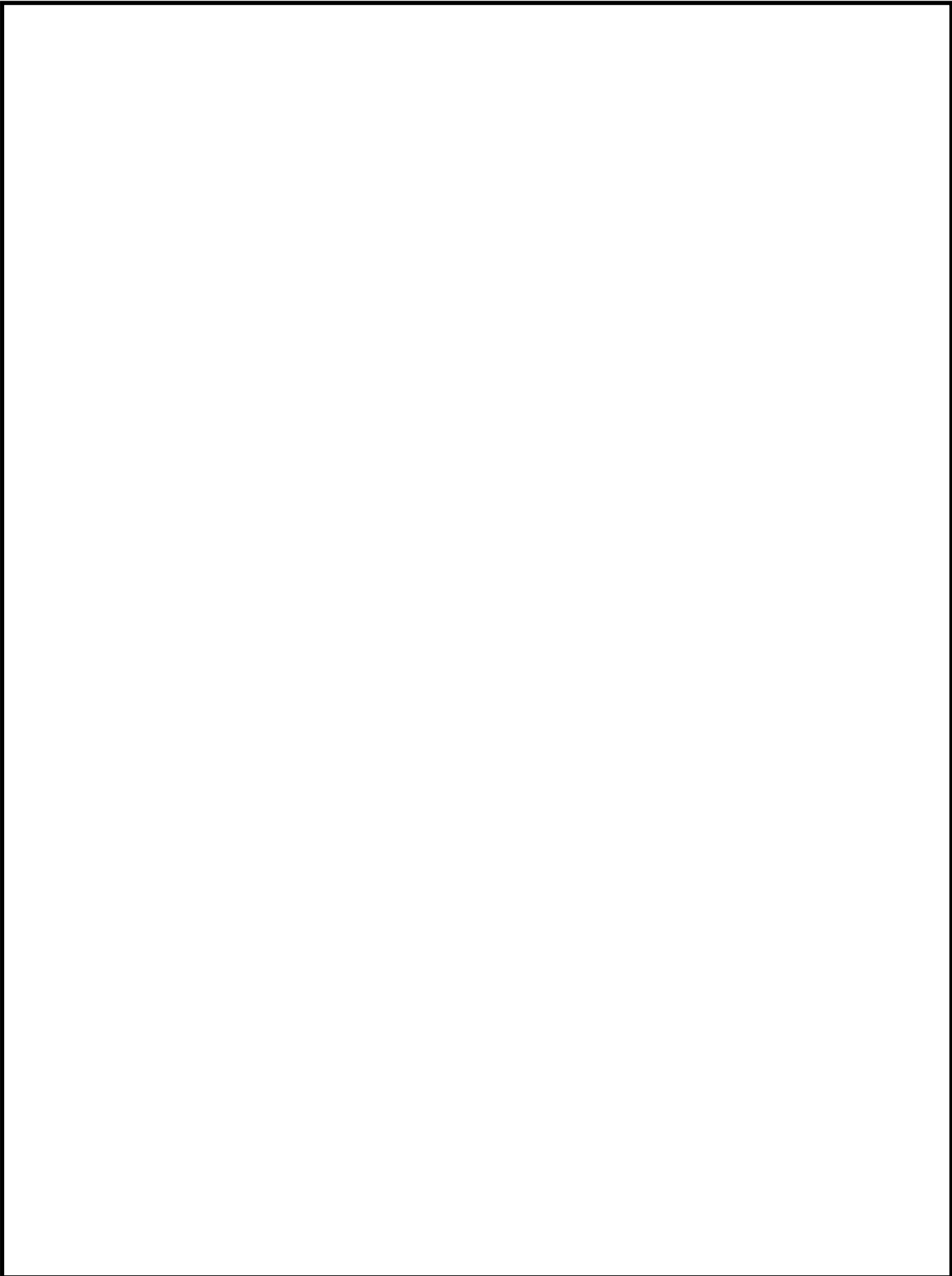
Основна логіка формування команд, що надсилаються до джерела струму, реалізована у модулі SCR1. Його вихід підключається до входу блоку SER1, який відповідає за передачу команд через COM-порт. Подвійне натискання на блоці відкриває вікно налаштувань параметрів порту

(швидкість передачі, формат слова тощо). Теги BBTN1 та KNOB зв'язують елементи керування інтерфейсу з логікою стратегії управління, а тег TS1 дозволяє відображати поточні дату та час. Тег AI1 є генератором синусоїдального сигналу, амплітуда якого ділиться на заданий коефіцієнт та додається до встановленого значення струму. На дисплеї це відображається як струм із невеликими пульсаціями.

Висновки по розділу

У цьому розділі були розроблені алгоритми та створено відповідне програмне забезпечення для мікроконтролера та комп'ютера. Розроблено користувацький інтерфейс, що функціонує під керуванням сімейства операційних систем Microsoft Windows, які на сьогодні є найбільш поширеними. Використання SCADA-систем суттєво прискорює процес розробки програм керування, оскільки забезпечує доступ до великої кількості готових компонентів, включаючи драйвери портів, елементи керування та засоби відображення інформації. Це дозволяє ефективно реалізувати функціонал керування джерелом струму та забезпечує зручний інтерфейс для користувача.

					171.6321м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.6321м.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Москва В.В.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант		Губальцев А. М.					49	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Вступ

Охорона праці – це комплекс правових норм, соціально-економічних, організаційних, технічних та санітарно-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на гарантування безпеки, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності. Вона виявляє та аналізує можливі причини виробничих травм, професійних хвороб, аварій, вибухів, пожеж і формує систему дій та вимог, покликаних ліквідувати ці чинники й забезпечити безпечні та комфортні умови роботи.

Проблематика охорони праці тісно пов'язана також із завданнями збереження довкілля. Складність питань, що виникають у сфері охорони праці, потребує використання досягнень багатьох наук, безпосередньо або опосередковано пов'язаних із формуванням здорових і безпечних умов для працівників. Оскільки головним об'єктом захисту є людина в процесі праці, при розробці санітарних норм і вимог широко застосовуються результати досліджень у галузі медицини та біології. Особливо тісно охорона праці пов'язана з науковою організацією виробництва, ергономікою, інженерною психологією та технічною естетикою. Ефективність вирішення проблем у цій сфері значною мірою визначається рівнем підготовки спеціалістів, їхньою здатністю приймати виважені рішення у складних та динамічних умовах сучасного виробництва..

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на людину в процесі роботи з керованим джерелом струму

У процесі роботи з керованим джерелом струму на працівника можуть впливати різноманітні небезпечні та шкідливі фактори, пов'язані як з електричними процесами, так і з наслідками можливих аварійних ситуацій. Однією з найпоширеніших небезпек є виникнення пожежі, яка являє собою неконтрольоване горіння поза спеціально призначеним осередком і може

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

призвести до серйозних матеріальних збитків та становити загрозу життю і здоров'ю людини. Пожежна безпека визначається як такий стан об'єкта, при якому з певною ймовірністю виключається виникнення та поширення пожежі, мінімізується дія небезпечних факторів на людей та забезпечується збереження матеріальних цінностей. Основними причинами пожеж і вибухів у виробничих умовах є порушення вимог протипожежних правил, недотримання нормативних документів і технологічних регламентів.

До небезпечних факторів пожежі належать відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти згоряння, дим, дефіцит кисню, а також руйнування будівельних конструкцій. Характер наслідків залежить від категорії приміщення за вибухопожежною безпекою, які визначаються фізико-хімічними властивостями речовин і умовами їх експлуатації. Важливим елементом протипожежного захисту є вогнестійкість будівельних конструкцій, тобто їхня здатність тривалий час протистояти впливу високих температур без втрати несучих властивостей.

Окрім пожежної безпеки, значний ризик становлять короткі замикання. Вони виникають у результаті пошкодження ізоляції струмопровідних частин обладнання, механічних ушкоджень кабелів, обмоток трансформаторів чи двигунів. При цьому виникають струми надзвичайно високої величини, які викликають інтенсивне нагрівання, електродинамічні навантаження та різке зниження напруги в мережі. Температура провідників може досягати десятків тисяч градусів, що призводить до плавлення металу та займання ізоляції. Короткі замикання супроводжуються також електродинамічними силами, здатними деформувати провідники й кріпильні елементи, а наслідком їх є часткове або повне припинення електропостачання.

Ще одним чинником безпеки є перевантаження електромереж і елементів обладнання. Перевищення допустимого струму спричиняє надмірне виділення тепла, що призводить до прискореного старіння та

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

руйнування ізоляції, утворення оксидів на контактах і врешті-решт до електричного пробою. У випадку використання горючих матеріалів це може стати причиною пожежі або вибуху. Перевантаження виникають через помилки при проектуванні (занижений переріз провідників, недостатній запас потужності) або під час експлуатації при підключенні додаткових пристроїв.

Небезпеку створюють також перехідні опори в місцях з'єднань і контактів. Ненадійні або окислені контакти сильно нагріваються під дією робочого струму. Це локальне тепловиділення може стати джерелом займання ізоляційних матеріалів або спричинити вибух у разі наявності газоповітряних сумішей.

Особливе значення при роботі з керованими джерелами струму має електробезпека. Вона включає комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на захист людини від дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітних полів та статичної електрики. Порушення цих вимог призводить до електротравм, серед яких розрізняють місцеві (опіки, електрознаки, металізація шкіри, ураження очей) та загальні, що проявляються у вигляді електроударів різного ступеня тяжкості аж до клінічної смерті.

Електричний струм, проходячи крізь організм, чинить кілька видів шкідливої дії: термічну (опіки, перегрів тканин і органів), електролітичну (порушення складу біологічних рідин), механічну (розриви тканин, вибухоподібне утворення пари з перегрітих рідин), а також біологічну (зміни нормальних процесів у нервовій та м'язовій системах). Небезпечними є як прямий вплив струму на тканини, так і рефлекторні реакції організму.

Таким чином, під час експлуатації керованих джерел струму на людину можуть діяти численні небезпечні фактори: пожежі, вибухи, короткі замикання, перевантаження та перехідні опори, а також безпосередня біологічна дія електричного струму. Комплексна оцінка цих ризиків і

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

дотримання вимог електробезпеки є основою створення безпечних умов праці та запобігання виробничим травмам.

4.3. Розрахунок загального освітлення

Розрахунок освітленості навчального стенда для роботи з джерелом струму, який знаходиться в лабораторії, наведено далі. Довжина приміщення $A = 4\text{ м}$, ширина $B = 3\text{ м}$, висота $H = 2,5\text{ м}$. Висота робочої поверхні $h_p = 1\text{ м}$. Будівля із побіленою стелею, побіленими стінами при не завішених вікнах, темна розрахункова поверхня. Напруга мережі: $U = 220\text{ В}$.

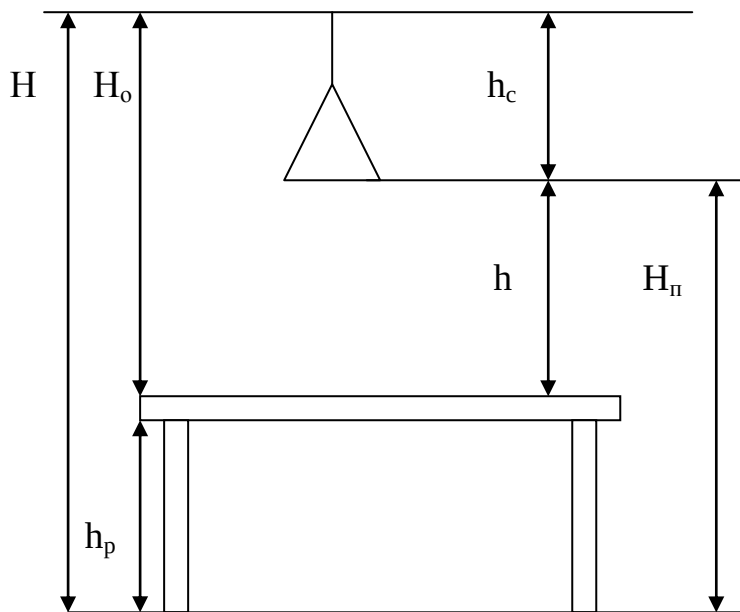


Рисунок 4.1 – Розміщення світильника в приміщенні

Рішення

Розрахунок відстаней:

$$H_0 = H - h_p = 2.5 - 1 = 1.5\text{ м.}$$

$$h_c = 0.2 \cdot H_0 = 0.2 \cdot 1.5 = 0.3\text{ м.}$$

$$h = H_0 - h_c = 1.5 - 0.3 = 1.2\text{ м.}$$

$$H_{\Pi} = h + h_p = 1.2 + 1 = 2.2\text{ м.}$$

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймають відношення:

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

$$L/h=1.5$$

$$L=1.2 \cdot 1.5=1.8 \text{ м.}$$

L – відстань між центрами світильників

Необхідна кількість світильників:

$$N=S/L^2=A \cdot B/L^2=4 \cdot 3/1,8^2=2.05$$

Приймаємо 2 світильника .

Індекс приміщення:

$$i= A \cdot B/h(A \cdot B)=4 \cdot 3/1.2 \cdot (4+3)=1,428$$

Для освітлення приймаємо світильник типові УПМ-15

З таблиці 22 (А.М. Тубальцев «Виробниче освітлення та його розрахунок») при $i=1,428$, $\rho_n=70\%$, $\rho_z=50\%$, $\rho_p=10\%$ (з табл. 26) для світильника типу УПМ-15 коефіцієнт використання світлового потоку $\eta=0.6$.

Визначаємо $E_{\min}$, лк:

$$E_{\min}=100 \text{ лк.}$$

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi= E_{\min} \cdot S \cdot K_z \cdot Z/N \cdot \eta=100 \cdot 12 \cdot 1.3 \cdot 1.15/2 \cdot 0.6=1495, \text{ де}$$

$$K_z=1,3 \text{ із таб.5;}$$

$$Z=1,15 \text{ коефіцієнт нерівномірності для ламп розжарювання.}$$

Зі знайденого світлового потоку (таб.16) , виберемо лампу потужністю 100 Вт, що має світловий потік 1450 лм, найбільш близький до розрахункового.

При цьому фактична освітленість:

$$E_{\phi}=E_n \cdot (\Phi_{\text{л}}/\Phi_p)=100 \cdot (1450/1495) = 97 \text{ лк.}$$

Загальна потужність освітлювальної установки:

$$P_3=P_{\text{л}} \cdot N=100 \cdot 2 = 200 \text{ Вт.}$$

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4.4. Заходи для захисту від ураження електричним струмом

Запобігання ураженню електричним струмом ґрунтується на впровадженні комплексу технічних і організаційних заходів, спрямованих на усунення або зменшення дії небезпечних факторів. Основним елементом є забезпечення надійної ізоляції струмопровідних частин, що гарантує безпечну експлуатацію обладнання. У випадках пошкодження основної ізоляції застосовується додаткова або подвійна ізоляція, а також посилена ізоляція, яка здатна замінити комбіновану систему. Стан ізоляції контролюється як під час приймально-здавальних випробувань, так і в процесі експлуатації обладнання після ремонту або при підозрі на її дефекти. Вимірювання проводять мегомметрами, а допустимі значення опору нормуються Правилами улаштування електроустановок. Для силових щитів, пускачів і освітлювальних установок опір не повинен бути меншим за 0,5 МОм, а для допоміжних кіл – не нижче 1 МОм. Постійний контроль здійснюється автоматичними приладами, які сигналізують про зниження ізоляційних характеристик нижче нормативного рівня.

Важливим напрямом запобігання електротравмам є огороження струмоведучих частин або забезпечення їхньої недоступності. Це унеможливорює випадковий дотик або небезпечне наближення до діючих елементів. Огороження повинні мати достатню механічну міцність і електричну стійкість, щоб забезпечити надійний захист протягом усього строку експлуатації.

Додатковими заходами електробезпеки виступають правильний вибір конструкцій обладнання, дотримання вимог до ізоляційних матеріалів і контроль за якістю монтажу електричних мереж. Використання автоматичних вимикачів, плавких запобіжників і реле захисту дозволяє запобігати перевантаженням, коротким замиканням і перегріванню проводів, що може спричинити як аварійні відключення, так і небезпечні ситуації для персоналу.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Таким чином, запобігання ураженню струмом досягається комплексним застосуванням технічних засобів захисту та дотриманням експлуатаційних норм, що забезпечує безпеку працівників і надійність роботи електроустановок.

					171.6321м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано розробку джерела стабілізованого струму з мікропроцесорним керуванням. Проведено аналіз сучасних схемотехнічних рішень, досліджено особливості імпульсних стабілізаторів та обґрунтовано вибір принципу побудови пристрою. Це дозволило створити компактну та енергоефективну систему, що поєднує високі показники стабільності та можливість програмного керування.

В процесі роботи розроблено структурну, принципову та друковану схеми пристрою, реалізовано алгоритми функціонування та створено програмне забезпечення для керування. Проведене моделювання підтвердило правильність обраних технічних рішень і забезпечило можливість попередньої оптимізації параметрів.

Особливістю розробленого джерела є наявність двох режимів роботи: автономного (з керуванням від клавіатури на корпусі) та дистанційного (з керуванням від персонального комп'ютера). Це значно розширює функціональні можливості пристрою та робить його зручним для використання як у лабораторних дослідженнях, так і в практичних застосуваннях.

Таким чином, поставлену мету досягнуто: створено мікропроцесорно кероване джерело стабілізованого струму, яке характеризується зменшеними масо-габаритними показниками, високим ККД та широкими можливостями налаштування.

					171.6321м.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Precision programmable current source uses two ICs. EDN. 2015. URL: https://www.edn.com/precision-programmable-current-source-uses-two-ics/
2. Switching regulator fundamentals (Rev. C). Texas Instruments, 2022. URL: [https://www.ti.com/lit/pdf/SNVA559] .
3. Satterfield G. Programmable, Two-Stage, High-Side Current Source Circuit : Application note SLA-A867. Texas Instruments, 2024. URL: [https://www.ti.com/lit/pdf/slaa867].
4. Recom-Power. Buck Switching Regulators: Principles, Performance, and Applications. 2024. URL: [https://recom-power.com/en/rec-n-buck-switching-regulators-principles%2C-performance%2C-and-applications-396.html]
5. Lin G., Li Z., Peng L. A Review of Control Strategies for Four-Switch Buck–Boost Converters. Vehicles. 2025. Vol. 16, No. 6. URL: [https://www.mdpi.com/2032-6653/16/6/315].
6. Examining High-Power Buck Switching Regulator Modules. EE Power / Bodo's Power Systems. 2024. URL: [https://eepower.com/industry-articles/3x-high-power-buck-switching-regulator-modules/].
7. High Performance Buck Regulators Solve the Power Thirst of Transmitter Circuit in Current Loops. Analog Dialogue. Analog Devices, 2021. URL: [https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/high-performance-buck-regulators.html].
8. A high-performance current source. EDN. 2025. URL: [https://www.edn.com/a-high-performance-current-source/].
9. Santos R.B., Cardoso J.V., Lima R.G., Lima E.R. Electrode module for EIT with a robust Howland current source. Biomedical Signal Processing and Control. 2024. Vol. 87. P. 105–119. URL: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468601824000269].

					171.6321м.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

10. Riegler B., Böck M., Lenz B. Design and Implementation of 3 kW All-SiC Current Source. Electronics. 2025. Vol. 14, No. 3. Article 522. URL: [https://www.mdpi.com/2079-9292/14/3/522].

11. Study of the Open Source Arduino DUE Board as Digital Control Platform for Three-Phase Power Converters. Academia.edu. 2021. URL: [https://www.academia.edu/70862927].

12. Lu J., Zhao X., Zhang Y. Realizing Constant Current and Constant Voltage Outputs and Input ZPA of WPT Systems with Minimum Component Counts. IEEE Transactions on Power Electronics. 2021. Vol. 36, No. 7. P. 7452–7464. URL: [https://chrismi.sdsu.edu/publications/184.pdf].

13. Mrozowski M.S., Green B.L., Ruttner J., et al. Ultra-low-noise, bi-polar, programmable current sources. Review of Scientific Instruments. 2023. Vol. 94, No. 1. Article 014701. URL: [https://pubs.aip.org/aip/rsi/article/94/1/014701].

14. Ultra-low noise bi-polar programmable current sources. ResearchGate. 2022. URL: [https://www.researchgate.net/publication/362171789].

15. Digilent. DPS3340 Discovery USB Programmable Power Supply : product page. 2023. URL: [https://digilent.com/shop/dps3340].

16. Tektronix. Programmable Power Supply : product overview. 2024. URL: [https://www.tek.com/en/products/dc-power-supplies/programmable-power-supply].

17. Advanced Energy. Programmable Lab PSUs : product overview. 2024. URL: [https://www.advancedenergy.com/en-us/products/ac-dc-power-supply-units/programmable-lab-psus/].

18. Wibowo A. Design of ACS712-based Current Sensing Monitoring System. Jurnal SAINTEKOM. 2024. Vol. 14, No. 2. P. 25–33. URL: [https://journal.unnes.ac.id/journals/sainteknol/article/download/20604/2937/59420].

19. Reference Ultra Low DC Current Source (ULCS) Between 1 fA and 100 pA. arXiv. 2019. arXiv:1907.01389. URL: [https://arxiv.org/abs/1907.01389].

					171.6321м.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

20. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «PEMS 2023». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: [https://iee.kpi.ua/wp-content/uploads/2024/02/Збірник-матеріалів-конференції-PEMS-2023.pdf].

21. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем : підручник. У 6 т. Т. 3. Мікропроцесорна техніка / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, В.С. Буряк. Миколаїв : Іліон, 2012. 445 с.

22. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем : підручник. У 6 т. Т. 6. Апаратно-програмні засоби відображення інформації / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв : Іліон, 2013. 464 с.

23. Рябенський В.М. Програмна реалізація методів розрахунку та аналізу електричних кіл : навч. посібник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, М.Я. Островерхов, М.С. Махмуд Аль-суод. Київ : Вид-во Ліра-К, 2021. 462 с.

24. Рябенський В.М. Програмовані електронні системи керування, збору та обробки інформації : підручник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв : НУК, 2019. 490 с.

25. Ryabenskiy V.M., Ushkarenko A.O. Formalnoe opisanie elementov avtomatizirovannogo rabocheho mesta operatora elektroenergeticheskoy sistemyi / V.M. Ryabenskiy, A.O. Ushkarenko // Vestnik HGMA. 2014. Vol.1. P. 43-50.

26. Рябенський В.М. Моделювання електронних, електротехнічних та електроенергетичних систем / Рябенський В.М., Ушкаренко О.О., Махмуд М.С. Аль-Суод. Миколаїв : Іліон, 2024. 424 с.

27. Рябенський В.М. Verilog. Практика проектування цифрових пристроїв на ПЛІС. : навч. посібник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв : Іліон, 2007. 324 с.

28. Рябенський В.М. MAX+plus II. Основи проектування цифрових пристроїв на ПЛІС / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. К.: «Корнійчук», 2004. 253 с.

					171.6321м.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Лістинг програми для мікроконтролера

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>

//***** КОНСТАНТИ *****

// Керуючі біти
#define PRESS    0
#define ERR      1

// Виводи індикаторів та клавіатури
#define LED1     7
#define LED2     6
#define LED3     5
#define KEYUP    4
#define KEYDOWN  3
#define SP       1

//***** Змінні *****

volatile uint16_t Feedback = 0;      // Зворотний зв'язок
(усереднене значення ADC)
volatile uint16_t Setting = 100;    // Початкове уставлене
значення
volatile uint8_t Buzz = 0;          // Лічильник для звукового
сигналу
volatile uint8_t Scan = 0;          // Лічильник сканування дисплея
volatile uint8_t Dig1, Dig2, Dig3; // Значення для 7-сегм.
індикаторів
volatile uint8_t Control = 0;       // Керуючий байт (для
клавіш)

//***** Прототипи функцій *****
```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

void Uart_init(void);
void PWM_out(uint16_t val);
uint16_t Get_ADC(void);
uint8_t LedConvert(uint8_t val);

//***** Ініціалізація *****
void hardware_init(void) {
    // Встановлення напрямку портів
    DDRD |= (1 << PD7);    // Вихід для керування
    PORTD |= (1 << PD7);    // Початково високий рівень

    DDRB = 0xFF;           // Порт В як вихід для індикаторів
    DDRA = 0b11100010;      // Налаштування порту А
    PORTA = 0b00011000;     // Підтягування на клавiшах

    // Таймер0 - простий дiльник частоти (для перiодичних
переривань)
    TCCR0 = (2 << CS00);    // Подiльник /8
    // Таймер2 - генерація PWM
    TCCR2 = (1 << CS20) | (2 << COM20) | (1 << WGM20);
    OCR2 = 230;
    // ADC - включення та запуск автоперетворень
    ADMUX = 0;
    ADCSR = (1 << ADEN) | (6 << ADPS0) | (1 << ADSC) | (1 <<
ADFR);

    // UART
    Uart_init();

    // Дозвіл переривань від таймера0 (overflow)
    TIMSK |= (1 << TOIE0);
}

//***** Основна програма *****
int main(void) {
    hardware_init();
    sei(); // Глобальний дозвіл переривань
}

```



```

        while (1) {
            // Основний цикл нічого не робить, вся робота у
перериваннях
        }
    }

//***** Обробники переривань *****
// Переповнення таймера0
ISR(TIMER0_OVF_vect) {
    uint8_t A = Scan & 0x03;
    if (A == 0) {
        uint16_t adc_val = Get_ADC(); // Зчитування ADC
        Feedback = (Feedback + adc_val) / 2; // Просте
усереднення

        PWM_out(Feedback); // Оновлення ШІМ
    }

    // Звуковий сигнал (біпер)
    if (Buzz) {
        Buzz--;
        if (Scan & 0x01) PORTA |= (1 << SP);
        else PORTA &= ~(1 << SP);
    }

    // Відображення на індикатор
    PORTA &= ~((1 << LED1) | (1 << LED2) | (1 << LED3));
    Scan++;
    A = Scan & 0x03;
    if (A == 0) {
        // Опитування клавіатури
        uint8_t key = ~PINA & ((1 << KEYUP) | (1 << KEYDOWN));
        if (key) {
            if (!(Control & (1 << PRESS))) {
                Control |= (1 << PRESS);
            }
        }
    }
}

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        if (!(key & (1 << KEYUP))) {
            // UP - збільшення уставки
            if (Setting < 800) {
                Setting += 10;
                Buzz = 64;
            }
        } else if (!(key & (1 << KEYDOWN))) {
            // DOWN - зменшення уставки
            if (Setting > 0) {
                Setting -= 10;
                Buzz = 64;
            }
        }
    }
} else {
    Control &= ~(1 << PRESS);
}
} else if (A == 1) {
    PORTB = LedConvert(Dig1);
    PORTA |= (1 << LED1);
} else if (A == 2) {
    PORTB = LedConvert(Dig2) | 0b00000100;
    PORTA |= (1 << LED2);
} else if (A == 3) {
    PORTB = LedConvert(Dig3);
    PORTA |= (1 << LED3);
}
}

//***** Допоміжні функції *****
void Uart_init(void) {
    // Ініціалізація UART для 9600 бод
    uint16_t ubrr = (F_CPU / 16 / 9600) - 1;
    UBRRH = (uint8_t)(ubrr >> 8);
    UBRRL = (uint8_t)ubrr;
}

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        UCSRB = (1 << RXEN) | (1 << TXEN);
        UCSRC = (1 << URSEL) | (3 << UCSZ0); // 8N1
    }

    // Вивід значення на PWM
    void PWM_out(uint16_t val) {
        if (val > 255) val = 255;
        OCR2 = (uint8_t)val;
    }

    // Зчитування значення ADC
    uint16_t Get_ADC(void) {
        while (!(ADCSR & (1 << ADIF))); // Очікування завершення
        ADCSR |= (1 << ADIF); // Скидання прапорця
        return ADC;
    }

    // Конвертер цифр для 7-сегм. індикатора
    uint8_t LedConvert(uint8_t val) {
        // Тут повинна бути таблиця шрифтів для 7-сегм. індикатора
        static const uint8_t table[10] = {
            0b00111111, // 0
            0b00000110, // 1
            0b01011011, // 2
            0b01001111, // 3
            0b01100110, // 4
            0b01101101, // 5
            0b01111101, // 6
            0b00000111, // 7
            0b01111111, // 8
            0b01101111  // 9
        };
        if (val < 10) return table[val];
        return 0;
    }

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Лістинг програми для комп'ютера

```
// Клас діалогу "Про програму"
class CAboutWin : public CDialog
{
public:
    CAboutWin();
    // Дані діалогу
    enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };

protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);
    // Прив'язка елементів керування

protected:
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

CAboutWin::CAboutWin() : CDialog(CAboutWin::IDD)
{
}

void CAboutWin::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CAboutWin, CDialog)
END_MESSAGE_MAP()

// Клас головного діалогу програми
```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

CMainDlg::CMainDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
: CDialog(CMainDlg::IDD, pParent)
{
m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME);
m_portOpen=false;  // прапорець стану порту
}

CMainDlg::~CMainDlg()
{
if(!m_thread) delete m_thread;  // очищення пам'яті під потік
}

void CMainDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
CDialog::DoDataExchange(pDX);
DDX_Control(pDX, IDC_COMBO1, m_portList);  // випадаючий список
COM-портів
DDX_Control(pDX, IDC_STATIC1, m_device);  // віджет для
індикації приладу
DDX_Control(pDX, IDC_STATIC2, m_valueNow);  // поточне значення
DDX_Control(pDX, IDC_SLIDER1, m_regulator);  // повзунок
DDX_Control(pDX, IDC_STATIC5, m_transmit);  // поле відправлених
даних
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CMainDlg, CDialog)
ON_WM_SYSCOMMAND()
ON_WM_PAINT()
ON_WM_QUERYDRAGICON()
ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON1, OnOpenPort)  // кнопка відкриття
порту
ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON2, OnClosePort)  // кнопка закриття
порту
ON_MESSAGE(WM_USER+1, OnDataReceive)  // прийом даних

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON3, OnSendValue)    // передача значення
ON_WM_HSCROLL()
ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON4, OnIncrease)      // збільшення
регулятора
ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON5, OnDecrease)      // зменшення
регулятора
ON_BN_CLICKED(IDOK, OnOkPressed) // підтвердження/закриття
END_MESSAGE_MAP()

```

```

BOOL CMainDlg::OnInitDialog()
{
    CDialog::OnInitDialog();

    // Додавання пункту меню "Про програму"
    CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
    if (pSysMenu != NULL)
    {
        CString aboutText;
        aboutText.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
        if (!aboutText.IsEmpty())
        {
            pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
            pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX,
            aboutText);
        }
    }

    // Встановлення іконок
    SetIcon(m_hIcon, TRUE);
    SetIcon(m_hIcon, FALSE);

    // Ініціалізація списку портів
    m_portList.ResetContent();
    m_portList.AddString("COM1");
    m_portList.AddString("COM2");

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

m_portList.AddString("COM3");
m_portList.AddString("COM4");
m_portList.SetCurSel(1);

m_valueNow.SetWindowText("0");
m_regulator.SetRange(0,100);
m_regulator.SetPos(0);
m_regulator.SetTicFreq(10);
m_transmit.SetWindowText("");
return TRUE;
}

void CMainDlg::OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
{
if ((nID & 0xFFFF) == IDM_ABOUTBOX)
{
CAboutWin dlgAbout;
dlgAbout.DoModal();
}
else
{
CDialog::OnSysCommand(nID, lParam);
}
}

void CMainDlg::OnPaint()
{
if (IsIconic())
{
CPaintDC dc(this);

SendMessage(WM_ICONERASEBKGND,
reinterpret_cast<LPARAM>(dc.GetSafeHdc()), 0);

int cxIcon = GetSystemMetrics(SM_CXICON);
int cyIcon = GetSystemMetrics(SM_CYICON);
CRect rect;

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

GetClientRect(&rect);
int x = (rect.Width() - cxIcon + 1) / 2;
int y = (rect.Height() - cyIcon + 1) / 2;
dc.DrawIcon(x, y, m_hIcon);
}
else
{
CDialog::OnPaint();
}
}

HCURSOR CMainDlg::OnQueryDragIcon()
{
return static_cast<HCURSOR>(m_hIcon);
}

bool CMainDlg::InitPort(void)
{
m_portList.GetLBText(m_portList.GetCurSel(), m_portName); //
отримання вибраного порту
DCB* portConfig;
COMMTIMEOUTS ct;
portConfig=new DCB;
memset(portConfig,0,sizeof(DCB));
m_hPort=CreateFile(m_portName,GENERIC_READ |
GENERIC_WRITE,0,NULL,OPEN_EXISTING,0,NULL);
if(m_hPort==INVALID_HANDLE_VALUE)
{
MessageBox("Не вдалося відкрити послідовний
порт!", "Помилка", MB_OK | MB_ICONERROR);
return false;
}
else
{

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		


```

MessageBox("Порт відкритий. Можна приймати
дані.", "Інформація", MB_OK | MB_ICONINFORMATION);
m_portList.EnableWindow(false);
m_portOpen=true;
}
GetCommState(m_hPort, portConfig);
GetCommTimeouts(m_hPort, \&ct);

portConfig->DCBlength=sizeof(DCB);
portConfig->BaudRate=CBR_9600;
portConfig->ByteSize=8;
portConfig->StopBits=ONESTOPBIT;
portConfig->Parity=NOPARITY;

ct.ReadIntervalTimeout=10;
ct.ReadTotalTimeoutConstant=100;
ct.ReadTotalTimeoutMultiplier=2;
ct.WriteTotalTimeoutConstant=100;
ct.WriteTotalTimeoutMultiplier=2;

SetCommState(m_hPort, portConfig);
SetCommTimeouts(m_hPort, &ct);
return true;
}

// Обробка натискання кнопки відкриття порту
void CMainDlg::OnOpenPort()
{
if(!m_portOpen)
{
if(!InitPort()) return;
m_thread=new CComThread();
m_thread->SetMainWnd(m_hWnd);
m_thread->SetCommHandle(m_hPort);
m_thread->CreateThread();
}
}

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

    }
else
{
    MessageBox("Порт уже відкритий!", "Увага", MB_OK |
    MB_ICONEXCLAMATION);
}
}

// Обробка натискання кнопки закриття порту
void CMainDlg::OnClosePort()
{
    if(m_portOpen)
    {
        if(::TerminateThread(m_thread->m_hThread, 0) == false)
        MessageBox("Неможливо завершити потік!", "Помилка", MB_OK |
        MB_ICONERROR);
        if(CloseHandle(m_hPort))
        {
            m_portOpen=false;
            m_portList.EnableWindow();
            m_thread->Delete();
            m_thread=NULL;
            MessageBox("Порт закритий.", "Інформація", MB_OK |
            MB_ICONINFORMATION);
            m_regulator.SetPos(0);
            m_device.SetPos(0);
            m_valueNow\>SetWindowText("0");
            m_transmit.SetWindowText("");
        }
    }
else
{
    MessageBox("Неможливо закрити порт.", "Помилка", MB_OK |
    MB_ICONERROR);
}
}

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

else
{
    MessageBox("Порт вже закритий.", "Інформація", MB_OK |
    MB_ICONINFORMATION);
}
}

// Прийом даних
LRESULT CMainDlg::OnDataReceive(WPARAM wp , LPARAM lp)
{
    DWORD num;
    char text[2];
    ReadFile(m_hPort, text, 2, &num, NULL);
    return 0;
}

// Передача значення у порт
void CMainDlg::OnSendValue()
{
    CString s;
    short val=m_regulator.GetPos()*10;
    byte bh, bl;
    bl=val;
    bh=val>>8;

    if(m_portOpen==true)
    {
        DWORD send=0;
        byte buff[3];
        buff[0]=0x0d;
        buff[1]=bh;
        buff[2]=bl;
        s.Format("%.2x%.2x%.2x", buff[0], buff[1], buff[2]);
        m_transmit.SetWindowText(s);
        ::TerminateThread(m_thread->m_hThread, 0);
    }
}

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

        WriteFile(m_hPort, &buff, 3, &send, NULL);
        if(send==0) MessageBox("Не вдалося змінити
струм!", "Помилка", MB_OK | MB_ICONERROR);
        m_device.SetPos((double)m_regulator.GetPos()/60);
        m_thread->CreateThread();
    }
else
{
    MessageBox("Порт закритий!", "Увага", MB_OK |
MB_ICONEXCLAMATION);
} }

// Подія зміни положення повзунка
void CMainDlg::OnHScroll(UINT nSBCode, UINT nPos, CScrollBar*
pScrollBar)
{
    CString str;
    str.Format("%.1f", (double)m_regulator.GetPos()/10);
    m_valueNow\>SetWindowText(str);
    CDialog::OnHScroll(nSBCode, nPos, pScrollBar);
}

// Кнопка збільшення значення
void CMainDlg::OnIncrease()
{
    (m_regulator.GetPos()==100)?100\:m_regulator.SetPos(m_regulator.
GetPos()+1);
    this->OnHScroll(0, 0, NULL);
}

// Кнопка зменшення значення
void CMainDlg::OnDecrease()
{
    (m_regulator.GetPos()==0)?0\:m_regulator.SetPos(m_regulator.GetP
os()-1);

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

this->OnHScroll(0,0,NULL);}
// Обробка натискання ОК
void CMainDlg::OnOkPressed()
{
if(m_portOpen)
{
if(::TerminateThread(m_thread->m_hThread,0)==false)
MessageBox("Неможливо завершити потік!", "Помилка", MB_OK |
MB_ICONERROR);
if(CloseHandle(m_hPort))
{
m_portOpen=false;
m_portList.EnableWindow();
m_thread->Delete();
m_thread=NULL;
m_regulator.SetPos(0);
m_device.SetPos(0);
m_valueNow\>SetWindowText("0");
m_transmit.SetWindowText("");
}
else
{
MessageBox("Неможливо закрити порт.", "Помилка", MB_OK |
MB_ICONERROR);
}
}
OnOK();
}

```

					171.6321м.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		