

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ЗАПОРІЗЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-
НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. Потебні**

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота
перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему «Розробка високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки»

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи МН-18-1бд
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва освітньої програми)

Н.О. Завальнюк

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри МЕЕІС, доцент, к.ф.-м.н.,
Світанько М.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент завідувач кафедри електротехніки та
енергоефективності ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ,
професор, д.т.н., Коваленко В.Л.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ
ІНСТИТУТ ім. Ю.М. Потебні

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

Освітня програма 153 Мікро- та наносистемна техніка
(шифр, назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Т.В. Критська

«18» червня 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Завальнюку Назару Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Розробка високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Світанько М.В., к.ф.-м.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “17”січня 2022 року № 90-с

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра 18 червня 2022р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра тиратрон ТГІ1-1000/25;
напруга живлення 220 В; вихідна напруга – 2500 В; мікроконтролер АТТiny26,
Proteus

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Системи генерації розряду у газорозрядних трубках 2. Розробка високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки

3. Охорона праці та техногенна безпека при розробці високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки

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

1. Структурна схема високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки 2. Схема електрична принципова системи генерації газового розряду 3. Моделювання роботи основних функціональних блоків в редакторі Proteus.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Світанько М.В., доцент каф. МЕЕІС	06.09.2021	30.11.2021
II	Світанько М.В., доцент каф. МЕЕІС	06.09.2021	30.04.2022
III	Світанько М.В., доцент каф. МЕЕІС	06.09.2021	30.03.2022

7. Дата видачі завдання 06.09.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1.	Літературний огляд	06.09.2021 – 30.11.2021	
2.	Розрахункова частина	18.01.2022 – 30.04.2022	
3.	Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки	18.01.2022 – 30.03.2022	
4.	Розробка графічної частини роботи	02.05.2022 – 30.05.2022	
5.	Оформлення пояснювальної записки	02.05.2022 – 30.05.2022	
6.	Нормоконтроль	06.01.2022 – 10.06.2022	

Студент _____ Завальнюк Н.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ Світанько М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Верьовкін Л.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 57 сторінок, 20 рисунків, 1 таблицю, 17 посилань на літературу.

Об'єкт дослідження – мікроелектронна інформаційна система для керування роботою газорозрядних пристроїв.

Мета роботи – розробка високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки.

Задачі роботи: виконати математичне та схемотехнічне моделювання модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки.

Методика досліджень – моделювання приладу за допомогою програмного забезпечення PROTEUS, MATHCAD.

Короткий виклад результатів досліджень – виконано розрахунки параметрів системи живлення газорозрядної трубки, проведено схемотехнічне моделювання роботи пристрою на основі мікроконтролера.

Результати впровадження – система пройшла апробацію на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження інформаційних газорозрядних системах електроніки.

ГАЗОРОЗРЯДНА ТРУБКА, БЛОК ЖИВЛЕННЯ, ВИСОКА НАПРУГА, МІКРОКОНТРОЛЕР, PROTEUS.

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем, з 06.09.2021 р. по 18.06.2022 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	6
1 Системи генерації розряду у газорозрядних трубках	7
1.1 Джерела електроживлення дугового газового розряду	7
1.2 Схеми формування вихідних імпульсів	12
1.3 Високовольтні системи постійного струму для отримання високоякісного розряду	11 15
2. Розробка високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки	22
2.1 Електрофізичні параметри моделі модуля живлення постійного струму.....	22
2.2 Розробка модуля живлення	29
2.2.1 Структурна схема джерела живлення.....	29
2.2.2 Схема джерела безперебійного живлення.....	30
2.3 Управління роботою ДБЖ мікроконтролером ATTiny26.....	34
2.3.1 Характеристики мікросхеми ATTiny26.....	35
2.3.2 Система управління ДБЖ на мікросхемі ATTiny26.....	39
2.4 Моделювання функціональних блоків високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки	40
3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки	45
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	45
3.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	47
3.3 Виробнича санітарія.....	47
3.4 Електробезпека.....	48
3.5 Пожежна та техногенна безпека.....	49

3.6 Розрахунок освітлення робочого місця	51
Висновки та рекомендації.....	54
Перелік посилань.....	55

Вступ

Серед існуючих джерел світла штучного походження велику нішу займають газорозрядні лампи (трубки) (ГРЛ), робота яких заснована на дії розряду електрики в газовому середовищі, а також у парах металу. Спочатку їх застосовували, коли необхідно було отримати випромінювання певного спектру [1].

Поява нових джерел світла - LED освітлювачів, які володіють більшою економічністю, дещо звузила спектр використання газорозрядних ламп у побутовій сфері. Але, специфічні напрямки - такі як наукові дослідження, розробка джерел світла із високими стабільними оптичними характеристиками, створення джерел електромагнітного випромінювання спеціального призначення, у багатьох випадках продовжують використання саме ГРЛ.

Як головні переваги освітлювальних приладів цього виду зазвичай називають такі їх характеристики: високий рівень світловіддачі; практичність, що виражається в довговічності; стійкість у складних кліматичних умовах [1].

Недоліками ГРЛ є досить високий рівень пульсування світлового потоку. Другим вагомим недоліком є складність включення. Для стійкого горіння і нормальної роботи їм просто потрібен баласт, що обмежує напругу для необхідних приладів мереж. Ще один недолік полягає в залежності параметрів горіння від температури, яка опосередковано впливає на тиск робочого пара в колбі. Тому більшість газорозрядних приладів набирає стандартні характеристики горіння через певний часовий період після включення [1].

Отже, актуальним постає питання розробки нових систем забезпечення стабільного функціонування газорозрядними лампами спеціального призначення.

1. Системи генерації розряду у газорозрядних трубках

1.1 Джерела електроживлення дугового газового розряду

Дуговий розряд характеризується більшими щільностями струму (1000 A/cm^2), порівняно низькими значеннями напруги між електродами газорозрядної трубки (100-400 В), високим ступенем іонізації плазми газового розряду. У робочому діапазоні вольт-амперної характеристики спостерігається слабка залежність напруги від струму розряду, що визначає спосіб керування дуговим розрядом - регулюванням величини розрядного струму. При цьому потужність дугового розряду змінюється лінійно. Гранична величина струму розряду обмежується конструктивними й технологічними можливостями створення розрядної трубки, що витримує більші навантаження.

Зростаюча гілка вольт-амперної характеристики дугового розряду допускає можливість живлення розряду від джерела напруги. На рисунку 1.1 показана мостова схема трифазного випрямляча з каскадами помноження напруги для запалювання газорозрядної лампи [2,3]. При розімкнутому ланцюзі навантаження напруга на виході схеми повинне в п'ять разів перевищувати амплітудне значення вхідної змінної напруги. Фактично напруга холостого ходу трохи нижче через внутрішній опір такого випрямляча. При підключенні випрямляча до трифазної мережі з лінійною напругою 380 В на виході з'являється напруга близько 2 кВ.

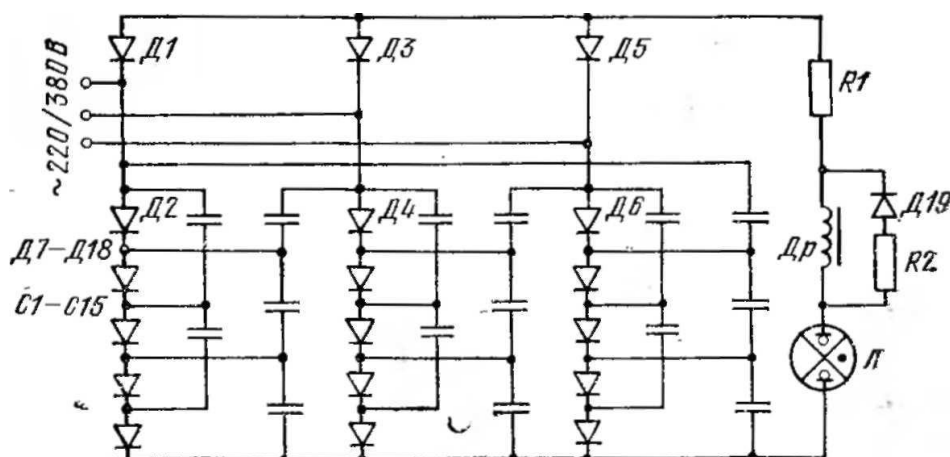


Рисунок 1.1 - Трифазна схема мостового випрямляча з каскадами множення напруги

Після пробою газорозрядної трубки й установлення робочого струму схема починає працювати як звичайна схема випрямлення (діоди Д1- Д6) з вихідною напругою порядку 500 В при зазначених вище параметрах мережі й величині ємності конденсаторів множника $C=0,1$ мкФ. Максимальна величина ємності вибирається з умови $C \leq \frac{I_{\text{раб}}}{5U_m f_c}$, де $I_{\text{раб}}$ - робочий струм на навантаженні; U_m - амплітуда лінійної вхідної напруги; f_c - частота мережі. Мінімальне значення ємності обмежується, в основному, величиною зворотного струму вентилів, і тому варто приймати $C \gg \frac{I_{\text{звор}}}{U_m f_c}$, де $I_{\text{звор}}$ - зворотний струм діодів [4].

Для підвищення стійкості газового розряду послідовно із трубкою включається баластовий резистор R1, а зменшення пульсацій струму досягається установкою дроселя Др. Останній служить також для ліквідації виникаючих у лампі флуктуації струму до того моменту, коли джерело живлення в силу своєї швидкодії не відновить колишнє значення параметрів дугового розряду. Ланцюжок з резистора й діода, підключений паралельно

дроселю, служить для збільшення швидкості наростання робочого струму після запалювання розряду в трубці.

Потужності дугового розряду, використовуваного в лазерній техніці, можуть досягати десятків кіловатів. Це обмежує можливості використання баластових резисторів. Реактивні баластові елементи L_b і C_b звичайно включають у ланцюг змінної напруги або послідовно з первинною обмоткою трансформатора [4].

Застосування ДЕЖ дозволяє досить ефективно вирішити багато труднощів, що виникають при розробці джерел електроживлення дугового розряду [3,4]. При створенні ДЕЖ для живлення дугового розряду облік обмеженого діапазону зміни навантаження дає можливість істотно знизити встановлені потужності реактивних елементів і всього перетворювача в цілому [4].

Плавне регулювання струму ДЕЖ, що містять магнітно зв'язані обмотки дроселів, може здійснюватися зміною коефіцієнта магнітного зв'язку, якщо, у цьому випадку не порушується резонансне настроювання елементів перетворювача. Для цих цілей магнітопровід трифазного дроселя може бути виконаний за принципом індукційної машини із загальмованим ротором.

На основі регульованих ДЕЖ (РДЕЖ) розроблені й випускаються промисловістю два типи джерел живлення ИТ-Р1 і ИТ-Р2, що розрізняються по потужності. До складу цих джерел входять: випрямляч, фільтр що згладжує, двоступінчаста схема запалювання. В джерелах передбачений вузол зворотного зв'язку, що служить для стабілізації струму навантаження при зміні напруги мережі. Вузол зворотного зв'язку включений у коло приводу, що обертає ротор індукційної машини.

Використання електромеханічного привода регулятора струму обмежується його інерційністю й не дозволяє здійснювати швидкодіюче керування долею накачування. Цей недолік може бути усунутий в схемі, побудованої за принципом структурного регулювання, що здійснюється

тиристорними ключками змінного струму з безперервним керуванням при збереженні умов резонансу в ДЕЖ [4]. Перспективними є схеми, у яких регулювання й стабілізація вихідного струму здійснюються повністю електронними засобами. До їхнього числа можна віднести схеми транзисторних і тиристорних імпульсних стабілізаторів струму із широтно-імпульсною модуляцією, а також схеми на основі керованих випрямлячів.

На рисунку 1.2 зображена спрощена схема джерела живлення СН-4, призначеного для живлення газорозрядної лампи накачування ДКрТВ-3000 безперервного випромінювача ЛТ-2. У цій схемі керований трифазний випрямляч зібраний на діодах Д1- Д3 і тиристорах Д9 – Д11. На вході випрямляча встановлені три однофазних трансформатори Тр1 – Тр3. Випрямлена напруга згладжується дроселем Др, конденсаторною батареєю С і електронним фільтром ЕФ. Схема запалювання СЗ виконана двоступінчастої. Фазове регулювання випрямляча здійснюється системою керування СК. Для синхронізації імпульсів, що включають тиристори при позитивних напівхвилях змінної напруги, служать діоди Д4 - Д6. Система керування формує імпульси частотою 150 Гц, що визначають спрацьовування тиристора Д8 і включення одного з тиристорів Д9 – Д11, у якого напруга анод - катод має пряму полярність. Імпульси керування можуть зрушуватися щодо фази сіткової напруги в залежності від величини вихідного струму, здійснюючи стабілізацію останнього при зміні навантаження й напруги мережі.

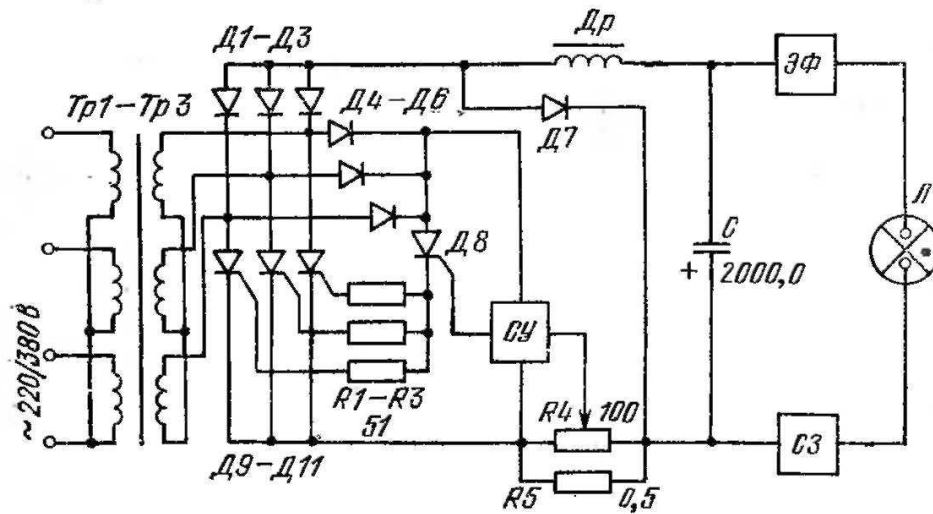


Рисунок 1.2 - Схема керованого випрямляча для безперервного живлення лампи накачування

Напруга зворотного зв'язка, пропорційна току, знімається зі змінного резистора R_4 , підключеного до еталонного резистора R_5 . Регулювання вихідного струму в деяких межах проводиться зміною напруги зворотного зв'язка (резистором R_4).

Основними труднощами при розробці пристроїв живлення з керованими випрямлячами є: створення стійкої системи регулювання й стабілізації струму накачування; забезпечення джерела електроживлення швидкодіючим захистом від коротких замикань у навантаженні; згладжування пульсацій (особливо при малих значеннях кута відмикання тиристорів); боротьба, з перешкодами, що проникають у мережу при комутації тиристорів; складність узгодження параметрів газорозрядних ламп із вихідними параметрами джерела-електроживлення, якщо не використається силовий трансформатор. У значній мірі ці труднощі переборюються при використанні імпульсних регуляторів струму [2].

Останнім часом для формування розряду в газовій суміші використовують схеми розряду надпотужним коротким імпульсом (>100

МВт, 10-100 нс). В загальному вигляді таку схему можна представити наступним чином (рисунок 1.3) [5]:

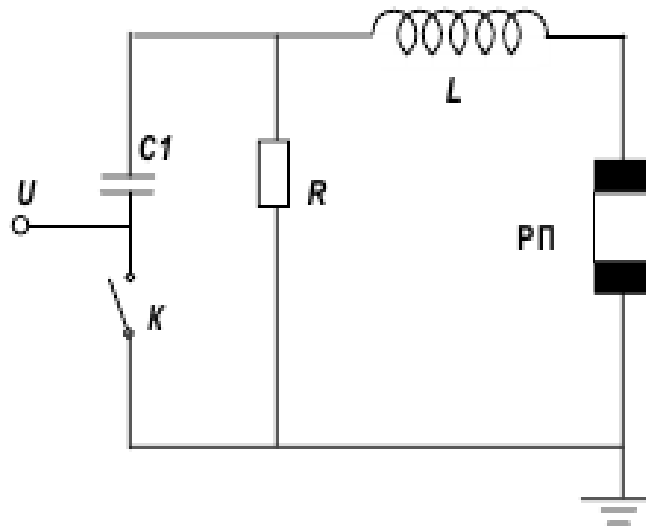


Рисунок 1.3 – Одноконтурна схема збудження газової суміші: $C1$ – накопичувальна ємність, R – активний опір, L – індуктивність розрядного ланцюга, $РП$ – розрядовий проміжок із газовою сумішшю, K – комутатор.

1.2 Схеми формування вихідних імпульсів

Розноманітність типів і параметрів газорозрядних трубок (ГРТ), особливості умов одержання імпульсної генерації вимагають розробки джерел живлення, що відрізняються широким діапазоном вихідних електричних параметрів: імпульсного струму й напруги, тривалості й частоти повторення вихідних імпульсів.

Все різноманіття схем формування вихідних імпульсів ГРТ різного типу можна класифікувати по виду накопичувача енергії й по режиму його

роботи. При установці в розрядний контур індуктивного накопичувача енергії зарядка його здійснюється від пристрою з низькою вихідною напругою при середнім значенні зарядного струму, рівній половині амплітуди струму в момент закінчення зарядки [3]. Вихідна напруга зарядного пристрою ємнісного накопичувача повинне бути не менш необхідного значення напруги накопичувача, а середнє значення струму зарядки (при заданих значеннях напруги і ємності накопичувача) залежить від тривалості циклу зарядки й може бути в багато разів менше амплітуди імпульсу розрядного струму. Таким чином, вибір накопичувача визначає вимоги до параметрів зарядного пристрою.

Накопичувачі енергії можуть працювати в режимі повної або неповної (часткової) розрядки, характер якої визначається типом розрядного комутатора. У режимі повної розрядки накопичувача в навантаження передається вся накопичена енергія при замиканні розрядного комутатора, устатовленого між ємнісним накопичувачем і навантаженням, або при розмиканні комутатора у випадку використання індуктивного накопичувача. Повернення розрядних комутаторів у вихідне положення відбувається не раніше закінчення процесу розрядки накопичувача. Цей режим дозволяє мати мінімальний розмір накопичувача, що дуже важливо при значній величині енергії накачування.

При повній розрядці як індуктивного, так і ємнісного накопичувачів енергії на активний лінійний опір форма імпульсу розрядного струму на навантаженні носить експонентний характер. У газорозрядних приладів (лампи накачування, газові випромінювачі) характер навантаження нелінійний, тобто зміна струму накачування не відбувається пропорційно зміні напруги на навантаженні. Як наслідок, статичний і динамічний опори газового розряду не тільки перестають бути рівними один одному, але й постійно змінюються в процесі розрядки. Форма імпульсу розрядного струму відхиляється від експонентної.

Вольт-амперна характеристика імпульсної газорозрядної лампи накачування, наповненої ксеноном під тиском до $8 \cdot 10^4$ Па при щільності розрядного струму від 10^2 до 10^4 А/см² і тривалості розрядного імпульсу від 0,15 до 4 мс, має вигляд [5]:

$$U_{\text{г}} = k_0 \sqrt{I_{\text{г}}},$$

де $k_0 = 1,3 \text{ l/d}$ [Ом*А^{1/2}] - постійний коефіцієнт для кожного типу лампи, що залежить від її геометричних розмірів (l - довжина, d - діаметр газорозрядного проміжку).

У кожній точці вольт-амперної характеристики лампи можна визначити її статичний опір у сталому режимі, якщо провести пряму лінію з початку координат у задану крапку. Тангенс кута нахилу цієї прямої до осі струмів пропорційний опору розряду при даних значеннях струму й напруги лампи. Динамічний опір лампи визначається тангенсом кута нахилу між віссю струму й дотичній до вольт-амперної характеристики в заданій крапці.

Форма імпульсу струму при розрядці накопичувача енергії на лампу показана на рисунку 1.4 [6].

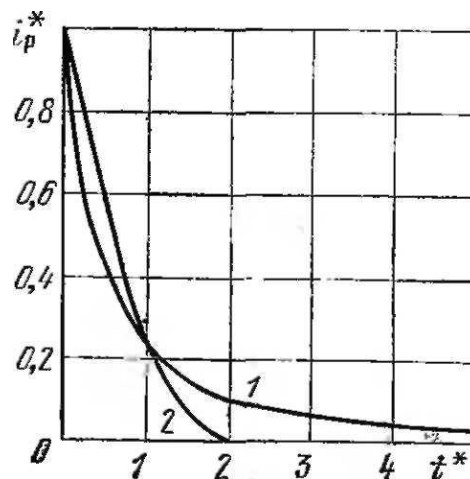


Рисунок 1.4 - Форма імпульсу розрядного струму накопичувачів енергії: 1 - ємнісного; 2 – індуктивного

На графіку по осі абсцис відкладений відносний час розрядки ємнісного накопичувача

$$t^* = \frac{t}{R_{\text{ЛСНН}}} = \frac{t}{\tau_c},$$

і індуктивного накопичувача

$$t^* = \frac{t}{L_{\text{нн}}/R_{\text{Л}}} = \frac{t}{\tau_L}.$$

Розрядний струм (у відносних одиницях) для ємнісного накопичувача

$$i_p^* = i_c^* = \frac{i_c}{I_c(0)} = i_c \frac{k_0^2}{U_c^2},$$

а для індуктивного

$$i_p^* = i_L^* = \frac{i_L}{I_L(0)},$$

де $I_c(0)$ і $I_L(0)$ - струми, що протікають через ємнісний і індуктивний накопичувачі в момент початку розрядки, причому $i_L^* = (1 - t/2\tau_L')^2$ в інтервалі часу $0 < t/\tau_L' \leq 2$ і $i_L^* = 0$ при $t/\tau_L' > 2$.

Зовні τ_c' і τ_L' нагадують постійні часу ланцюга розрядки, однак при активному лінійному опорі навантаження постійна часу ланцюга розрядки залишається незмінної, а при нелінійному опорі навантаження τ_c' і τ_L' є величинами змінними й змінюються залежно від значення опору лампи. При розрядці конденсатора опір лампи дорівнює

$$R_{\text{Л}} = \frac{k_0^2}{U_{\text{Л}}} = \frac{k_0^2}{U_c},$$

при розрядці індуктивного накопичувача

$$R_{\text{Л}} = \frac{k_0}{\sqrt{I_{\text{Л}}}} = \frac{k_0}{\sqrt{I_L}},$$

де U_c - напруга на конденсаторах ємнісного накопичувача; I_L - струм розрядки індуктивного накопичувача, рівний струму через лампу $I_{\text{Л}}$.

Збільшення зарядної напруги ємнісного накопичувача або струму, запасеного в індуктивному накопичувачі, приводить до утворення більш короткого імпульсу, а їхнє зменшення - до зростання тривалості розрядного імпульсу. Ще одна особливість полягає в тому, що розрядка індуктивного накопичувача закінчується через певний час, а саме, при $t = 2\tau_L'$. Це вказує

на можливість використання індуктивного накопичувача для побудови схем з підвищеною частотою повторення імпульсів накачування.

Величина ємності накопичувача може бути визначена по формулі

$$C_{\text{нк}} = 2,5^3 \sqrt{\frac{t_u^2 W_c}{\epsilon_0^4}},$$

де t_u - тривалість імпульсу струму розрядки за рівнем 0,5 інтенсивності випромінювання лампи; W_c - задана енергія накопичувача.

Крутий фронт імпульсу накачування при розрядці ємнісного або індуктивного накопичувача енергії необхідний для газових лазерних випромінювачів.

Включення додаткового елемента - котушки індуктивності у ланцюг розрядки ємнісного накопичувача на лампу може забезпечити необхідну тривалість фронту й більше рівномірне накачування протягом тривалості розрядного імпульсу [7]. Форма імпульсу розрядного струму залежить від співвідношення параметрів розрядного контуру й визначається коефіцієнтом загасання

$$\delta = \frac{\epsilon_0}{\sqrt{U_c \rho_p}} = \sqrt{\frac{R_L}{\rho_p}} = \sqrt{\frac{1}{Q_p}},$$

де $\rho_p = \sqrt{L_p / C_{\text{нк}}}$ - характеристичний опір розрядного контуру; Q_p - його добротність; L_p - індуктивність розрядної котушки. Графіки кривих розрядного струму при різних t показані на рисунку 1.5 [3]. Розрядний струм представлений у відносних одиницях. Поточне значення струму пронумеровано щодо максимального значення струму контуру при нульовому опорі навантаження.

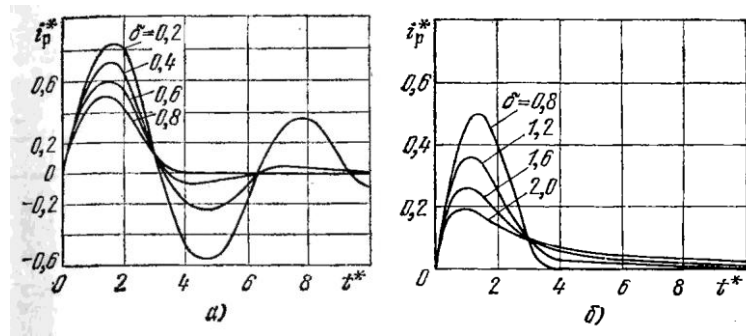


Рисунок 1.5 - Розрядний струм ємнісного накопичувача через індуктивність на лампу при $t=0,2-0,8$ (а) $t=0,8-2,0$ (б)

У порівнянні з роботою LC-розрядного контуру на активний лінійний опір навантаження при аналогічних значеннях t на нелінійному опорі навантаження ГРТ процеси в ланцюзі відбуваються більш повільно й мають загасаючий характер. З підвищенням напруги коефіцієнт загасання зменшується.

Звичайно вибирають режим погодженого навантаження, що має місце при $t=0,8$. При трохи меншому значенні t можна створити сприятливі умови для зменшення часу деіонізації імпульсної лампи.

Для одержання на навантаженні прямокутної форми імпульсів струму при повній розрядці накопичувача енергії в схемах формування використовуються довгі лінії з розподіленими параметрами й штучні лінії із зосередженими параметрами.

Основний недолік лінії з розподіленими параметрами більша довжина при формуванні навіть порівняно коротких імпульсів. Уже при $t_u=1$ мкс довжина лінії становить 150 м, що не завжди може бути прийнятним. Такі лінії знайшли застосування в генераторах для накачування деяких типів газових випромінювачів.

Найчастіше використовуються штучні формуючі лінії, що складаються з дискретних елементів - конденсаторів і котушок індуктивності [7]. Форма імпульсу струму на навантаженні при повній розрядці лінії визначається числом її ланок (рисунок 1.6) і співвідношенням хвильового й навантажувального опорів.

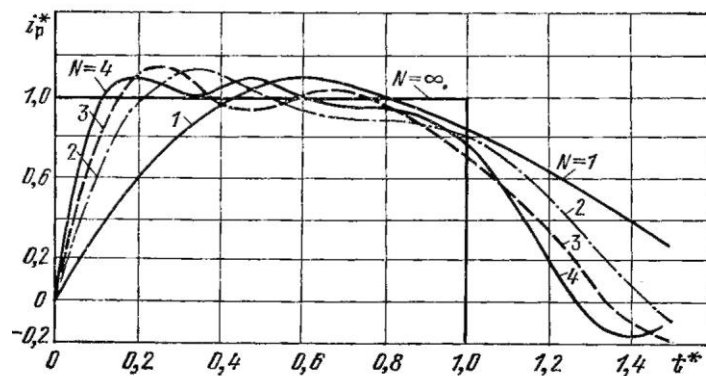


Рисунок 1.6 - Форма імпульсу струму на навантаженні при різному числі ланок формуючої лінії

Підключення накопичувача енергії до ГРТ виробляється, за допомогою різних комутуючих приладів.

У схемах з повною розрядкою накопичувача енергії розрядний комутатор може бути напівкерованим приладом. Він визначає лише момент подачі імпульсу накачування на випромінювач і залишається у відкритому стані до повної розрядки накопичувача. Тип комутуючого приладу визначається параметрами імпульсу накачування. Це можуть бути різного роду розрядники, ігнітрони, тиратрони, тиристори [7].

У результаті розрахунку розрядного контуру імпульсного випромінювача визначаються вихідні дані для проектування зарядного пристрою накопичувача енергії.

1.3 Високовольтні системи постійного струму для отримання високоякісного розряду

Як було зазначено вище, для роботи газорозрядної трубки потрібно створити умови стабільного розряду. Трубки часто працюють у імпульсному режимі, тобто їх живлення здійснюють серією високовольтних імпульсів великої потужності, для чого використовують імпульсні високовольтні вторинні джерела електричного живлення.

Параметри імпульсних високовольтних джерел мають широкий діапазон напруг і струмів: амплітуда напруги 10 кВ-1,5 МВ у імпульсі, струму – 10 мА-10 кА. Використовуються як окремі імпульси, так і їх послідовності. Діапазон тривалості імпульсів 1 нс-1 мс, частота 1Гц-1 кГц. Найрозповсюдженішими схемами формування імпульсів є:

- схема розрядження на навантаження попередньо розрядженого конденсатора через імпульсний трансформатор;
- та ж схема з некерованим розрядником на вторинній стороні трансформатора для формування прямокутної форми імпульсу;
- схема з формувальними лініями та імпульсними трансформаторами;
- схема розрядження високовольтного конденсатора безпосередньо на навантаження [[2,3,8].

Але, формування таких параметрів можливе лише за умови використання високочастотного сигналу від джерела постійного струму високої напруги, тобто за допомогою інверторів [2,3,8].

На рисунку 1.7 наведена схема високовольтного потужного високовольтного джерела з живленням від мережі однофазного змінного струму. У схемі використано активний коректор потужності і регульований мостовий інвертор. Вказана схема може забезпечити вихідну потужність 3-5 кВт [2,3,8].

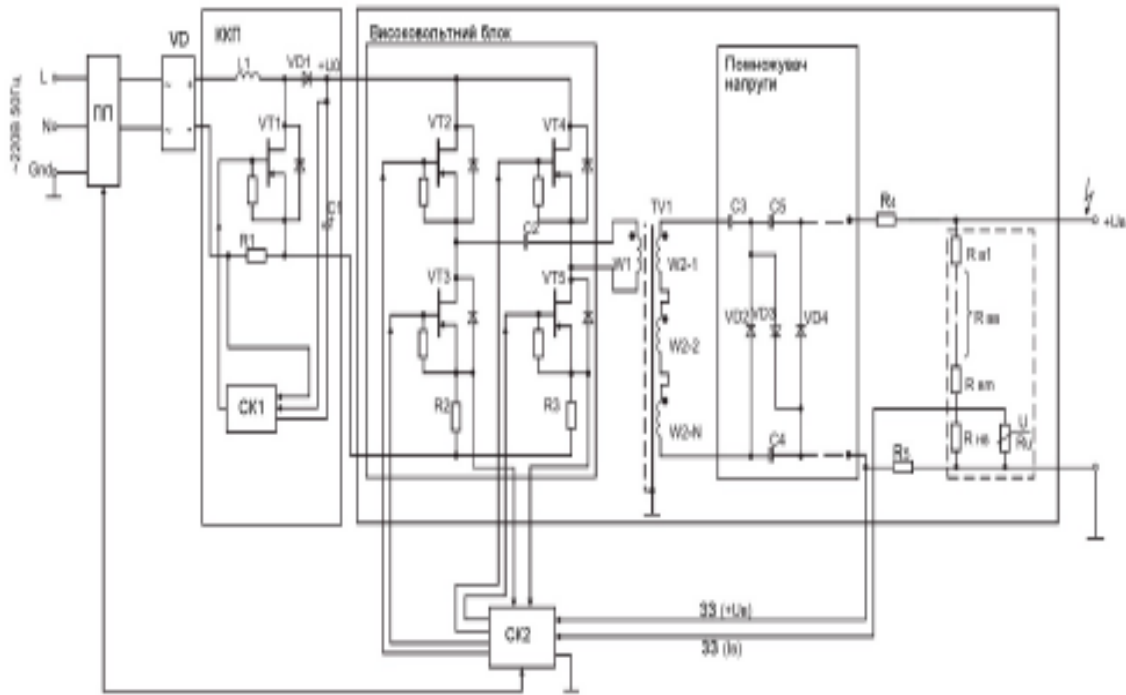


Рисунок 1.7 - Функціональна схема високовольтного джерела на основі регульованих інверторів з підвищеною частотою перетворення

Коректор потужності виконано на основі підвищувального перетворювача з системою керування СК1. Інвертор виконано по мостовій схемі на транзисторах VT2-VT5. На виході трансформатора інвертора TV1 встановлено помножувач напруги на конденсаторах C3-C5 і діодах VD2-VD4. На виході перетворювача встановлені давачі напруги і струму [2,3,8].

Створення таких високовольтних інверторів постійного струму для використання у газорозрядних трубках є складною задачею. Особливо така розробка стане актуальною, коли замість застарілих компонент будуть використані мініатюризовані пристрої сучасної електроніки.

Отже, метою роботи є розробка високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

- 1) виконати аналіз існуючих схем отримання електричного розряду в газорозрядних трубках із використанням високовольтного блоку постійного струму;

- 2) розглянути можливість вдосконалення високовольного блоку постійного струму;
- 3) провести моделювання параметрів розроблюваного блоку;
- 4) виконати розрахунки по умовам дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

2. Розробка високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки

2.1 Електрофізичні параметри моделі модуля живлення постійного струму

На початковому етапі розробки було використано модель генерації газового розряду за допомогою тиратрону ТГП1-1000/25. Використання ТГП1-1000/25 дозволило із доброю відновлюваністю експерименту провести дослідження механізму виникнення розряду під дією джерела високої постійної напруги. Попередня іонізація активного об'єму забезпечувалася двома рядами допоміжних розрядів (100 іскрових проміжків), порушуваних по обох боків уздовж заземленого електрода. Живлення кожного допоміжного проміжку здійснювалося від індивідуального конденсатора C_{ad} .

Прокачування робочої суміші газів через розрядну зону проводилося діаметральним вентилятором з магнітною муфтою. Робоча суміш газів охолоджувалася за допомогою радіатора, виконаного у вигляді набору мідних пластин, установлених із кроком 6 мм.

Розряд у міжелектродному проміжку збуджувався високовольтним генератором, зібраним за двоконтурною схемою з комутатором ТГП1-1000/25 (рисунок 2.1).

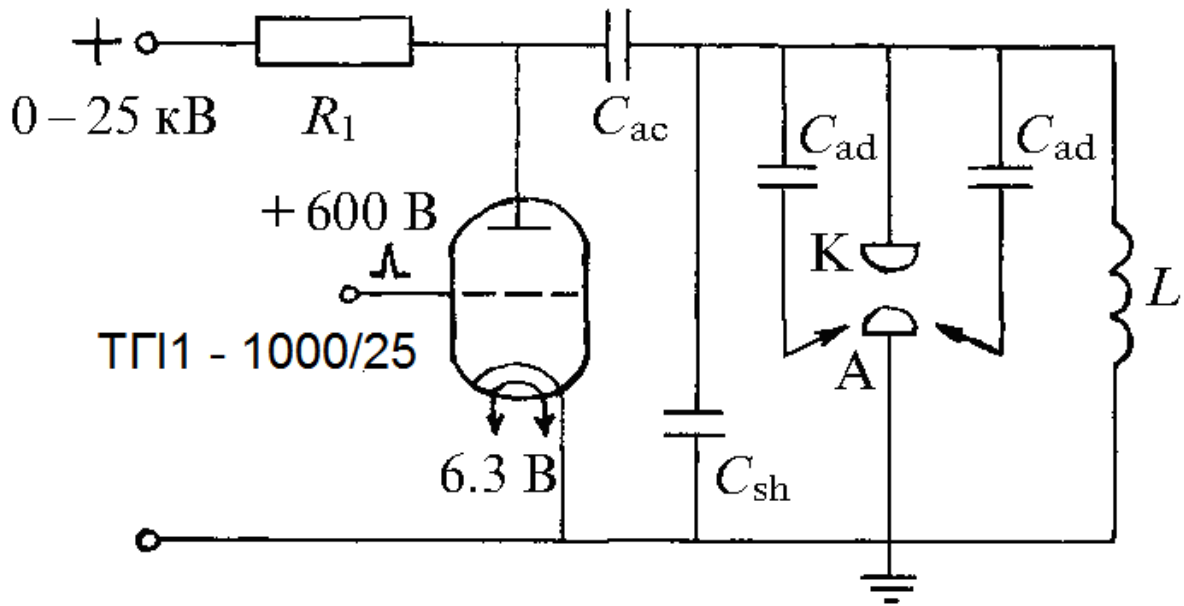


Рисунок 2.1 - Принципова електрична схема збудження розряду; $R_1 = 200 \text{ Ом}$; $C_{ac} = 40 \text{ нФ}$; $C_{sh} = 0-40 \text{ нФ}$; $C_{ad} = 1.6 \text{ нФ}$; $L = 45 \text{ мкГн}$.

Ємності накопичувальної батареї C_{ac} і блоку конденсаторів C_{ad} для живлення допоміжних розрядів становили відповідно 40 і 1.6 нФ. Ємність загострювальних конденсаторів C_{sh} варіювалася в ході експериментів від 0 до 40 нФ. Зарядна напруга до 25 кВ подавалося на C_{ac} через опір, що згладжує, $R_1 = 200 \text{ Ом}$.

Для вибору співвідношення C_{sh}/C_{ac} , були виконані виміри енергії випромінювання при зміні C_{sh} у широкому діапазоні. Інші електротехнічні параметри залишалися незмінними, зарядне напруга $U_{ch} = 22 \text{ кВ}$. У міру збільшення ємності C_{sh} аж до C_{ac} тривалість розряду зменшується через нагромадження енергії до початку розвитку розряду в загострюваному контурі, що має меншу індуктивність при уведенні енергії в газ через більш близьке розташування блоку загострювальних конденсаторів до місця горіння розряду, розподілу конденсаторів цього блоку уздовж електродів і відсутності комутатора в ланцюзі протікання струму. Таким чином, умова мінімальної тривалості розряду одночасно є найбільш близьким до умови «безкомутаторного» введення енергії в газ. При цьому C_{sh} , як правило, трохи

менше C_{ac} через початок розвитку розряду на фронті наростання напруги й додаткового заряджання C_{sh} у процесі горіння об'ємного розряду.

Подальше збільшення C_{sh} може призвести до збільшення тривалості розряду. Природньо, що в різних схемах збудження оптимальне відношення C_{sh}/C_{ac} буде трохи змінюватися, однак умова мінімальної тривалості розряду повинне зберігатися. У цьому випадку розряд виявляється найбільш однорідним, оскільки часовий фактор є особливо важливим з погляду формування мікроструктури й контракції розряду в умовах, коли істотний вплив процесу східчастої іонізації на характер протікання струму.

При $C_{sh}/C_{ac}=0.06$ має місце максимально можлива концентрація електронів. Подальше збільшення C_{sh} веде до збільшення концентрації електронів у розряді й переходу останнього в нестійкий стан, що відповідає вітці вольтамперної характеристики з негативною диференціальною провідністю. Надалі характер залежності енергії випромінювання від відношення C_{sh}/C_{ac} при збільшенні C_{sh} обумовлює двома конкуруючими процесами: погіршенням однорідності розряду через зростаючий вплив на неї східчастої іонізації й підвищенням однорідності розряду, пов'язаним зі зменшенням його тривалості.

Результати дослідження впливу міжелектродної відстані на енергію газової суміші наведені на рисунку 2.2.

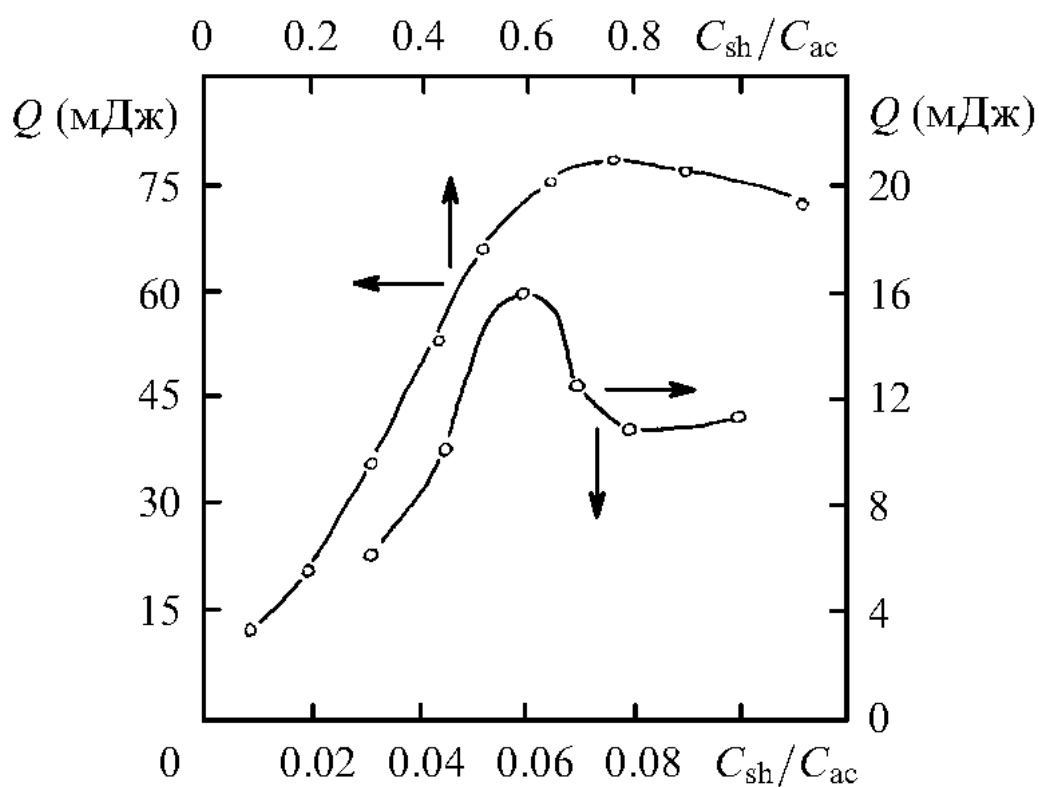


Рисунок 2.2 - Залежність енергії генерації Q газової суміші від відношення загострюючої і накопичувальної ємностей C_{sh}/C_{ac} для $C_{ac}=40$ нФ, $U_{ch}=22$ кВ.

На рисунку 2.3 представлено результати дослідження залежності енергії генерації від міжелектродної відстані.

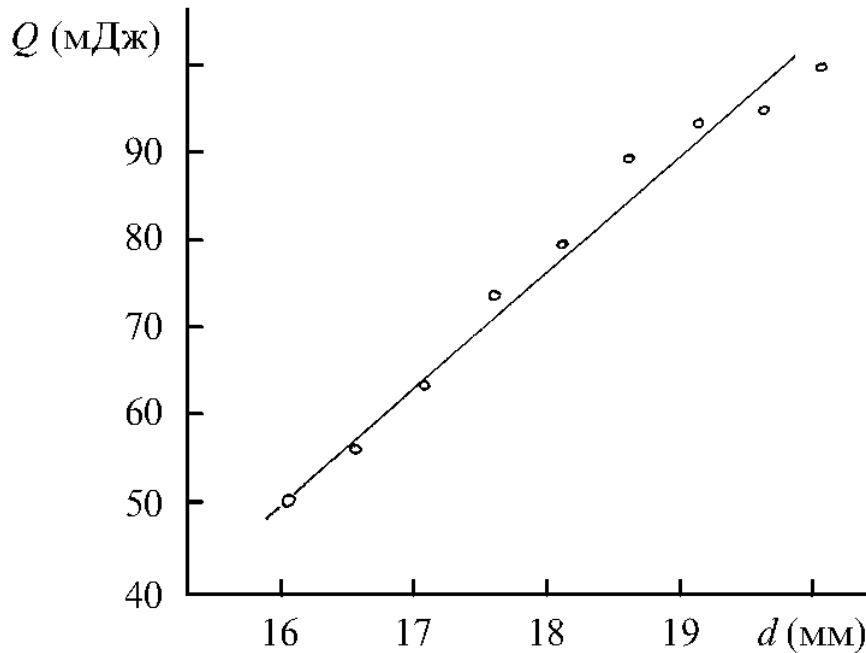


Рисунок 2.3 - Залежність енергії генерації Q від міжелектродної відстані d , $U_{ch} = 22$ кВ

Видно, що ефективність перетворення енергії зростає у два рази при збільшенні міжелектродної відстані на 25 % (від 16 до 20 мм). Це пов'язане з поліпшенням однорідності розряду, що спостерігалось візуально. До підвищення стійкості й однорідності розряду в цьому випадку ведуть такі фактори, як зменшення впливу навколоелектродних процесів на перекручування поля, збільшення опору розряду й тим самим забезпечення його кращого узгодження із хвильовим опором розрядного контуру, зменшення напруженості поля в проміжку при горінні розряду через збільшення добутку pd , де p - тиск газу, d - міжелектродна відстань.

Експерименти по оптимізації енергетичних характеристик газорозрядної лампи показали, що максимальна енергія становила $Q=140$ мДж.

Слід відзначити, що, якщо розряд був нестійким і на тлі об'ємного розряду спостерігалися мікроканали (для реалізації такого режиму тиск робочої суміші газів було збільшено до 3 атм), зниження енергії випромінювання відбувалося істотно швидше, що можна пояснити прискореним наробітком дрібнодисперсних часток.

У результаті проведеного дослідження та розрахунків схему генерації було удосконалено за рахунок використання додаткових індуктивностей та використання стабілізованої напруги. Схема збудження розряду в газовій суміші представлена на рисунку 2.4:

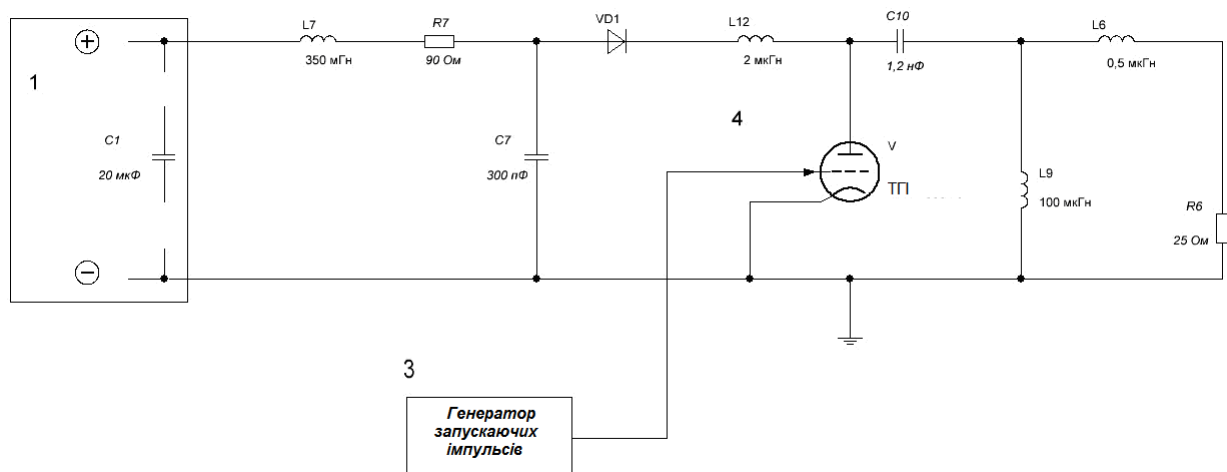


Рисунок 2.4 – Схема формування розряду в суміші газорозрядної трубки

Технічний результат досягається тим, що паралельно до газорозрядної трубки підключено індуктивність, високовольтний випрямляч, дросель резонансної зарядки, зарядний діод, накопичувальну ємність C_{10} , комутатор 4, і генератор запускаючих імпульсів 3, при цьому дросель резонансної зарядки через свій ланцюг, що складається із сполучених послідовно дроселя резонансної зарядки, зарядного діода і накопичувальної ємності, сполучені з катодом газорозрядної трубки, а комутатор електрично пов'язаний з накопичувальною ємністю, при цьому генератор запускаючих імпульсів своїм виходом електрично пов'язаний з управляючим електродом комутатора, а високовольтний випрямляч одним своїм виходом пов'язаний з входом дроселя резонансної зарядки, а іншим - з катодом комутатора і

анодом газорозрядної трубки. Введені додаткова індуктивність і ємність, при цьому додаткова ємність одним кінцем сполучена з катодом комутатора, а іншим підключена в точку з'єднання дроселя резонансної зарядки і зарядного діода, а додаткова індуктивність включена між зарядним діодом і накопичувальною ємністю.

На рисунку 2.4 приведена блок-схема, в якій 1 – зарядний блок, дросель резонансної зарядки представлений у вигляді елементів L_7 , R_7 . Ємність дроселя резонансного заряду C_7 та L_{12} - додаткова індуктивність,

Параметри вольтамперних характеристик на елементах схеми при напрузі на випрямлячі 8,5 кВ показали наступні результати: при вибраних параметрах схеми накопичувальна ємність C_{10} заряджається за чверть періоду до напруги 20 кВ за 80 мкс. Після заряду накопичувальна ємність C_{10} не може розряджатися із-за наявності зарядного діода D8 і спостерігається процес перезаряду ємності через дросель резонансної зарядки L_7 . Струм, що протікає через зарядний діод D8, відповідає часу заряду накопичувальної ємності C_{10} . При включенні комутатора 4 через діод протікає імпульсний струм. Величина зворотної напруги на комутаторі 4 після розряду накопичувальної ємності C_{10} через газорозрядну трубку складає - 2,5 кВ, а час відновлення тиратрона - 23 мкс. В цьому випадку як комутатор можна вибрати також тиратрон ТГІ2-500/20, який має час відновлення ~15 мкс і допускає роботу із зворотною напругою до - 3 кВ.

При цих параметрах спостерігатиметься стійка робота тиратрона з комутованою середньою потужністю ~3 кВт. Таким чином, запропонований пристрій дозволяє збільшити комутовану потужність тиратроном в рамках області його стійкої роботи.

2.2 Розробка модуля живлення

Будь-які збої в роботі блоку живлення лампи не бажані. Основною причиною збою роботи блоку живлення (БЖ) є відключення електричної мережі. Для забезпечення безперебійної подачі живлення спільно з основним БЖ в комплексі, що розробляється, використовується джерело безперебійного живлення (ДБЖ).

2.2.1 Структурна схема джерела живлення

На рисунку 2.5 представлена структурна схема живлення лампи. Схемі включає основне джерело живлення (БЖ), послідовно підключене до нього джерело безперебійного живлення (ДБЖ) і безпосередньо сама лампа.



Рисунок 2.5 - Структурна схема джерела живлення: БЖ – блок живлення, ДБЖ – джерело безперебійного живлення, Л – лампа.

У якості БЖ використовується стандартний блок з наступними характеристиками:

- 1) максимальна імпульсна напруга – 30-40 кВ;
- 2) максимальна частота повторення імпульсів – 100 Гц;
- 3) потужність, споживана від мережі, – не більше 250 Вт;
- 4) амплітуда імпульсу напруги для зовнішнього запуску – 50-100 В;
- 5) габаритні розміри - 580×450×300 мм;

б) маса – не більше 40 кг

2.2.2 Схема джерела безперебійного живлення

Джерело безперебійного живлення — автоматичний пристрій, який забезпечує живлення навантаження при повному зникненні напруги в зовнішній електромережі, наприклад в результаті аварії або від недопустимо високого відхилення параметрів напруги мережі від номінальних значень. При цьому ДБЖ використовують для аварійного живлення навантаження енергії акумуляторних батарей.

З основних типів схем ДБЖ виділяють наступні:

1. ДБЖ резервного типу.
2. Лінійно-інтерактивний ДБЖ.
3. ДБЖ з подвійним перетворенням напруги.
4. ДБЖ резервного типу (Off-Line або standby)

Джерело безперебійного живлення, виконане за схемою з комутуючим пристроєм, який в нормальному режимі роботи забезпечує підключення навантаження безпосередньо до зовнішньої електромережі, а в аварійному перекидає її на живлення від акумуляторних батарей. Перевагою ДБЖ резервного типу є його простота і невисока вартість, а недоліком – ненульовий час перемикання (~4 мс) на живлення від акумуляторів і інтенсивніша їх експлуатація, тому що ДБЖ переводиться в аварійний режим при будь-яких несправностях в електромережі. ДБЖ резервного типу, як правило, має невелику потужність і застосовується для забезпечення гарантованого електроживлення окремих пристроїв (персональних комп'ютерів, робочих станцій, офісного устаткування) в регіонах з хорошою якістю електромережі.

Джерело безперебійного живлення, виконане за схемою з комутуючим пристроєм (Off-Line), доповнене стабілізатором вхідної напруги на основі автотрансформатора з обмотками, що перемикаються.

Основна перевага лінійно-інтерактивного ДБЖ в порівнянні з джерелом резервного типу полягає в тому, що він здатний забезпечити нормальне живлення навантаження при підвищеній або зниженій напрузі електромережі (найпоширеніший вигляд несправностей у вітчизняних лініях електропостачання) без переходу в аварійний режим. У результаті підвищується термін служби акумуляторних батарей. Недоліком лінійно-інтерактивної схеми є ненульовий час перемикання (~ 4 мс) навантаження на живлення від батарей.

По ефективності лінійно-інтерактивні ДБЖ займають проміжне значення між простими і відносно дешевими резервними джерелами (Off-Line) і високоефективними, але і дорогими джерелами з подвійним перетворенням напруги (On-Line). Як правило, лінійно-інтерактивні ДБЖ застосовують для забезпечення гарантованого живлення персональних комп'ютерів, робочих станцій, файлових серверів, вузлів локальних обчислювальних мереж і офісного устаткування. Механізм автоматичного регулювання напруги побудований на основі автотрансформатора з обмотками, що перемикаються. Застосовується в ДБЖ, зібраних за лінійно-інтерактивною схемою, для ступінчастого коректування вхідної напруги у бік його підвищення. Число обмоток регулювальника визначає діапазон вхідної напруги, при яких ДБЖ забезпечує нормальне живлення навантаження без переходу в аварійний режим роботи. У ДБЖ такої структури, в середньому, діапазон допустимої зміни вхідної напруги складає від -20% до +20% від номінального значення 220 В.

Джерело безперебійного живлення, в якому вхідна змінна напруга спочатку перетвориться випрямлячем в постійну, а потім за допомогою інвертора знову в змінну – є джерелом з подвійним перетворенням напруги (енергії) (On-Line). Акумуляторна батарея постійно підключена до виходу випрямляча і до входу інвертора і живить останній в аварійному режимі.

Така схема побудови ДБЖ дозволяє забезпечити практично ідеальне живлення навантаження при будь-яких неполадках в мережі (включаючи

фільтрацію високовольтних імпульсів і електромагнітних перешкод) і характеризується нульовим часом перемикання в аварійний режим без виникнення перехідних процесів на виході пристрою.

До недоліків схеми з подвійним перетворенням напруги варто віднести її порівняно велику складність і як наслідок — вищу вартість.

ДБЖ On-Line типа застосовують у випадках, коли із-за тих або інших причин, є підвищені вимоги до якості електроживлення навантаження, яке може бути в ролі вузлів локальних обчислювальних мереж (мережеве устаткування, файлові сервери, робочі станції, персональні комп'ютери), устаткування обчислювальних залів, системи управління технологічним процесом.

За схемою з подвійним перетворенням (On-Line) побудовані, наприклад, моделі PW5125RM компанії Powerware. Вони оснащені плавним стабілізатором вхідної напруги, завдяки якій діапазон допустимих значень вхідної напруги, при яких джерело не переходить на живлення від батарей, складає від 166 до 276 В.

У таких схемах присутній режим Bypass — живлення навантаження відфільтрованою напругою електромережі в обхід основної схеми ДБЖ. Перемикання в режим Bypass, який підтримується внутрішньою схемою ДБЖ або спеціальним зовнішнім модулем, може виконуватися автоматично або уручну. ДБЖ, який має відповідну вбудовану схему, автоматично переходить в режим Bypass по команді пристрою управління, при перевантаженні електромереж або при виявленні несправності у важливих вузлах ДБЖ. В такий спосіб навантаження захищається не лише від збоїв в електромережі, але і від неполадок в самому ДБЖ. Можливість ручного включення режиму Bypass передбачається на випадок проведення профілактичного обслуговування ІБП або заміни його вузлів без відключення навантаження.

Схема типа Off-Line є більш простою і дешевою. Відповідно, джерело безперебійного живлення, що розробляється, теж побудуємо за цим

принципом. Проте, вдосконалені вузли функціональної схеми і відповідно характеристики дозволяють отримати виріб з кращими параметрами експлуатації і меншою ціною, чим його зарубіжні аналоги.

Блок, що розробляється, може бути також використаний і для забезпечення безперервного живлення всіляких пристроїв (серверів, персональних комп'ютерів, модемів і ін.) стабілізованою напругою 220 В, 50 Гц. Система призначена для живлення пристроїв, які мають імпульсні джерела живлення. Це дозволяє пом'якшити вимоги відносно розробки нашого приладу, оскільки імпульсні джерела живлення здатні працювати в мережі з відхиленнями напруги $\pm 20\%$ від номінального значення. Ще однією перевагою є здатність їх роботи від мережі, яка має не синусоїдальну форму напруги (апроксимована синусоїда, квазі синусоїда).

Для забезпечення роботи і нормального функціонування всіх частин ДБЖ, необхідна ланка, яка здійснювала б зв'язок між всіма цими частинами. Можна розглянути декілька видів таких схем.

Аналогові системи, операції регулювання в яких здійснюються шляхом порівняння, посилення і перетворення аналогових сигналів. Погрішність установки параметрів в такій системі сильно залежить від параметрів активних і пасивних елементів схеми. Такі системи використовуються, в основному в недорогих пристроях.

Цифрові системи, операції управління проводяться над цифровими величинами, отриманими з аналогових сигналів шляхом оцифрування аналого-цифровими перетворювачами (АЦП). Точність таких систем набагато вище за рахунок використання математичного апарату обчислення.

Комбіновані, операції управління і регуляції в яких виконуються або аналоговими, або цифровими пристроями.

У попередніх розробках для операцій управління та регуляції використовувались мікросхеми серії 561. На рисунку 2.6 представлено електрична схема ДБЖ на мікросхемі К561ИЕ8.

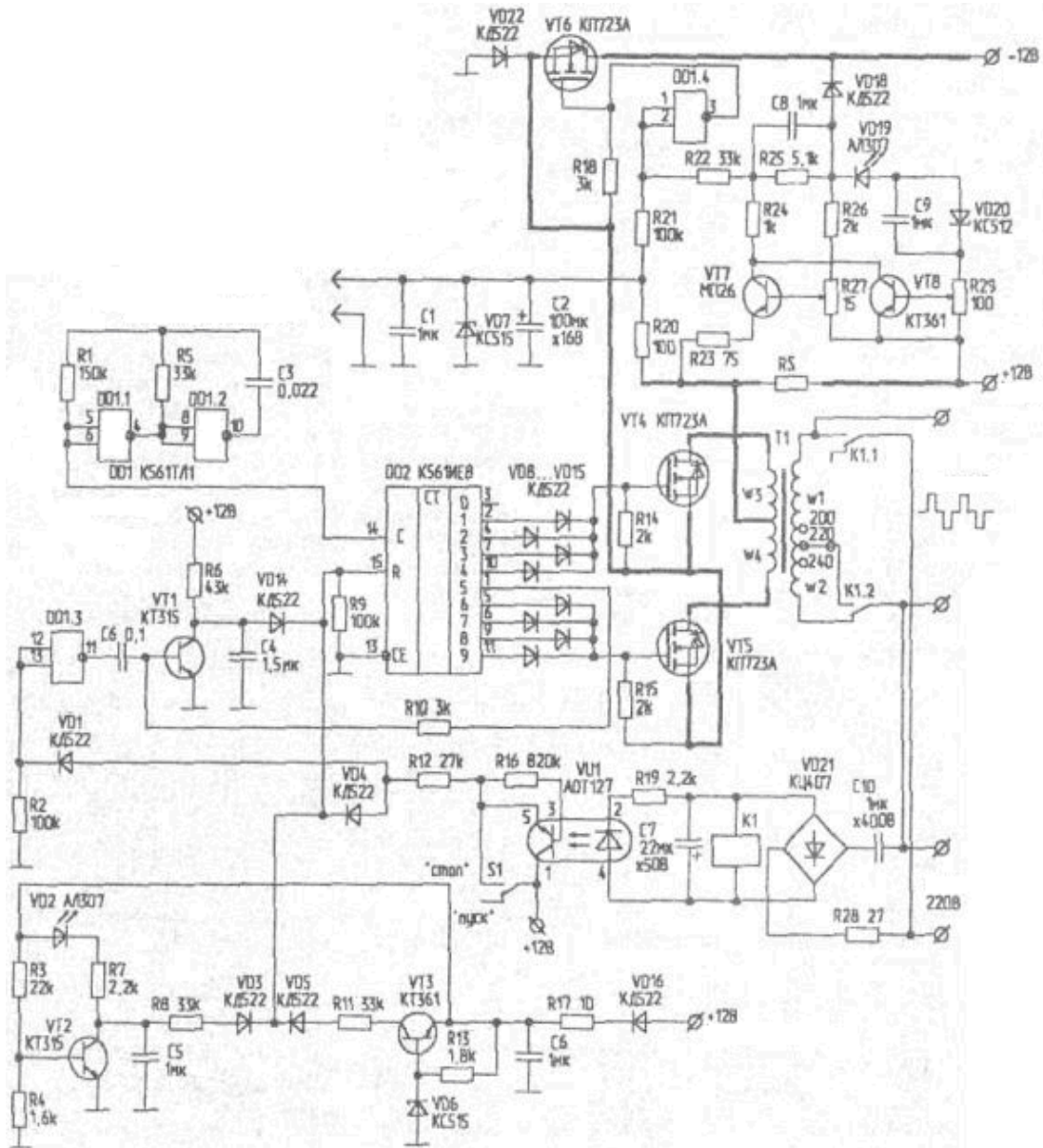


Рисунок 2.6 - Схема електрична принципова ДБЖ на мікросхемі K561IE8

2.3 Управління роботою ДБЖ мікроконтролером АТТіny26

У нашому випадку система управління роботою ДБЖ побудована на мікроконтролері АТТіny26 [9]. Він є високопродуктивним контролером з функціями багатоканального аналого-цифрового перетворювача. Введення і

виведення інформації в мікроконтроллер (далі МК) може здійснюватися як в аналоговому так і в цифровому вигляді. Використання новітніх розробок, які містять в своєму складі МК, дозволяє набагато спростити схему. Мікроконтроллер управляє роботою як схеми управління так і роботою всього пристрою.

2.3.1 Характеристики мікросхеми ATtiny26

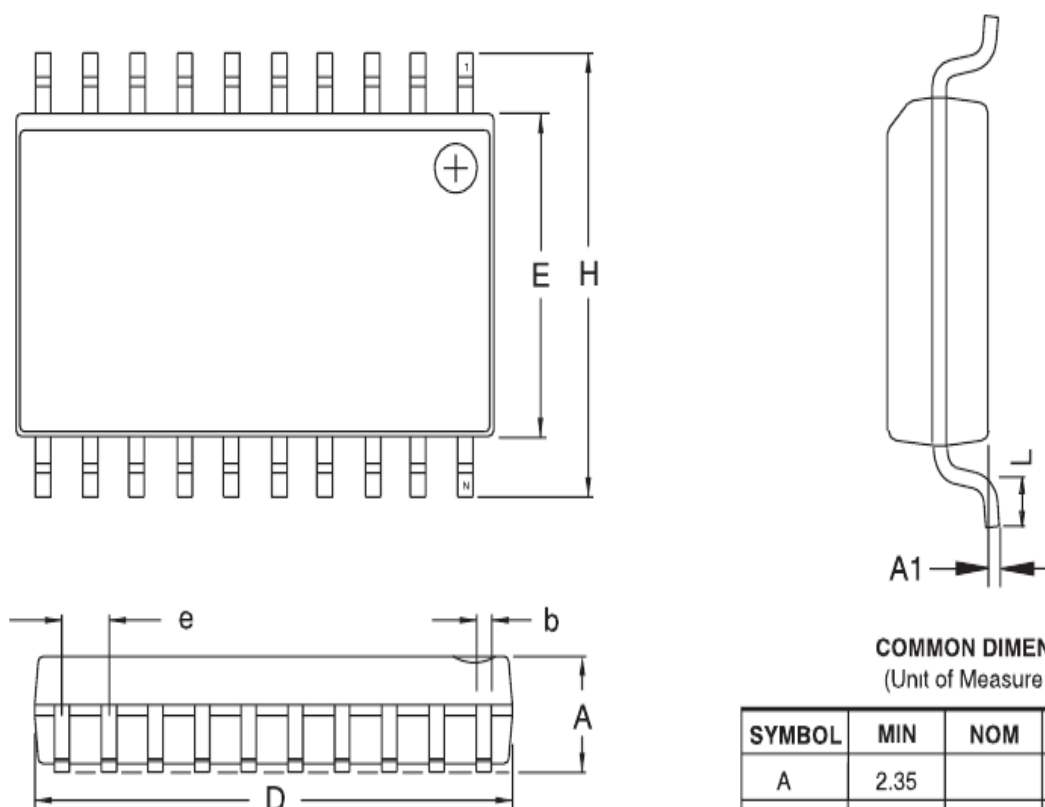
Мікроконтролери ATTINY є базовою версією контролерів лінійки AVR tiny AVR - низьковольтні мікроконтролери в 8-вивідному виконанні мають вбудовану схему контролю напруги живлення, що дозволяє обійтися без зовнішніх супервізорних мікросхем. Контролери цієї серії мають флеш-пам'ять до 16 Кб; SRAM до 512 би; EEPROM до 512 біт. Число ліній уведення-виведення 4-18 (загальна кількість виведень 6-32). Контролери сімейства ATTINY добре зарекомендували себе на ринку, і на сьогодні продовжують бути однією з найпопулярніших серій з сімейства AVR [9].

Більш розгорнуті характеристики мікроконтролера ATtiny26 представлено у таблиці 2.1 [9].

Таблиця 2.1 - Характеристики мікроконтролера ATTiny26

Корпус	SO-20
Ядро	AVR
Максимальна частота ядра	16 МГц
Об'єм пам'яті програм	2 кБайт
Тип пам'яті програм	FLASH
Об'єм EEPROM пам'яті	128 Байт
Об'єм оперативної пам'яті	128 Байт
Кількість вводів/виводів	16
Інтерфейси	USI
Периферія	Brown-out Detect/Reset, POR, PWM, WDT
АЦП/ЦАП	A/D 11x10b
Напруга живлення	4.5...5.5 В
Робоча температура	-40...105 °С

На рисунку 2.7 представлено схему комутації мікроконтролера ATTiny26 [9].



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure – mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	2.35		2.65	
A1	0.10		0.30	
b	0.33		0.51	4
C	0.23		0.32	
D	12.60		13.00	1
E	7.40		7.60	2
H	10.00		10.65	
L	0.40		1.27	3
e	1.27 BSC			

Рисунок 2.7 – Схема комутації мікроконтролера ATtiny26

На рисунку 2.8 представлено структуру інтерфейсу мікроконтролера ATtiny26 [9].

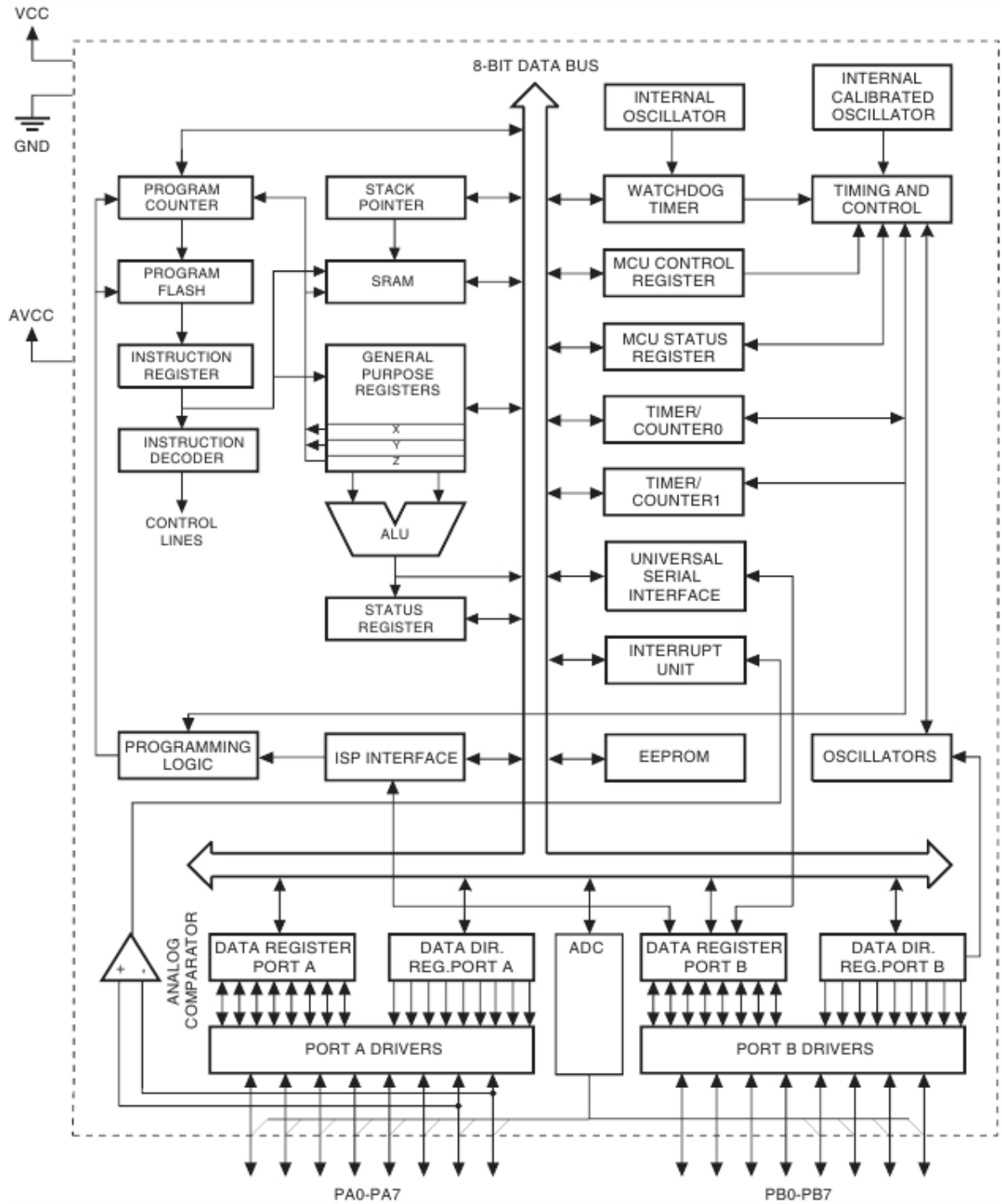


Рисунок 2.8 – Структура інтерфейсу мікроконтролера ATtiny26

2.3.2 Система управління ДБЖ на мікросхемі АТТiny26

Схема управління виконує роль інтерфейсу ДБЖ, подаючи відповідну команду включення на пристрій комутації, здійснює управління перемикачів навантаження на живлення від мережі або від акумуляторних батарей, стежить за напругою на акумуляторних батареях (далі АБ). Якщо напруга на АБ стає меншим 10,5 В, то здійснюється аварійне відключення ДБЖ. Аварійне відключення здійснюється також, коли температура докілья виходить за межі допустимої. Для виміру температури використовується температурний датчик. На пристрій управління роботою ДБЖ поступає інформація про величини напруги в мережі. Обробляючи цю інформацію МК виробляє відповідні сигнали управління для інших вузлів, складових блоку.

Для виміру вихідної потужності використовується датчик струму. Якщо через датчик протікає струм більше допустимого, схема управління відключає навантаження. Це забезпечує захист від виходу з буд пристрою перетворення постійної напруги в змінну.

Особливо велике значення в ДБЖ має наявність зв'язку з ПК. Це дозволяє операторові (адміністраторові) стежити за станом мережі, станом АБ і всієї роботи ДБЖ. В даному випадку використовується стандартний інтерфейс зв'язку МК і ПК – RS-232. Це дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг ДБЖ і безпечно завершення роботи ПК при аварії або довготривалій відсутності напруги в мережі (за умови налаштування програмного забезпечення ПК) [10-12].

Вхідна напруга 220В, 50Гц поступає через пристрій комутації і мережевий фільтр на зарядний пристрій і байпас.

Мережевий фільтр призначений для запобігання попаданню перешкод в мережу, які виникають при роботі ДБЖ.

Зарядний пристрій забезпечує зарядку АБ за наявності напруги в мережі, забезпечуючи тим самим постійну готовність до роботи ДБЖ в автономному

режимі. Пристрій перетворення напруги мережі в стабілізовану постійну напругу. Величина напруги заряду постійно контролюється МК. Це дозволить правильно експлуатувати батареї.

Чимала вихідна потужність зарядного пристрою дає “плюс” при роботі ДБЖ із значно заниженою вхідною напругою пристрою (діапазон від 90 до 185 В). При такій вхідній напрузі частина вихідної потужності джерела забезпечується роботою зарядного пристрою, що істотно подовжує роботу навантаження у випадках несправності електромережі.

Перетворювач змінної напруги в постійне виконує роль перетворювача змінної напруги 220В в постійне 200В. Даний пристрій побудований за схемою імпульсного перетворювача. Напруга на його виході постійно, але не стабілізовано, тобто залежить від зміни вхідної напруги. Для стабілізації використовується стабілізатор постійної напруги. Стабілізатор побудований за схемою одноктного імпульсного стабілізатора, що підвищує. Напруга на акумуляторі змінюється в межах 10,5...13,8 В, а вихідне ДБЖ повинне залишатися стабільним.

Перетворювач постійної напруги в змінне здійснює формування вихідної стабілізованої напруги 220В, 50Гц. Управління і синхронізацію даного пристрою з мережею здійснює пристрій управління ДБЖ [13].

Вихідний фільтр служить фільтром електромагнітних перешкод і запобіганню їх попаданню в навантаження.

2.4 Моделювання функціональних блоків високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки

Моделювання роботи основних функціональних блоків пристрою виконувалось за допомогою за допомогою редактора Proteus [14].

Для встановлення адекватності показників розроблюваного пристрою об'єктом моделювання було обрано роботу системи управління ДБЖ на

мікросхемі ATtiny26. Схема аналізу параметрів мікроконтролера у редакторі Proteus представлена на рисунку 2.9.

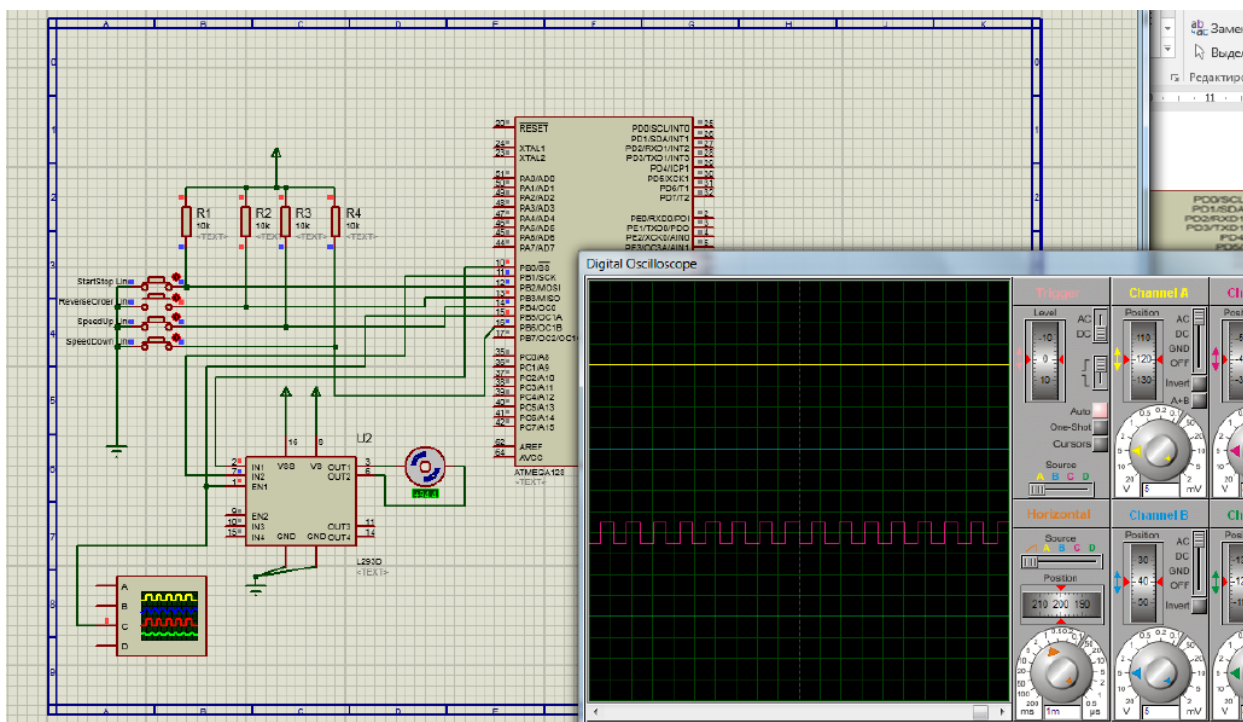


Рисунок 2.9 – Схема аналізу параметрів мікроконтролера ATtiny26 за допомогою редактора Proteus

На рисунку 2.10 представлено епюру інформаційного сигналу мікроконтролера, а на рисунку 2.11 – результат обробки в мікроконтролерній системі.

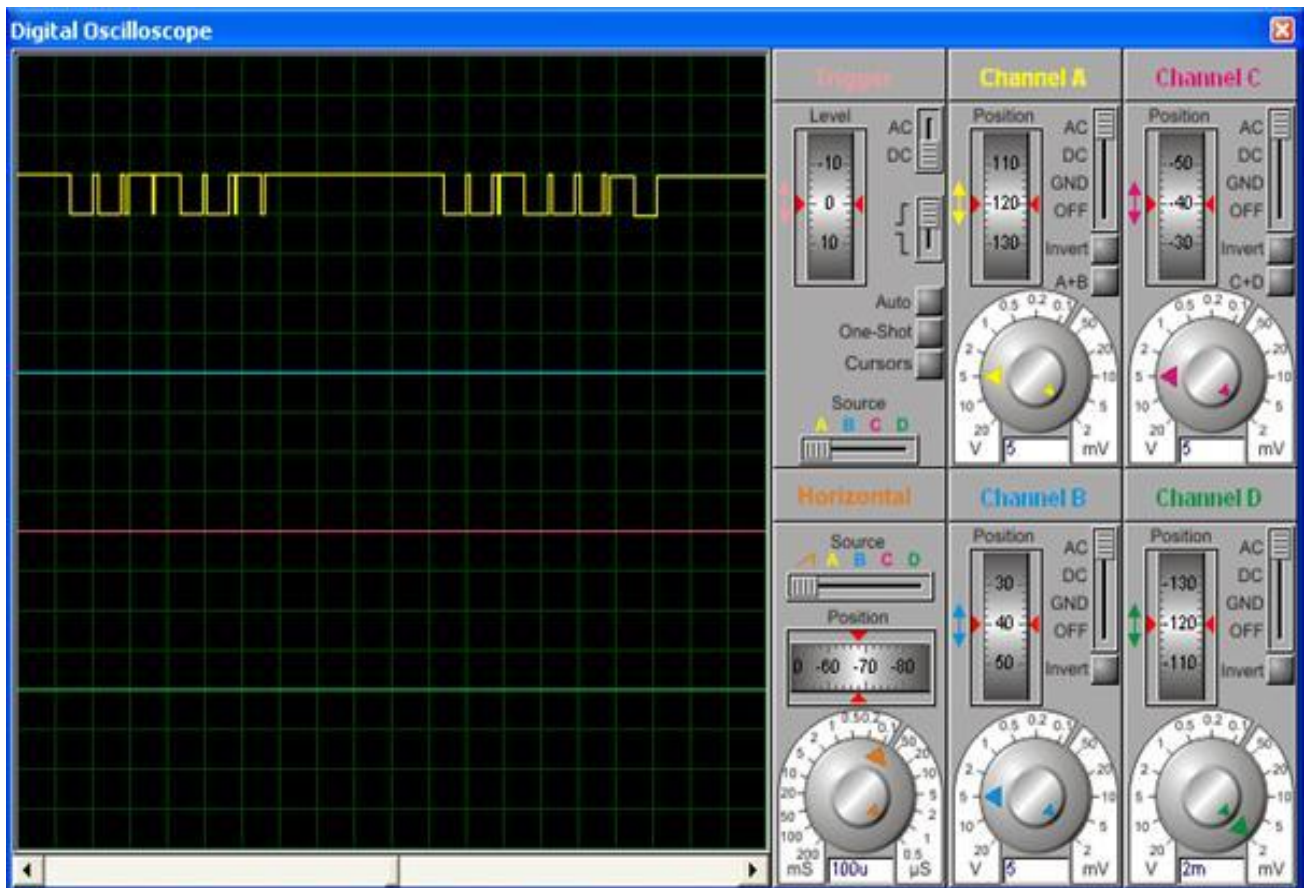


Рисунок 2.10 – Інформаційний сигнал мікроконтролера ATtiny26

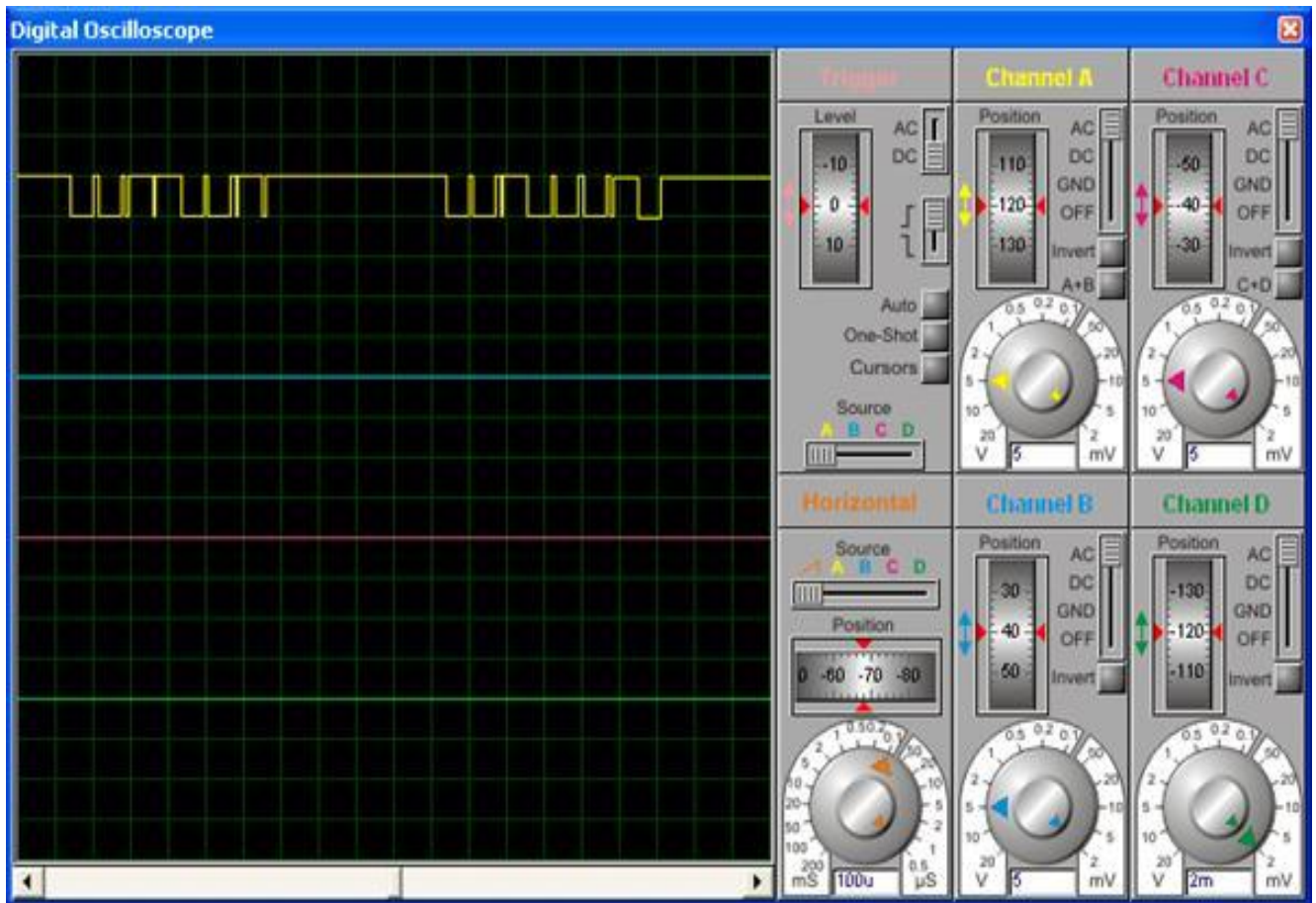


Рисунок 2.11 – Осцилограма сигналів мікроконтролера ATtiny26

Як видно із представлених епюр, розрахункові дані добре співпадають із результатами моделювання.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) у розробці було використано модель генерації газового розряду за допомогою тиратрону ТГП1-1000/25. Використання ТГП1-1000/25 дозволило із доброю відновлюваністю експерименту провести дослідження механізму виникнення розряду під дією джерела високої постійної напруги;

2) у результаті проведеного дослідження та розрахунків схему генерації було удосконалено за рахунок використання додаткових індуктивностей та використання стабілізованої напруги;

3) для забезпечення безперебійної подачі живлення у роботі запропоновано використати джерело безперебійного живлення (ДБЖ);

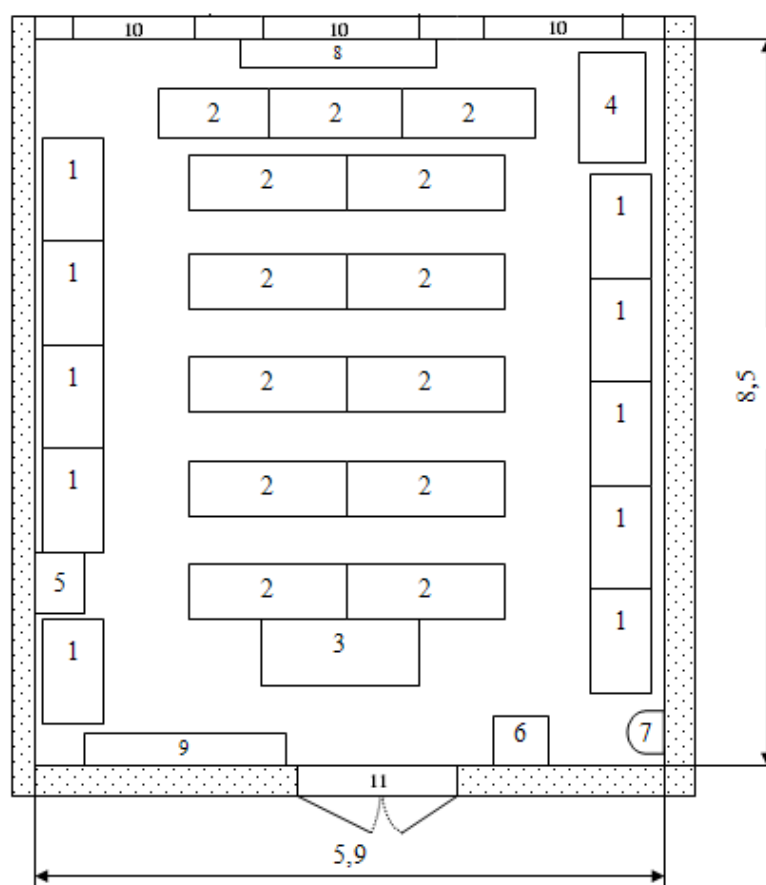
4) розроблено систему управління роботою ДБЖ, яка побудована на мікроконтролері ATtiny26. Використання мікроконтролера ATtiny26 дозволяє набагато спростити схему. Мікроконтроллер управляє роботою як схеми управління, так і роботою всього пристрою;

5) розрахункові дані добре співпадають із результатами моделювання.

3 Охорона праці та техногенна безпека при розробці високовольтного модуля живлення постійного струму для газорозрядної трубки

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

В даному розділі розглянуто робочі приміщення в яких проводяться лабораторні роботи та роботи з контрольно-вимірною та телекомунікаційною апаратурою. План приміщення наведено на рисунку 3.1.



1 - стіл комп'ютерний, 2 - стіл аудиторний, 3 - стіл викладача, 4 - установка Холла, 5 - шафа силова, 6 - сейф, 7 - рукомийник, 8 - спліт система, 9 - дошка аудиторна, 10 - вікно, 11 - двері

Рисунок 3.1 – План розташування робочих місць

Приміщення, в якому знаходяться контрольно-вимірні та телекомунікаційні пристрої, має такі характеристики:

- довжина приміщення 8,5 м;
- ширина приміщення 5,9 м;
- висота 4 м;
- число вікон 3;
- кількість робочих місць 28;
- забарвлення інтер'єру: біла стеля, блідо-бежеві стіни, підлога бетонна, обтягнута лінолеумом коричневого кольору.

Відповідно до ПХТ 12.0.003-74 небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні [15-17].

В даному приміщенні діють такі фізичні небезпечні та шкідливі фактори:

- підвищений рівень вібрацій, інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації;

- підвищені чи знижені барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря;

- небезпечне значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість електричного чи магнітного полів;

- недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла;

Також присутні небезпечні та шкідливі психофізіологічні фактори, до яких належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Одним із заходів є підвищення комфортності роботи шляхом раціоналізації параметрів робочого місця та робочого приміщення з ергономічної точки зору [15-17].

Обсяг приміщення на одного працюючого за санітарними нормами має становити не менше 20 м^3 , а площа приміщення – не менше 6 м^2 . Ширина основних проходів у приміщенні повинна становити не менше 1,5 м. Ширина виходів з приміщення повинна бути не менше 1 м, висота – не менше 2,2 м. Дане приміщення має обсяг $V=188,06 \text{ м}^3$, а площу $S=50,15 \text{ м}^2$. Таким чином наше приміщення не відповідає нормам з ергономічної точки зору.

Для зменшення впливу психофізіологічних факторів складено правильний графік трудового дня, встановлено необхідний час перерв, темп та ритм роботи, які необхідні для зменшення дії на організм людини фізичних зусиль, що в свою чергу дозволяють захистити людину від перевтомлення та втрати здоров'я [15-17].

3.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, шум [15-17].

Для нашого приміщення температура підтримується завдяки вентиляції (природної і штучної) в теплу пору року, та за допомогою опалення та герметизації приміщення в холодну пору року. Оптимальні норми температури для холодної пори року $21-23^\circ\text{C}$, для теплої складає $22-24^\circ\text{C}$.

Наше приміщення відповідає цим температурним нормам.

В даному приміщенні є два види вентиляції:

- природна (аерація через вікна і двері);
- примусова (приточно-витяжна).

Функціонально близьким, але відмінним від вентиляції за способом повітрообміну є кондиціонування. В даному приміщенні є наявність кондиціонера, який підтримує в приміщенні комфортні умови незалежно від зовнішніх умов (визначеної температури, вологості, чистоти повітря і швидкості повітряних потоків).

Вологість повітря в даному приміщенні не 40-60%, що відповідає оптимальним нормам. Це реалізується за допомогою вентиляції і кондиціонування приміщення, а також за рахунок проведення вологих збирань.

У приміщенні є наявність відео термінальних пристроїв та учбових стендів для проведення лабораторних робіт. Всі ці устаткування мають низький рівень шуму, що в свою чергу не перевищує допустиму норму рівня шуму в 65 дБ.

В нашому приміщенні, де знаходяться відео термінальні пристрої, використовується змішане освітлення, тобто поєднання природного і штучного освітлення.

В якості природного - бокове освітлення через вікна. В даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється за методом світлового потоку з урахуванням потоку, відбитого від стін і стелі [15-17].

Нормами для даних робіт в даному приміщенні встановлена необхідна освітленість робочого місця $E_n = 300 \text{лк}$ (середня точність роботи по розрізненню деталей розміром від 1 до 10 мм).

3.4 Електробезпека

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відповідно до ПУЕ і ГОСТу 12.1.013-78 являється приміщенням без підвищеної небезпеки [15-17].

Приміщення сухе, добре опалюване з струмонепровідною підлогою, з температурою 18-24 °С, з вологістю 40-50%. З електроустаткувань в ньому

знаходяться відео термінальні пристрої та учбові стенди, які знаходяться під напругою.

Причини ураження електричним струмом [15-17].

1. Пошкодження устаткування.
2. Пошкодження ізоляції.
3. Коротке замикання на землю або на корпус.
4. Порушення правил техніки безпеки и роботи с електроустаткуванням.

Для забезпечення електробезпеки в даному приміщенні використовуються такі технічні засоби:

- захисне заземлення;
- мала напруга;
- захисне відімкнення;
- ізоляція струмопроводів;
- знаки безпеки.

Захисне заземлення — навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою.

Учбові стенди, які знаходяться в приміщенні, працюють на мінімально можливих напругах, що забезпечує додаткову безпеку.

Усі електроустаткування можна у разі потреби вимкнути через електронний щит управління, який миттєво знеструмлює усі стенди та відео термінальні пристрої. Скрізь, де встановлені розетки є попереджувальні знаки.

3.5 Пожежна та техногенна безпека об'єкту

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “Б” [15-17].

Основними причинами пожеж в даному приміщенні є:

- необережне поводження з вогнем;

- незадовільний стан електротехнічних пристроїв, порушення правил їх
- монтажу та експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Приміщення за класом пожеж відноситься до категорії “Е” [15-17]. Це горіння обладнання та установок, які знаходяться під електричною напругою. Серед необхідних засобів гасіння пожежі в даному приміщенні є два вуглекислих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщенні вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустановки. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі. Ширина шляхів евакуації в світлі повинна бути не менше 1 м, дверей - не менше 0.8 м. При дверях, що відкриваються з приміщень в загальні коридори, за ширину евакуаційного шляху коридором слід приймати ширину коридору, зменшену:

- на половину ширини дверного полотна - при односторонньому розташуванні дверей,
- на ширину дверного полотна - при двосторонньому розташуванні дверей.

Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. У підлозі на шляхах евакуації не допускаються перепади висот менше 45 см і виступи, винятком порогів в дверних отворах. Висота дверей у просвіті на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м.

3.6 Розрахунок освітлення робочого місця

Загальний світловий потік визначається за формулою [15-17]:

$$F_{зсн} = \frac{E_n \cdot S \cdot z1 \cdot z2}{V} \quad (3.1)$$

де E_n - нормована освітленість ($E_n = 300$ лк), S - площа приміщення; $z1$ - коефіцієнт, що враховує старіння ламп і забруднення світильників ($z1=1,5$); $z2$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення приміщення ($z2 = 1,1$); V - коефіцієнт використання світлового потоку, визначається в залежності від коефіцієнтів відбиття від стін, стелі, робочих поверхонь, типів світильників і геометрії приміщення.

Площа приміщення:

$$S = A \cdot B = 8,5 \cdot 5,9 = 50,12 \text{ см}^2 \quad (3.2)$$

Виберемо з таблиці коефіцієнт використання світлового потоку за наступними даними:

- коефіцієнт відбиття білої стелі $R_{п}=70\%$;
- коефіцієнт відбиття від стін, забарвлених в світлу фарбу $R_{ст}=50\%$;
- коефіцієнт відбиття від підлоги, покритої лінолеумом темного кольору $R_{р}=10\%$;
- індекс приміщення

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8,5 \cdot 5,9}{4 \cdot (8,5 + 5,9)} = 0,87 \quad (3.3)$$

Знайдений коефіцієнт [3]: $V = 0,62$.

За формулою (1.1) визначаємо загальний світловий потік:

$$F_{зсн} = \frac{300 \cdot 50,15 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{0,62} = 40039 \text{ лк.}$$

Для організації загального штучного освітлення виберемо лампи типу ЛБ65.

Люмінесцентні лампи мають ряд переваг перед лампами розжарювання: їх спектр ближче до природного; вони мають велику економічність (більше світловіддача) і термін служби у 10-12 раз більше. Поряд з цим є й недоліки: їх робота супроводжується іноді шумом; гірше працюють при низьких температурах; їх не можна застосовувати у вибухонебезпечних приміщеннях; мають малу інерційність. Для нашого приміщення люмінесцентні лампи підходять.

Світловий потік однієї лампи ЛБ65 становить не менш $F_{л} = 4600$ лм. Число N ламп, необхідних для організації загального освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{F_{зсп}}{F_{л}} = \frac{40039}{4600} = 12 \quad (3.4)$$

В якості світильників вибираємо ПВЛ-1, 2×65 Вт. Електрична потужність однієї лампи ЛБ65 $W_{л} = 65$ Вт.

Потужність всієї освітлювальної системи:

$$W_{oc} = W_{л} \cdot N = 65 \cdot 12 = 780 \text{ Вт} \quad (3.5)$$

Розміщення світильників ПВЛ-1, 2×65 Вт представлено на рисунку 4.2.

Таким чином, щоб забезпечити світловий потік $F_{зсп} = 40039$ лм в даному приміщенні використовується 6 світильників по 2 лампи типу ЛБ65 в кожному. Згідно розрахунків освітленість приміщення відповідає встановленим нормам.

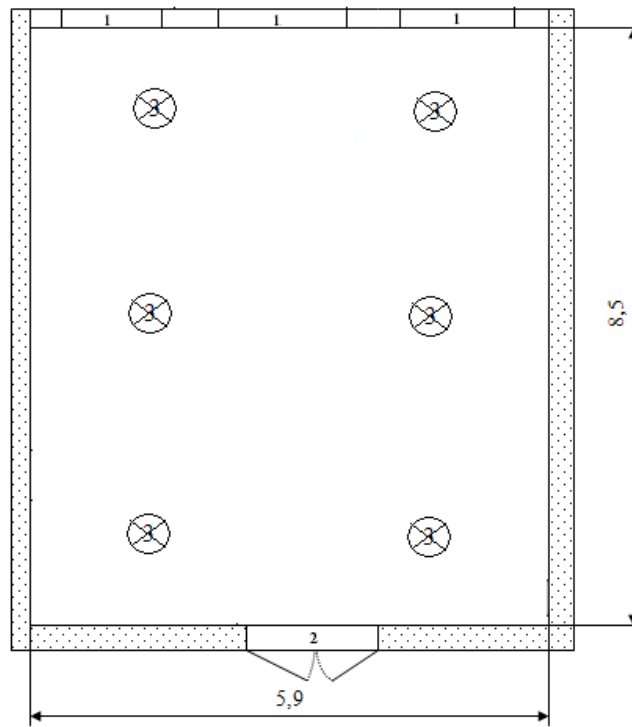


Рисунок 3.2 – План розташування світильників

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) проведено аналіз існуючих систем живлення газорозрядної апаратури;

2) у роботі було використано модель генерації газового розряду за допомогою тиратрону ТГП1-1000/25. Використання ТГП1-1000/25 дозволило із доброю відновлюваністю експерименту провести дослідження механізму виникнення розряду під дією джерела високої постійної напруги;

3) у результаті проведеного дослідження та розрахунків схему генерації було удосконалено за рахунок використання додаткових індуктивностей та використання стабілізованої напруги;

4) для забезпечення безперебійної подачі живлення у роботі запропоновано використати джерело безперебійного живлення (ДБЖ);

5) розроблено систему управління роботою ДБЖ, яка побудована на мікроконтролері АТТіny26. Використання мікроконтролера АТТіny26 дозволяє набагато спростити схему;

6) розраховані показники параметрів функціональних блоків пристрою добре узгоджуються із результатами моделювання в середовищі Proteus.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках систем живлення пристроїв інформаційної електроніки;

2) макетний варіант пристрою може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

Перелік посилань

1. Газорозрядні лампи: різновиди та принцип дії + особливості роботи [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://remontu.com.ua/gazorozryadni-lampi-riznovidi-ta-princip-di-osoblivosti-roboti> (дата звернення: 18.01.2022).
2. Пететворювальна техніка. Підручник. Ч. 2 / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Г. Морозов, М. В. Панасенко, В. Я. Ромашко, В. С. Руденко. За ред. В. С. Руденка. – Харків : Фоліо, 2000. 360 с
3. Енергетична електроніка. Жуйков В. Я., Рогаль В. В., Будьонний О. В., Пілінський В. В. Київ, 2008. Електронний підручник. <http://fel.kpi.ua/lib/pidruchniki> (дата звернення: 18.01.2022).
4. Step-Up Switching-Mode Converter With High Voltage Gain Using a Switched-Capacitor Circuit. Oded Abutbul, Amir Gherlitz, Yefim Berkovich, and Adrian Ioinovici. IEEE Transactions on Circuits and Systems—I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 50, № 8, 2003. – p. 1098-1102.
5. Brain Rush. Power Supply Sequencing for Low Voltage Processors // EDN. 2000.
6. Електромагнітна сумісність у системах електропостачання: Підручник / І. В. Жежеленко, А. К. Шидловський, Г. Г. Півняк, Ю. Л. Саєнко. Нац. гірнич. ун-т, 2009 319 с.
7. Назаренко Л. А. Фізичні основи джерел світла : навч. посібник / Л. А. Назаренко Харківська нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2009 206 с.
8. Системи електроживлення електронної апаратури. Конспект лекцій для студентів спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації 8(7).050802 «Електронні системи» / Укладач : Вербицький Є. В. - К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 180 с.

9. Microchip Product Change Notification [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.microchip.com/PCN> (дата звернення: 11.03.2022).

10. Верьовкін Л.Л. Функціональні вузли мікропроцесорних систем. Методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка».

11. Верьовкін Л.Л. Функціональні вузли мікропроцесорних систем. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.

12. Верьовкін Л.Л. Цифрові логічні автомати. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 36 с.

13. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Хрипко С. Л. Аналогова схемотехніка Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів ЗДІА спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» денної та заочної форм навчання // Запоріжжя : 2018 – 48 с.

14. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами". Медвідь В. Р., Пісьціо В. П., Тернопіль: ТНТУ, 2018 26 с.

15. Бегун В. В., Науменко І. М. Безпека життєдіяльності : Навч. посібник. Київ : МОНУ, 2004. – 328 с.

16. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В. Г. Рижков Запоріжжя, 2005. 43 с.

17. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2005. 24 с.