

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

В.О. Піддубний

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами
«Радіотехнічні компютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»
спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензент

Перегудов Сергій Миколайович, канд. техн. наук, доц. кафедри прикладної радіоелектроніки радіотехнічного факультету, Національний технічний університет КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор

Жук Сергій Якович, д-р техн. наук, проф.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 8 від 02.06.2023 р.) за поданням Вченої ради радіотехнічного факультету (протокол № 05/2023 від 28.04.2023 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Піддубний Володимир Олексійович, доцент

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

Електроживлення радіоелектронної апаратури. Домашня контрольна робота. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / В.О.Піддубний, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,08 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 45 с.

В навчальному посібнику наводяться рекомендації щодо виконання домашньої контрольної роботи роботи з кредитного модуля «Електроживлення радіоелектронної апаратури» (дисципліна за вибором студентів), який викладається студентам радіотехнічного факультету, що навчаються за освітніми програмами «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки» спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка». Наводяться короткі теоретичні відомості, хід виконання роботи та її зміст, вказівки до її виконання.

Реєстр. № НП 22/23-710. Обсяг 1,25 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

© В.О. Піддубний, 2023
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Мета та завдання домашньої контрольної роботи.....	5
2. Тематика роботи.....	6
3. Склад, обсяг і структура.....	6
5. Методика виконання роботи.....	7
4. Короткі теоретичні відомості.....	8
6. Рекомендації до оформлення роботи.....	17
7. Перелік посилань.....	19
8. Список рекомендованої літератури.....	19
9. Додатки.....	21
Додаток А. Приклад оформлення титульного листа.....	21
Додаток Б. Вимоги до оформлення тез.....	22
Додаток В. Приклад ДКР (розрахунок ДВЕЖ).....	25
Додаток Г. Приклад ДКР (розробка вузла ДВЕЖ).....	38

Перелік умовних позначень та скорочень

БТВ	безтрансформаторний вхід
БЖПЧ	блок з перетворенням частоти
ВБ	вентильний блок
ДБЖ	джерело безперебійного живлення
ДВЕЖ	джерело вторинного електроживлення
ДЖ	джерело живлення
ДКР	домашня контрольна робота
ДОН	джерело опорної напруги
ЗЗ	зворотній зв'язок
КЗ	коротке замикання
ККД	коефіцієнт корисної дії
МОН	метал-окис-напівпровідник
РЕА	радіоелектронна апаратура
ШИМ	широкоімпульсна модуляція
IGBT	insulated-gate bipolar transistor
MOSFET	metal-oxide-semiconductor field-effect transistor

ВСТУП

Самостійна робота з науково-технічною літературою, набуття навиків виконання розрахунків джерел вторинного живлення радіоелектронної апаратури є важливим етапом у професійній підготовці фахівця з телекомунікацій та радіотехніки. Одним із видів самостійної роботи є домашня контрольна робота.

Допомогти студентам в виконанні домашньої контрольної роботи робіт з дисципліни «Електроживлення радіоелектронної апаратури», закріпити отримані на лекціях теоретичні знання та сформувати у студентів навички самостійної роботи з технічною літературою та проведення розрахунків вторинних джерел живлення з перетворенням частоти і є завданням посібника.

Навчальний посібник підготовлено відповідно до робочої навчальної програми (силабусу) дисципліни «Електроживлення радіоелектронної апаратури», яка відводить на виконання індивідуального завдання (ДКР) 20 годин самостійної роботи.

Посібник містить матеріал, який дозволяє застосовувати набуті під час лекцій знання про процеси, що провідбуваються в імпульсних джерелах живлення, вибрати та розрахувати схеми вторинного джерела живлення з перетворенням частоти.

Перед виконанням домашньої контрольної роботи студент повинен вивчити відповідні розділи теоретичного матеріалу використовуючи рекомендовані джерела [1-3].

1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Метою домашньої контрольної роботи є опанування в повному об'ємі навчальною програмою та набуття навичок проведення розрахунків вторинних джерел живлення з перетворенням частоти і оцінки результатів розрахунку, роботи з науково-технічною літературою, оформлення технічної документації в відповідно до вимог ДСТУ 3008-2015, коротких тез для публікацій на науково-

технічних конференціях.

Завданням ДКР є проведення самостійної роботи з науково-технічною літературою та виконання пояснювальної записки за індивідуальною тематикою, в якій розглядається питання розробки вторинних джерел живлення радіоелектронної апаратури.

2. ТЕМАТИКА РОБОТИ

Домашня контрольна робота може бути двох видів. Перший – розробка схемотехнічного рішення вторинного джерела живлення (ДВЕЖ) з перетворенням частоти. Другий – теоретична та практична розробка іншого вузла чи в цілому ДВЕЖ, яка цікавить студента та ним самим запропонована. Це може бути огляд та розробка системи зарядки електрохімічних джерел, вузлів джерел безперебійного живлення, включаючи сонячні панелі, то що. В цьому випадку в ДКР надається огляд проблеми, що виникла при розробці електронного пристрою, та конкретні пропозиції для її вирішення.

Для завдання першого виду (розробка схемотехнічного рішення вторинного джерела живлення з перетворенням частоти) задаються наступні дані:

1. Вид первинного джерела електричної енергії.
2. Вихідна напруга.
3. Струм навантаження.
4. Тип інвертора джерела живлення.
5. Частота перетворення.
6. Топологія схеми – Push-Pool (з відводом від середньої точки), Full-Bridge (мостова) чи Half-Bridge (напівмостова).

Чисельні значення параметрів встановлюються викладачем індивідуально для кожного конкретного студента.

Тематика робіт другого варіанту пропонується студентом самостійно та узгоджується з викладачем, який конкретизує розділи роботи.

3. СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА

Домашня контрольна робота є індивідуальним завданням. Вона складається зі **вступу**, **основної частини** та **висновків**. Основна частина поділена на розділи, в яких надаються короткі теоретичні відомості та необхідні розрахунки (з посиланням на розрахункові формули а при необхідності і їх виведення). В основній частині обов'язково надаються посилання на використані джерела. Висновки повинні бути конкретними та обґрунтованими.

Структура роботи:

- перша сторінка – титульний аркуш (див. додаток А);
- основна частина (друга та подальші сторінки, на яких згідно послідовності виконання роботи висвітлюється матеріал роботи);
- висновок;
- використані джерела (будь-які джерела, наприклад, лекції з дисципліни, друковані та електронні підручники, сайти мережі Інтернет);
- додатки.

Обсяг: від 10 до 15 сторінок.

4. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перед виконанням роботи необхідно вивчити відповідні розділи теоретичного матеріалу використовуючи рекомендовані в посібнику джерела [1-3] та розділ 5 цього посібника.

Для робіт першого типу необхідно:

1. Привести спрощену структурну схему джерела живлення.
2. Вибрати контролер з необхідними параметрами.
3. Розробити електричну принципову схему джерела живлення.
4. Розрахувати силовий трансформатор.
5. Вибрати ключові транзистори з необхідними параметрами.

Об'єм та зміст розділів для другого типу ДКР (теоретична та практична

розробка вузла ДВЕЖ), визначається викладачем індивідуально в відповідності до запропонованої студентом теми. Для цих робіт необхідно:

1. Провести короткий огляд науково-технічної літератури з питання, що розглядається.
2. Проаналізувати відомі рішення, вказавши їх недоліки та переваги.
3. Розглянути роботу вузла ДВЕЖ та методи керування ним.
4. Проаналізувати параметри електронних компонентів, в першу чергу інтегральних мікросхем, які можуть бути використані для вирішення проблеми.
5. Запропонувати конкретне рішення поставленого завдання.

5. КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Імпульсні джерела живлення з перетворенням частоти найчастіше мають безтрансформаторний вхід. Структурна схема такого джерела приведена на рис.1. В них змінна напруга мережі живлення спочатку перетворюється в постійну випрямлячем V_m , згладжується фільтром ЗФм (за звичай ємнісного типу, який є навантаженням випрямляча), потім поступає на інвертор І, на якому перетворюється на змінну підвищеної частоти та необхідної величини, далі знову перетворюється випрямлячем В в постійну і згладжується фільтром ЗФ.

Інвертор забезпечує перетворення сталої напруги в змінну, гальванічну розв'язку входу з виходом та необхідне значення вихідної напруги. Він складається з силового ключа та трансформатора.

Основні особливості роботи схеми наступні:

- робоча частота перетворення 20...100 кГц та вище (це дозволяє зменшити масу і розміри реактивних елементів);
- силовий каскад працює в ключовому режимі роботи (це збільшує ККД та покращує масогабаритні показники);
- є можливість стабілізації вихідної напруги.

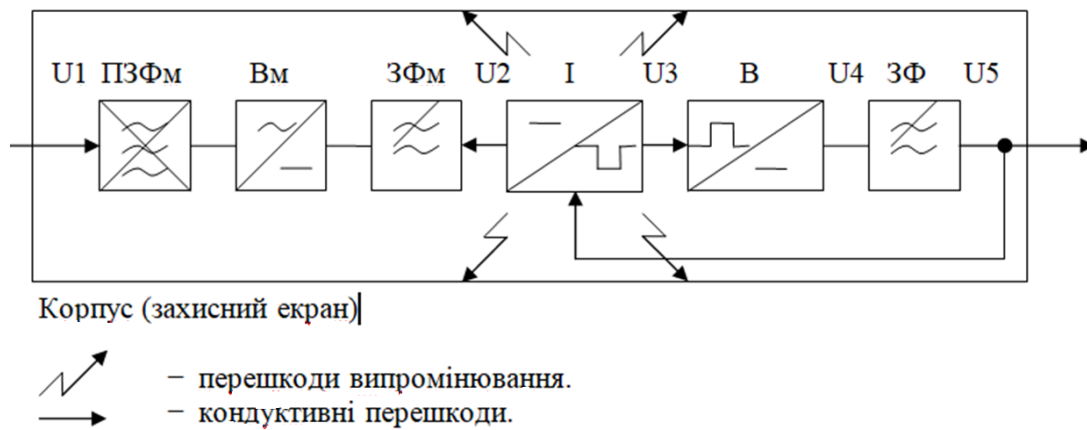


Рисунок 1 – Структурна схема імпульсного ДВЕЖ

Форма напруг $U1...U5$ в різних точках імпульсного ДВЕЖ показана на рис.2.

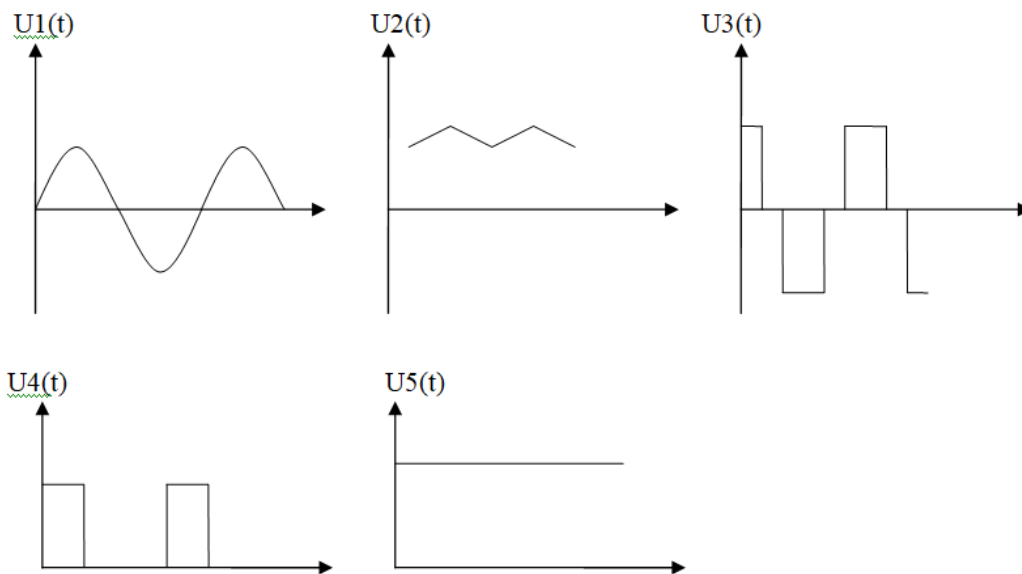


Рисунок 2 – Напруги в різних точках імпульсного ДВЕЖ

Перевагою такої схеми є суміщення функцій перетворення напруги та стабілізації значення вихідної напруги. Схема, за звичай, це нерегульований мережевий випрямляч та регульований інвертор. Стабілізація вихідної напруги може здійснюватися і регульованим мережевим випрямлячем та нерегульованим інвертором. Така схема дозволяє працювати інвертору при знижених напругах (130...200В), що значно полегшує роботу транзисторних ключів інвертора.

Основний вузол схеми – це інвертор. Найчастіше всього використовуються інвертори зі зовнішнім збудженням, які характеризуються наявністю ШІМ

контролера. Це – інвертори із середньою точкою (Push-Pull), мостові (Full-Bridge) та напівмостові (Half-Bridge).

Інвертори із середньою точкою (Push-Pull)

Схема зі зовнішнім збудженням та відводом від середньої точки (Push-Pull) на польових транзисторах є найбільш розповсюдженою в низьковольтних перетворювачах-інверторах. Один із варіантів схеми показаний на рис.3. Її особливістю є те, що первинна обмотка вихідного трансформатора має вивід від своєї середини. Схема двопівперіодна. За перший півперіод напруги працює один транзистор та одна півобмотка трансформатора. За другий – інший транзистор та інша половина первинної обмотки трансформатора.

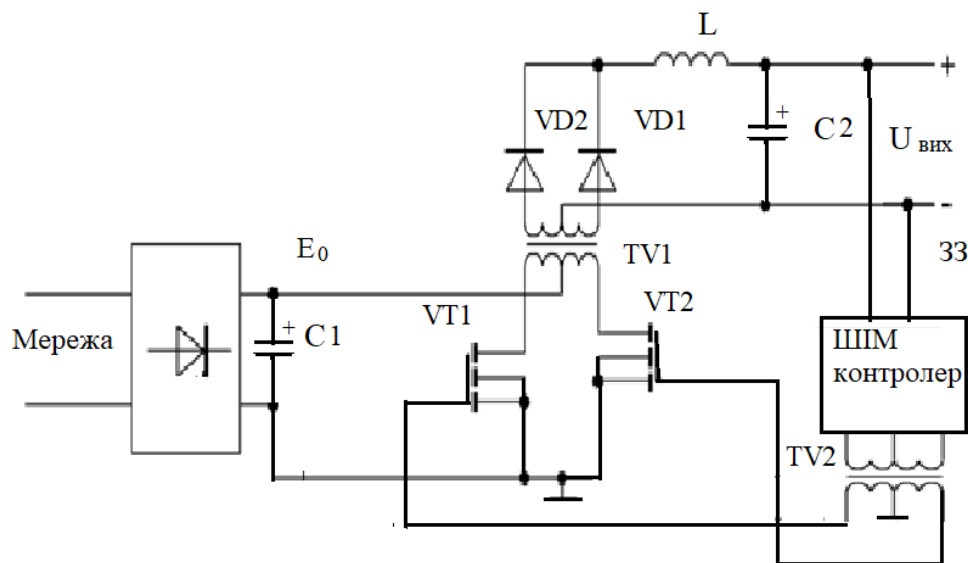


Рисунок 3 – Схема інвертора зі зовнішнім збудженням із середньою точкою

Така схема має високий ККД та низький рівень пульсацій. Це досягається за рахунок зменшення струму в первинній обмотці та зменшення потужності, що розсіюється в ключових транзисторах. Кожен транзистор працює в свій півперіод.

Недоліки:

1. Використання достатньо складного трансформатора з відводом від середньої точки первинної обмотки. Трансформатор має збільшені розміри. До транзисторів прикладається подвійна напруга. Напруга живлення транзисторів сумується з ЕРС самоіндукції, тому $U_{KE} = 2E_0$, де U_{KE} – напруга колектор-

емітер, E_0 – напруга, яку виробляє мережевий випрямляч.

2. Розбалансування схеми через несиметричне намагнічування осердя трансформатора. Для його усунення обидві половинки первинної обмотки мотаються разом (в два дроти), що значно ускладнює технологію виготовлення трансформатора. Коли це не можливо обмотку секціонують і окремі секції половинок первинної обмотки мотають упереміш.

Потужність інверторів лежить в межах від 500 Вт до кількох кВт.

Мостові інвертори (Full-Bridge)

Схема мостового інвертора наведена на рис.4.

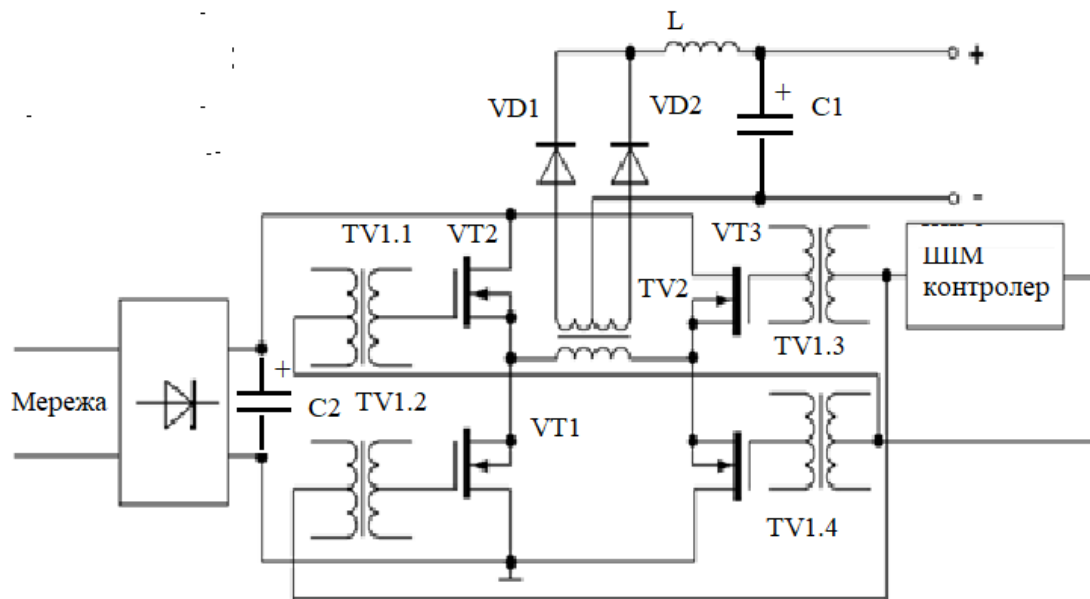


Рисунок 4 – Схема мостового інвертора

Особливостями мостової схеми є:

1. Менша ніж у схеми з відводом від середньої точки напруга на ключах. Це дозволяє вибирати транзистори з меншим значенням допустимої колекторної напруги $U_{КЕдоп} \geq E_0$.

2. При відкритті транзисторів виникають наскрізні струми, які можуть призвести до виходу транзисторів з ладу. Це пов'язане з процесами розсмоктування носіїв заряду в переходах транзисторів та вимагає забезпечення затримки відкриття транзисторів. Її забезпечує драйвер з ШІМ контролером.

3. Можливе розбалансування осердя із-за несиметричності струмів при різних тактах роботи схеми.

Мостова схема інвертора застосовується при потужностях від 500 Вт до кількох кВт та при підвищеному рівні напруги джерела живлення.

Півмостові інвертори (Half-Bridge).

Мостова схема перетворюється на півмостову шляхом заміни однієї пара ключових транзисторів на конденсатори (рис.5). Принцип роботи схеми полягає в почерговому підключенні транзисторами VT1 та VT2, первинної обмотки трансформатора TV1 до конденсаторів C1 і C2. Це зменшує кількість транзисторних ключів в схемі.

До переваг такої схеми інвертора можна віднести малі втрати на управління ключовими транзисторами із-за комутації лише одного ключа на кожному такті роботи схеми. Конденсатори підтримують баланс струмів в схемі за період роботи, що виключає асиметричний режим намагнічування трансформатора.

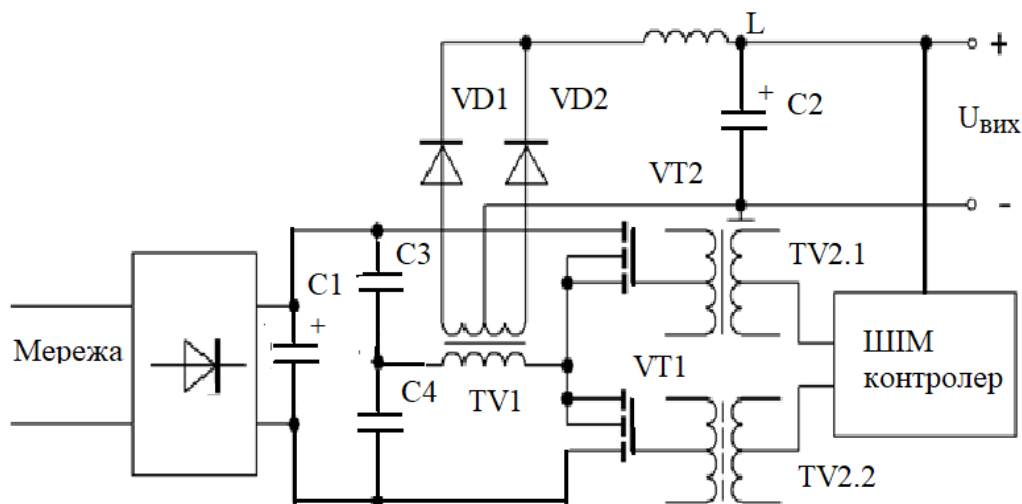


Рисунок 5 – Схема півмостового інвертора

Схема також забезпечує малий рівень зворотної напруги на ключових транзисторах, тому вона може використовуватися при високих значеннях вхідних напруг. Для схеми $U_{KEзвор} = E_0/2$.

У схемах з зовнішнім збудженням силова частина перетворювача працює в режимі підсилювача потужності сигналів керування, сформованих ШІМ контролером. Прикладом такого перетворювача може бути джерело живлення типу АТ та АТХ персональних комп'ютерів. Постійна напруга живлення інвертора

складає 310 В, вихідні напруги – ± 5 В та ± 12 В при потужності навантаження в 150...350 Вт. Пристрій керування (ШІМ контролер) побудований на базі спеціалізованої мікросхеми TL494.

В якості електронних ключів використовують біполярні транзистори, польові транзистори з ізольованим заслоном MOSFET, а також біполярні транзистори з ізольованим заслоном IGBT, як діоди – діоди з бар'єром Шоткі.

Потужність півмостових інверторів лежить в межах від 150 Вт до 500 Вт.

Розглянемо структуру ШІМ контролера, яка наведена на рис.6.

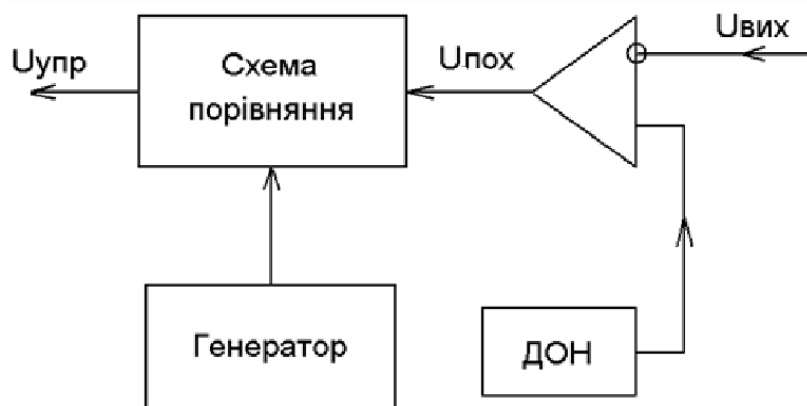


Рисунок 6 – Структурна схема ШІМ контролера

Контролер складається з генератора пилоподібної напруги, джерела опорної напруги (ДОН), кола зворотного зв'язку, який в себе включає підсилювач сигналу похибки, компаратор (схема порівняння) з генератором імпульсів, які керують ключовими транзисторами.

Кількість ключів, якими керує контролер (один, два чи чотири) залежить від типу перетворювача, для якого він розрахований. Прикладом контролера для півмостової схеми (керує двома ключами) є мікросхема LM5035.

LM5035 містить усі необхідні вузли для реалізації перетворювача напруги за півмостовою схемою. Максимальний вихідний струм управління – 2 А. Частота генерації – до 2 МГц.

В деяких контролерах, які працюють при потужностях до 50 Вт, силові ключі можуть бути вбудованими в ІС (наприклад, контролер 5L0830R).

Найбільш розповсюдженими контролерами є контролери типів TL493/4/5, UC3875/6/7/8 та UC3843.

Контролери складаються з підсилювачів сигналу помилки, регульованого генератора пилкоподібної напруги, компаратора регулювання мертвої зони, тригера керування, джерела опорної напруги (ДОН) і схеми керування вихідним каскадом. Структурна схема TL494 (її аналоги: KA7500B, KP1114EY4, Sharp IR3M02, UA494, Fujitsu MB3759) наведена на рис.7.

Ці мікросхеми широко використовуються в комп'ютерній техніці.

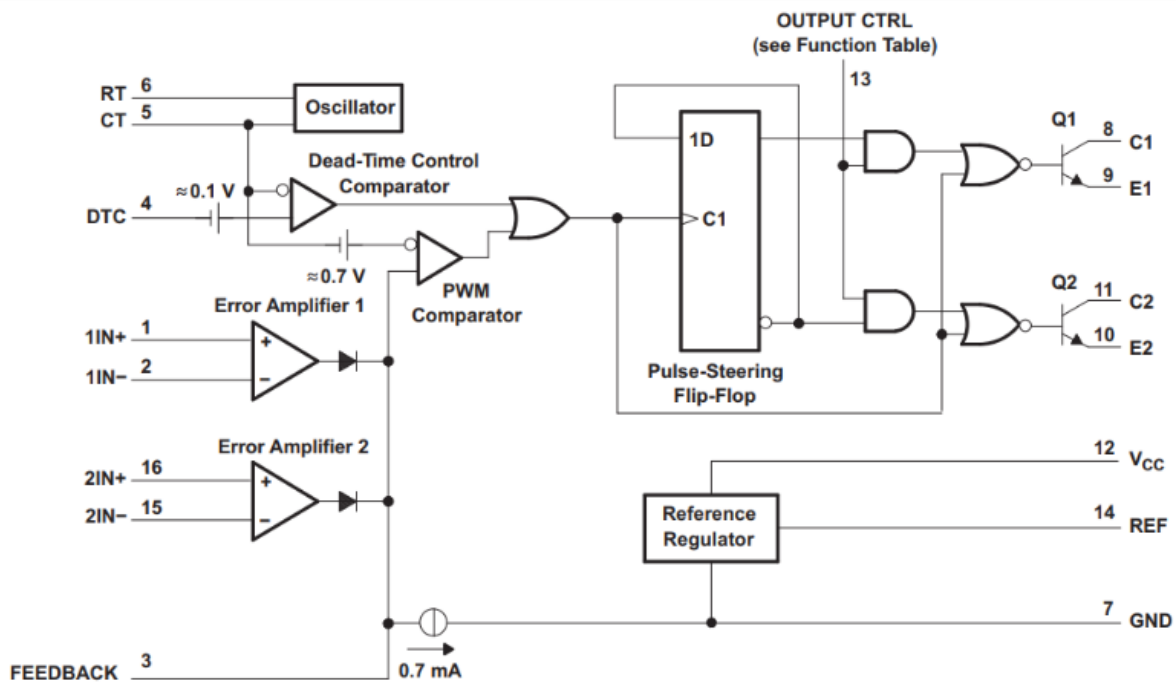


Рисунок 7 – Структурна схема ШІМ контролера TL494

Детально робота такого ШІМ контролера розглядається в [4] та досліджується в одній із лабораторних робіт кредитного модуля.

Методика розрахунку інверторів

Для проектування інверторів зручно використовувати книгу Марті Брауна [2], в якій детально розглядається методика розрахунку імпульсних інверторів різного типу.

Проектування інверторів включає розрахунок наступних величин:

1. Вихідна потужність інвертора

$$P_{\text{вих}} = \sum_{m=1}^n (U_{\text{вих}m} \cdot I_{\text{вих}m}),$$

де $U_{\text{вих}m}$, $I_{\text{вих}m}$ – напруга та струм m -го виходу, n – загальна кількість вихідних напруг.

2. Вхідна потужність, яка необхідна для функціонування інвертора,

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta} \approx \frac{P_{\text{вих}}}{0,7} = 1,5P_{\text{вих}},$$

де η – коефіцієнт корисної дії, для електронної техніки $\eta \approx 0,7$.

3. Середнє значення вхідного струму

$$I_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}}.$$

4. Вхідний піковий струм

$$I_{\text{пік}} = \frac{K \cdot P_{\text{вих}}}{U_{\text{вх min}}} = \frac{5,5 \cdot P_{\text{вих}}}{U_{\text{вх min}}},$$

де $K = 1,4$ для знижувальних, пушпульних та мостових, $K = 2,4$ для напівмостових, прямоходових, $K = 5,5$ для схем підвищуючих, інвертуючих, зворотних.

5. Індуктивність первинної обмотки. Якщо ключ замкнений, первинна обмотка трансформатора працює як індуктор. Тому піковий струм залежить від часу $t_{\text{он}}$. Це час при якому ключ відкрито.

$$I_{\text{пік}} = \frac{U_{\text{вх}} \cdot t_{\text{он}}}{L_1}.$$

Знаходимо індуктивність первинної обмотки трансформатора L_1

$$L_1 = \frac{U_{\text{вх min}} \cdot D}{I_{\text{пік}} \cdot f}, t_{\text{он}} = \frac{D}{f},$$

де D – коефіцієнт заповнення, f – робоча частота інвертора.

6. Енергія, що надходить в осердя протягом часу замкненого ключа, має бути більшою ніж вихідна потужність інвертора

$$W = \frac{L_1 \cdot I_{\text{пік}}^2}{2} \geq 0,5 \cdot L_1 \cdot I_{\text{пік}}^2 \cdot f \geq P_{\text{вих}}.$$

7. Величина немагнітного зазору дроселя. Для всіх схем з уніполярним магнітним потоком необхідний немагнітний зазор, значення якого може бути розраховане за виразом

$$l = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot L_1 \cdot I_{\text{пик}}^2}{S \cdot B_{\text{max}}^2} (\text{м}),$$

де S – ефективна площа перерізу осердя трансформатора (м^2), B_{max} – максимальна робоча магнітна індукція Тл (вебер/ м^2)

8. Кількість витків, яка необхідна для досягнення заданої індуктивності, розраховується як

$$N_1 = 1000 \cdot \sqrt{\frac{L_1}{A_L}},$$

де A_L – параметр, що характеризує індуктивність з зазором, якщо в ній 1000 витків. Наводиться виробником в технічних умовах на осердя.

9. Якщо A_L не вказано, то кількість витків первинної обмотки визначається виразом

$$N_1 = \frac{l \cdot B_{\text{max}}}{0,4\pi I_{\text{пик}}}.$$

10. Кількість витків у вторинній обмотці

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх min}}}.$$

Вибір схеми ДВЕЖ залежить від його вихідних параметрів. Для попередньої оцінки можна використати дані табл.1.

Таблиця 1 – Порівняння схем ДВЕЖ з ШІМ контролером

Схема ДВЕЖ	Потужності, Вт	Вхідні напруги, В	Наявність розв'язки	ККД, %	Собівартість
Пушпульна	100...1000	5...1000	Є	75	2,0
Півмостова	100...500	5...1000	Є	75	2,2
Мостова	400...>2000	5...1000	Є	73	2,5

Крім розрахункового варіанту ДКР студент має право вибрати будь-яку тему, яка стосується матеріалів дисципліни і яка особисто його цікавить. Така тематика ДКР буде заохочуватися додатковими балами.

Терміни виконання домашньої контрольної роботи вказані на платформі дистанційного навчання (<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6395>) та доводяться до відома студентів в групі Телеграм.

5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОФОРМЛЕННЯ ДКР

Оформляється ДКР в вигляді пояснювальної записки, яка відображає виконану студентом роботу. Пояснювальна записка повинна містити як розгляд теоретичних питань так і практичні розрахунки. В ній повинні бути розрахункові формули і, при необхідності, виведення цих формул, докладний хід виконання розрахунків, обґрунтування вибраних елементів і розрахованих параметрів, схеми, графіки, таблиці. В розрахунках обов'язковою є підстановка чисельних значень в остаточну формулу. Після проведення розрахунків записується відповідь з зазначенням одиниць виміру. Розрахунки необхідно проводити з обґрунтованою точністю, але не менше одного знака після коми. Оформлення розрахунків та графіків одержаних залежностей повинні відповідати вимогам державних стандартів України. Графічні залежності повинні мати координатну сітку із зазначенням відповідних параметрів та розмірностей.

Робота виконується на стандартних аркушах паперу формату А4.

Об'єм роботи складає 10...15 сторінок. Вона оформлюється окремим файлом формату *.doc, *.docx чи *.pdf. Об'єм файлу обмежений вимогами платформи дистанційного навчання Moodle розміром 1 МБт.

Основна частина складається з розділів, в яких надаються короткі теоретичні відомості та необхідні розрахунки (з посиланням на використані формули а при необхідності і їх виведення).

Обов'язково надаються посилання на використані джерела. Наприклад [X], де X – це номер джерела в переліку використаних джерел.

Приклад оформлення таблиці наведено нижче. На таблиці дається посилання в тексті. Наприклад, ...параметри наведено в табл.2 або ...(табл.2).

Таблиця 2 – Параметри схеми для дослідження

№ п/п	Напруга $U_{\text{вм}}$, В	Кут відсічки, α , град.	R_2 , Ом	C , мкФ	R_H , Ом
1	40	10	70	5,5	30
2

Усі рисунки підписуються по центру (див. приклад рисунку). Обов'язкове посилання на рисунок в тексті. Наприклад, ...наведено на рис.8... або (рис.8).

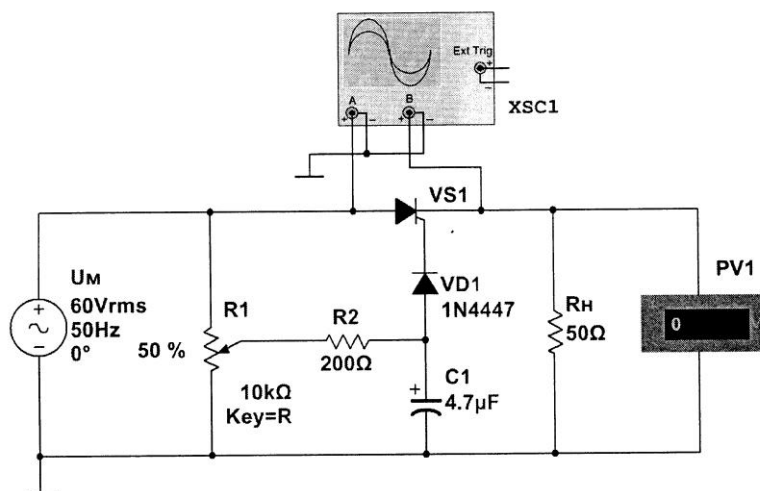


Рисунок 8 – Схема для дослідження однофазного регулятора напруги

Перелік джерел повинен відповідати вимогам ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила. URL: https://lib.zsmu.edu.ua/upload/intext/dstu_3582_2013.pdf.

Приклади оформлення наведені в відповідній літературі, наприклад в, «Приклади оформлення бібліографічного опису. URL: <https://msu.edu.ua/library/wp-content/uploads/2019/02/pryklady-oformlennja-bibliografichnoho-opysu-zhidno-dstu-8302.pdf>».

При самостійному виборі теми студенту необхідно зв'язатися з викладачем та уточнити розділи завдання (зв'язок через Telegram або e-mail).

За матеріалами роботи бажаючі можуть оформити тези на студентську конференцію «Електроніка в XXI столітті», що проводиться на РТФ. Вимоги до оформлення тез наведені в додатку Б. За участь в конференції нараховуються додаткові бали. Максимальна додаткова оцінка – 5 балів. Терміни проведення конференції визначаються керівництвом факультету.

Зразки титульної сторінки ДКР, оформлення тез за результатами матеріалів, які отримані в роботі, та приклади виконання пояснювальної записки домашньої контрольної роботи наведено в додатках А, Б, В та Г.

Для перевірки виконані ДКР надсилати на платформу Moodle «Сікорський» (<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6395>) дисципліна «Електроживлення радіоелектронної апаратури» з вказанням виду контролю, групи, прізвища. Наприклад: ДКР РЕ22 Гайдай.

7. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Браун Мартин. Источники питания. Расчет и конструирование / М. Браун: Пер. с англ. – К.; "МК-Прес", 2007.–288с., ISBN 966–8806–1–8 (рус).

2. Санджай Маниктала. Импульсные источники питания от А до Z / Маниктала Санджай: Пер. с англ. – К.: МК-Пресс, 2008. – 256 с., (рус).

3. Електроживлення радіоелектронної апаратури: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів радіотехнічного факультету спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» [Електронний ресурс]: РТФ №032/17 / Уклад.: О.М.Антонець, В.О.Дмитрук, В.О.Піддубний // КПІ ім. Ігоря Сікорського – К.: 2017. – 52 с.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Базова

1. Електроживлення радіоелектронної апаратури [Електронний ресурс]: Дистанційний курс на платформі навчання КПІ Сікорський, Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023 – URL: <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6395>.

2. Браун Мартин. Источники питания. Расчет и конструирование / М. Браун: Пер. с англ. – К.; "МК-Прес", 2007.–288с., ISBN 966–8806–1–8 (рус).

3. Санджай Маниктала. Импульсные источники питания от А до Z / Маниктала Санджай: Пер. с англ. – К.: МК-Пресс, 2008. – 256 с., (рус).

4. Електроживлення радіоелектронної апаратури: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів радіотехнічного факультету спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» [Електронний ресурс]: РТФ

№032/17 / Уклад.: О.М. Антонець, В.О. Дмитрук, В.О. Піддубний // КПІ ім. Ігоря Сікорського – К.: 2017. – 52 с.

Допоміжна

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник / За ред. Ю.Л.Мазора, Є.А.Мачуського, В.І.Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.

2. Шпіка М. І. Силові перетворювачі для автоматизованого електроприводу: конспект лекцій за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М. І. Шпіка, С. О. Закурдай, В. А. Герасименко. – Харків: Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, 2019. – 82 с. http://eprints.kname.edu.ua/55278/1/2019%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%2080%D0%9B%20%D0%A1%D0%9F_2019.pdf.

3. Елементна база радіоелектронної апаратури: В 4 ч. Ч. 2. Напівпровідники та діоди [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.О.Піддубний, І.О.Товкач. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,83 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 117 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41347/1/EBRA_2.pdf.

4. Елементна база радіоелектронної апаратури: В 4 ч. Ч. 3. Багатоперехідні структури [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.О.Піддубний, І.О.Товкач. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,09 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 134 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41348/1/EBRA_3.pdf.

5. Електротехнічні пристрої радіоелектронних засобів: монографія / Є.О.Чемес, Ю.С.Ямпольський . – Одеса: Бахва, 2014. – 563 с.

6. Вербицький Є.В. Системи електроживлення електронної апаратури. Конспект лекцій для студентів спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації 8(7).050802 «Електронні системи». – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 180 с. URL: http://ela/kpi.ua/21710/Power_Supply_Systems.pdf.

ДОДАТКИ

Додаток А

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

Національний технічний університет України
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
Радіотехний факультет
Кафедра радіотехнічних систем

Домашня контрольна робота

з дисципліни «Електроживлення радіоелектронної апаратури»

(назва роботи)

студента другого курсу, групи _____

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Перевірив: _____

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Київ – 2023

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТЕЗ**ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ
ТЕЗ**

Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та
аспірантів

«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА В ХХІ СТОЛІТТІ»

__–__ травня 202_ року

Матеріали конференції приймаються **до квітня 202_ року**, на електронну адресу **r.electronic@kpi.ua**

1. Матеріали надаються однією з двох мов – українською або англійською; у форматі ***.doc** (або ***.docx**). Приклад оформлення в кінці документау.

2. **Обсяг** матеріалів повинен становити 2 (або 3) повні сторінки формату А4 (включаючи рисунки, анотації, таблиці та перелік літератури).

4. **Поля тексту**: верхнє – 25 мм, нижнє – 30 мм, лівє – 30 мм, правє – 20 мм; абзац – 10 мм.

5. Матеріали слід оформлювати з наступними налаштуваннями текстового редактору: *шрифт TimesNewRoman, інтервал - одинарний*; розмір основного тексту - **14 nm**, для переліку літературних джерел – **12 nm**;

7. **Формули, рисунки, таблиці** повинні мати просту арабську наскрізну нумерацію. Не слід нумерувати формули, якщо на них немає посилання в тексті. При посиланні на формулу, рисунок, таблицю або літературне джерело, використовуйте наступні позначення відповідно: *(1), (1, 2); рис. 1; табл. 1; [1], [1, 2]*.

8. **Формули та позначення** набирати у редакторі формул **MathType**, версія 5 або 6, як окремий об'єкт розмірами: змінна **-14 nm**, великий індекс **-10 nm**, малий індекс **-8 nm**, великий символ **-18 nm**, малий символ **-12 nm**; кирилиця, грецька та цифри – прямі, латиниця – курсив. Великі формули повинні бути розбиті на декілька рядків.

9. **Таблиці та рисунки** повинні бути розміщені по центру. Нумерацію таблиці слід вирівняти по правому краю. Таблиці можуть мати заголовок, розміщений над таблицею. Всі зображення в документі повинні бути у форматі ***.png** або ***.jpeg** з якістю, достатньою для друку (не менше 300 dpi). Кожний рисунок має бути підписаний знизу (*TimesNewRoman*, 12 пт, в центрі, інтервал до та після підпису під рисунком **14 nm**).

10. **Перелік посилань** подається в порядку посилання та має бути оформлений згідно інформації у файлі, що додається до вимог.

Приклад оформлення

ПОКРАЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ СИМУЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ ШЛЯХОМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ ТРАНЗИСТОРІВ

Грицевич І. Р.

(Науковий керівник Піддубний В. О., к.т.н., доцент)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Радіотехнічний факультет

При проектуванні РЕА виникає необхідність налагодження апаратури спроектованої в системах автоматичного проектування (САПР).

...

Розглянемо модель (рис.1) біполярного транзистора, яка найчастіше використовується в симуляторах. Це модель Гуммеля-Пуна:

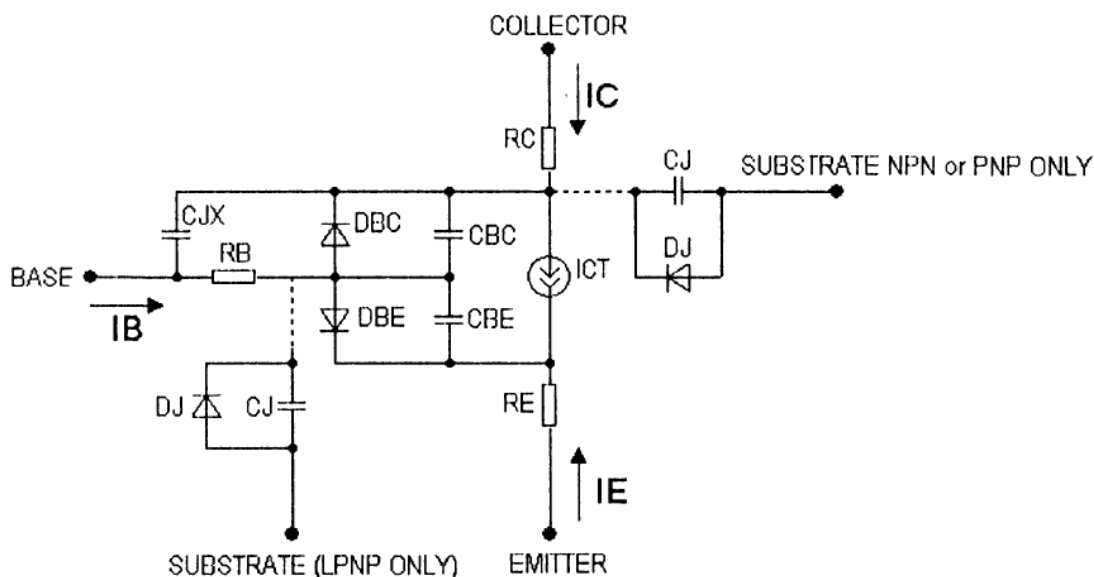


Рисунок 1 – Електрична схема моделі Гуммеля-Пуна біполярного транзистора в симуляторі Micro-Cap 8

...

Струм бази визначається як:

$$I_B = I_S \cdot \frac{\exp\left(\frac{V_{BE} - RE \cdot I_C}{NF \cdot V_T}\right) - 1}{BF} + ISE \cdot \left(\exp\left(\frac{V_{BE} - RE \cdot I_C}{NE \cdot V_T}\right) - 1 \right),$$

де I_B — струм бази, V_{BE} — напруга база-емітер, I_C — струм колектора, V_T — термальна напруга, I_S — струм насичення, NF — коефіцієнт емісії для норма-

льного режиму, RE — опір емітера, BF — ідеальний коефіцієнт підсилення струму бази, ISE — струм насичення протікання, NE — коефіцієнт емісії струму протікання емітерного переходу.

...

...

Приведемо теоретичні та експериментальні параметри транзистора BD139 (див. табл. 1):

Таблиця 1 – Результати порівнянь параметрів моделі та експериментально виміряних

Параметр	NF	RE [Ом]	IS [А]	BF	IKF [А]	VAF [В]
Теор.	1,002	0,366	$10 \cdot 10^{-15}$	200	0,560	100
Експ.	0,788	0,174	$10,45 \cdot 10^{-15}$	157,3	0,361	103

Як бачимо параметри компоненту можуть значно відрізнятися від заданих в бібліотеці САПР.

Таким чином в даній роботі було проведено
Показано, що експериментально виміряні характеристики
.....

Література

1. Грицевич І.Р. Прилад для дослідження напівпровідникових елементів / І.Р.Грицевич, В.О.Піддубний// Міжн. наук.-техн. конф. РТПСАС 2016 «Радіотехнічні поля, сигнали та системи». — Київ, 2016. — с. 63 – 65.

2. Організація відеопотоку з камери RaspberryPi для дистанційного перегляду. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <http://mikrotik.kpi.ua/index.php/courses-list/category-raspberry/73-stream-from-camera-raspberry-pi-for-remote-viewing-session-8>. Останній вхід 29.04.2017.

ПРИКЛАД ДКР (розробка ДВЕЖ)

1. Технічне завдання

В ході розробки радіопередавального пристрою було визначено основні параметри та вимоги до джерела живлення. Радіопередавальний пристрій повинен живитися від джерела живлення з постійною напругою 24 В. Стабілізацію напруги виконати через зворотний зв'язок від обмотки живлення вихідного каскаду.

Частота роботи перетворювача $f_i = 3$ кГц.

Вхідна напруга $U_{ж} = 24$ В.

Вихідні напруги та струми:

- напруга живлення вихідного каскаду $U_{вих.к} = 28$ В;
- струм живлення вихідного каскаду $I_{вих.к} = 4,8$ А;
- напруга живлення проміжних каскадів $U_{пром.к} = 28$ В;
- струм живлення проміжних каскадів $I_{пром.к} = 1,48$ А;
- напруга живлення збуджувача $U_{зб} = 5$ В;
- струм живлення збуджувача $I_{зб} = 0,1$ А.

Структурну схему джерела живлення представлено на рис.1.1.

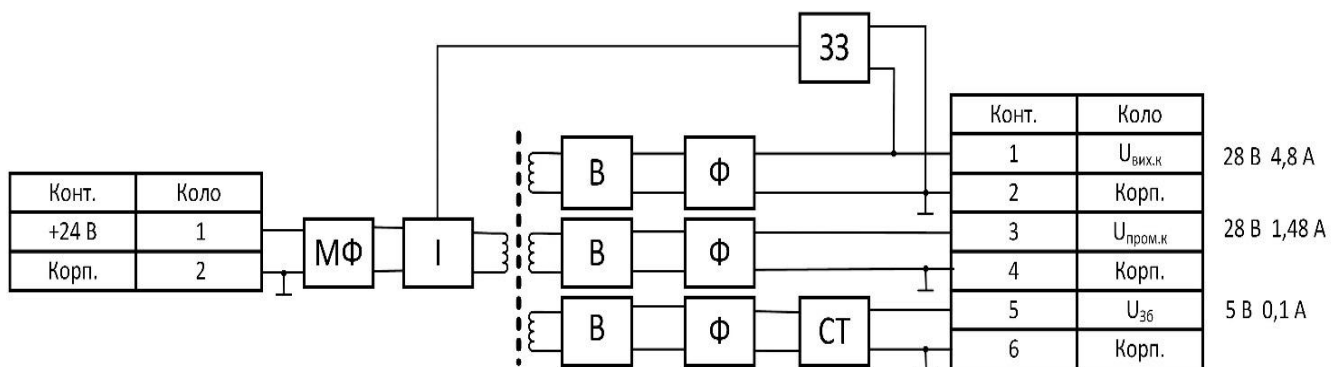


Рисунок 1.1 – Структурна схема джерела живлення

Сумарна вихідна потужність, яку повинно забезпечувати джерело живлення, становить:

$$P_{\text{вих}} = U_{\text{вих.к}} \cdot I_{\text{вих.к}} + U_{\text{пром.к}} \cdot I_{\text{пром.к}} + U_{\text{зб}} \cdot I_{\text{зб}} = 28 \cdot 4,8 + 28 \cdot 1,48 + 5 \cdot 0,1 = 176,34 \quad \text{Вт.}$$

ККД імпульсного джерела лежить в межах 0,9..0,98 [1]. Візьмемо значення $\eta_{\text{т}} = 0,94$.

Потужність трансформатора (Вт) з урахуванням ККД:

$$P_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta_{\text{т}}} = \frac{176,34}{0,94} = 187,6.$$

Середнє значення струму (А) в первинній обмотці:

$$I_1 = \frac{P_{\text{тр}}}{U_{\text{ж}}} = \frac{183,67}{24} = 7,816.$$

2. Вибір силових елементів з необхідними параметрами

Як силові елементи перетворювача можна використовувати біполярні і польові транзистори. Вибір транзисторів залежить від сили струму в первинній обмотці трансформатора, напруги живлення та частоти роботи перетворювача. При використанні в перетворювачі схеми Push-Pull необхідно врахувати, що напруга на колектор-емітер біполярного транзистора (стік-витік для польового транзистора), за рахунок наявності індуктивності розсіювання трансформатора, буде дорівнювати подвійній напрузі живлення.

$$U_{\text{ке}} = 2 \cdot U_{\text{ж}} = 2 \cdot 24 = 48 \text{ В.}$$

Виберемо транзистор типу КТ819Б. Параметри транзистора вказано в табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Граничні експлуатаційні параметри транзистора КТ819Б

Постійна напруга база-емітер	5 В
Постійна напруга колектор-емітер	50 В
Постійний струм колектора	10 А
Імпульсний струм колектора при $t_i \leq 10$ мс	15 А
Постійний струм бази	3 А
Постійна потужність розсіювання колектора	60 Вт
Статичний коефіцієнт передачі струму в схемі СЕ	20
Гранична частота коефіцієнта передачі струму в схемі СЕ	5 МГц

Обчислимо значення струму бази ключевих транзисторів (для кожного), яке буде забезпечувати необхідне значення струму колектора.

Базовий струм I_6 (А), що буде протікати через кожен ключовий транзистор, буде дорівнювати:

$$I_6 = \frac{I_{тр}}{\beta} = \frac{7,816}{20} = 0,391$$

де β – коефіцієнт передачі струму транзистора в схемі зі спільним емітером, $I_{тр} = I_1$.

3. Вибір топології схеми перетворювача та ШІМ-контролера

Виберемо схему Push-Pull, яка є найпростішою та в повній мірі задовільняє параметрам, які необхідно виконати у технічному завданні. Типова схема Push-Pull представлена на рис 3.1.

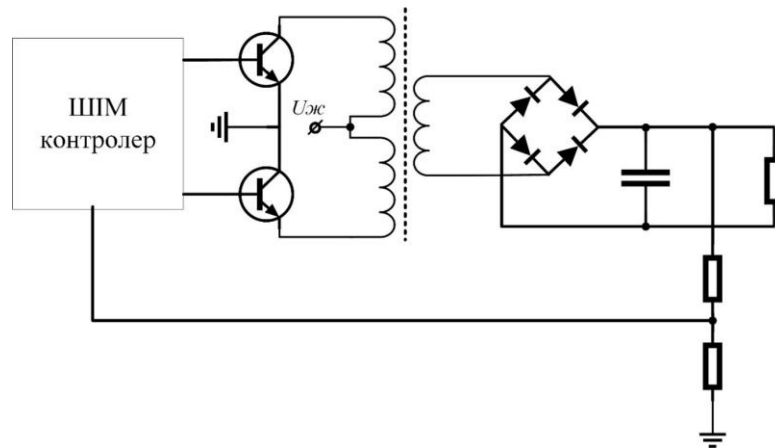


Рисунок 3.1 – Типова Push-Pull схема

Як мікросхему ШІМ-контролера використаємо ІС типу TL494.

Мікросхема TL 494 виготовлена на одному кристалі і включає в себе всі необхідні вузли для побудови схеми управління з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). TL 494 містить два підсилювача помилки, внутрішній регульований генератор, керований компаратор тимчасової затримки, імпульсно керований перемикач, джерело опорного напруги $5\text{ В} \pm 5\%$, схему контролю струму вихідного кола. Структурна схема TL494 представлена на рис.3.2.

На виході підсилювачів сигналу помилки виникає синфазна напруга V_{ss} , яка змінюється в діапазоні від $-0,3\text{ В}$ до $-2,0\text{ В}$. Компаратор часу затримки має фіксоване зміщення, що дає 5% часову затримку. Внутрішній генератор можна виключити шляхом відключення виводу RT і підключення пилкоподібної на-

пруги до виводу СТ. Це застосовується для синхронізації декількох джерел.

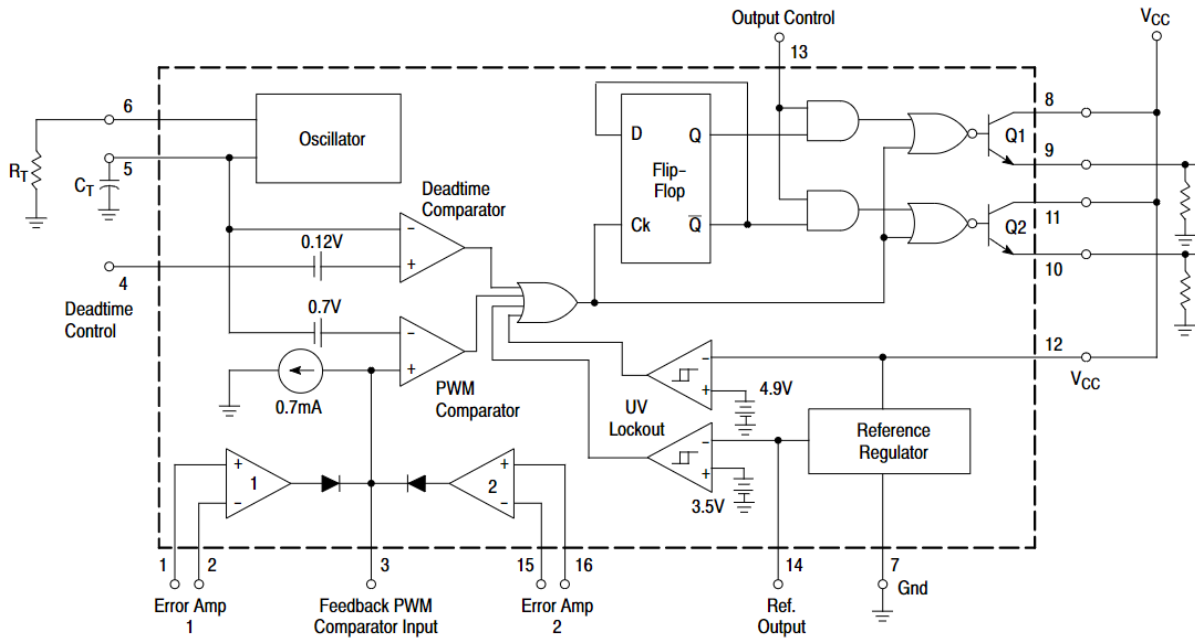


Рисунок 3.2 – Структурна схема TL494 [3]

Вихідні транзистори дозволяють підключати навантаження за схемою з спільним емітером чи за схемою емітерного повторювача. Вихідний каскад мікросхем TL494 працює в однотактному або двотактному режимі з можливістю вибору режиму за допомогою спеціального входу. Розташування виводів наведено на рис.3.3.

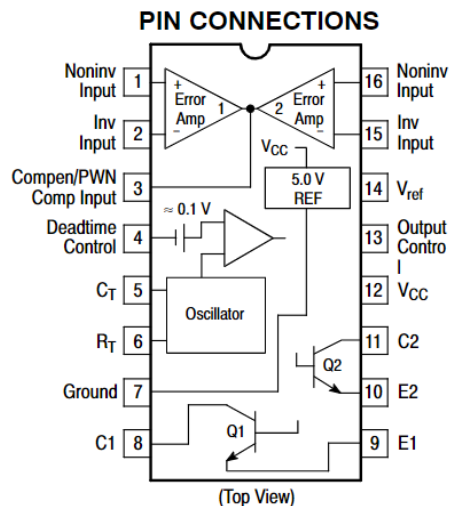


Рисунок 3.3 – Розташування виводів мікросхеми TL494

В табл.3.2 приведено призначення виводів мікросхеми, а в табл.3.3 – основні її експлуатаційні параметри.

Таблиця 3.2 – Призначення виводів мікросхеми TL494

Вивід		Опис
Назва	Номер	
1IN+	1	Неінвертуючий вхід підсилювача помилки 1
1IN-	2	Інвертуючий вхід підсилювача помилки 1
2IN+	16	Неінвертуючий вхід підсилювача помилки 2
2IN-	15	Інвертуючий вхід підсилювача помилки 1
C1	8	Колектор вихідного транзистора (БТ) 1
C2	11	Колектор БТ 2
CT	5	Підключення частотнозадаючого конденсатора
DTC	4	Вхід компаратора затримки часу
E1	9	Емітер БТ 1
E2	10	Емітер БТ 2
FEEDBACK	3	Вивід для зворотного зв'язку
GND	7	Спільний
OUTPUT CTRL	13	Вибір режиму роботи
REF	14	Опорна напруга 5В
RT	6	Підключення резистора для встановлення частоти
V _{CC}	12	Напруга живлення (+)

Таблиця 3.3 – Основні технічні характеристики мікросхеми TL494

Параметр	Мін.	Макс.	Од. вим.
V _{CC} , напруга живлення	7	40	В
V _I , напруга на вході підсилювача	-0,3	V _{CC} - 2	В
V _O , напруга на колекторі		40	В
Струм колектора (кожного транзистора)		200	мА
F _{osc} , частота генератора	1	300	кГц
C _T , ємність конденсатора генератора	0,47	10000	нФ
R _T , опір резистора генератора	1,8	500	кОм

Як було розраховано в попередньому розділі струм бази транзисторів складає $I_b = 0,391$ А. Це більше ніж значення максимального струму (0,2 А), який можна отримати виході вбудованих транзисторів мікросхеми. Тому ключові транзистори не можна безпосередньо під'єднувати до ШІМ-контролера. У цьому випадку необхідно використовувати узгоджувальний каскад. Він може бути виконаний на транзисторах або трансформаторі. Узгодимо вихід контролера з ключами за допомогою трансформатора (рис.3.4).

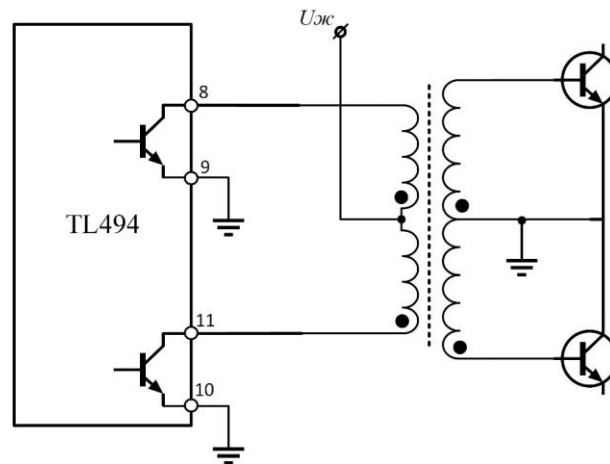


Рисунок 3.4 – Узгоджувальний каскад на трансформаторі

Імпульсний трансформатор має первинну обмотку з відводом від середньої точки. А комутація струму в обмотці здійснюється внутрішніми вихідними транзисторами ШІМ-контролера. Вихідні транзистори ШІМ-контролера включимо за схемою з спільним емітером.

В ТЗ вказано, що зворотній зв'язок для стабілізації напруги повинен здійснюватися з вторинної обмотки, що живить вихідний каскад радіопередавального пристрою.

Для забезпечення стабілізації напруги необхідно з виводу 14 контролера ШІМ подати опорну напругу +5 В на вивід 2, а з вторинної обмотки, після випрямляча через подільник, подати напругу +5 В на вивід 1 контролера.

Обчислимо номінали резисторів подільника. Для напруги $U_d = 5$ В при напрузі $U_{вих.к} = 28$ В опори резисторів становлять $R_1 = 15890$ Ом, $R_2 = 3454$ Ом.

У відповідності до стандартного номінального ряду E24 опори резисторів оберемо $R_1 = 16$ кОм, $R_2 = 3,3$ кОм. Для корекції послідовно з опором R_2

під'єднаємо підстроювальний резистор R_3 номіналом 5 кОм (рис.3.5).

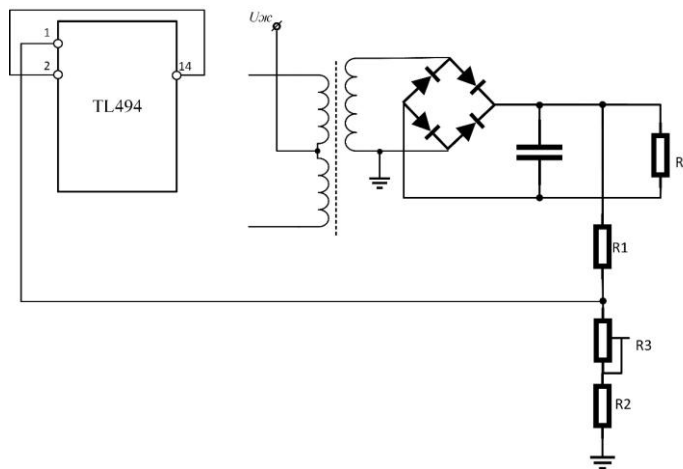


Рисунок 3.5 – Схема ввімкнення дільника зворотного зв'язку

Визначимо номінальні значення резистора та конденсатора в частотозадавальній ланці.

Для цього можна використати номограму представлену на рис.3.6, або

скористатися формулою $f_{osc} = \frac{1}{R_T \cdot C_T}$.

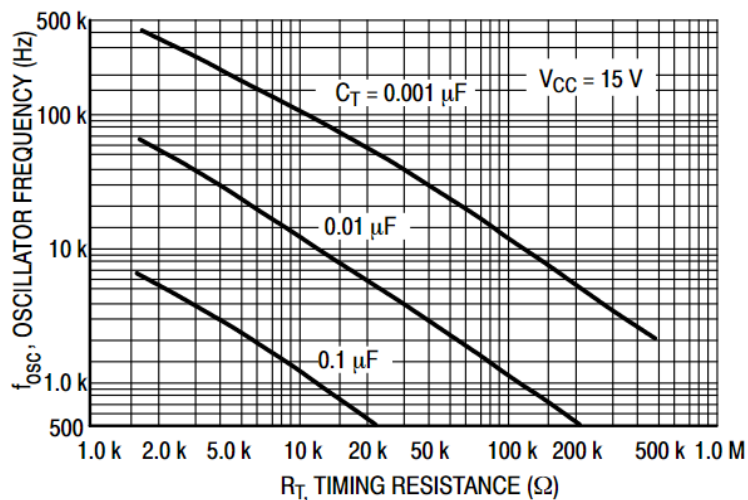


Рисунок 3.6 – Номограма залежності частоти ШІМ-контролера від номіналів опору та ємності [2]

Для обраної частоти роботи перетворювача $f_{osc} = 3$ кГц номінали резистора та конденсатора становлять $R_T = 3335$ Ом, $C_T = 100$ нФ. У відповідності до номінального ряду E24 оберемо $R_T = 3$ кОм та для корекції частоти послідовно з опором R_T додамо підстроювальний резистор номіналом 5 кОм.

Принципова електрична схема блока живлення представлена на рис.3.7.

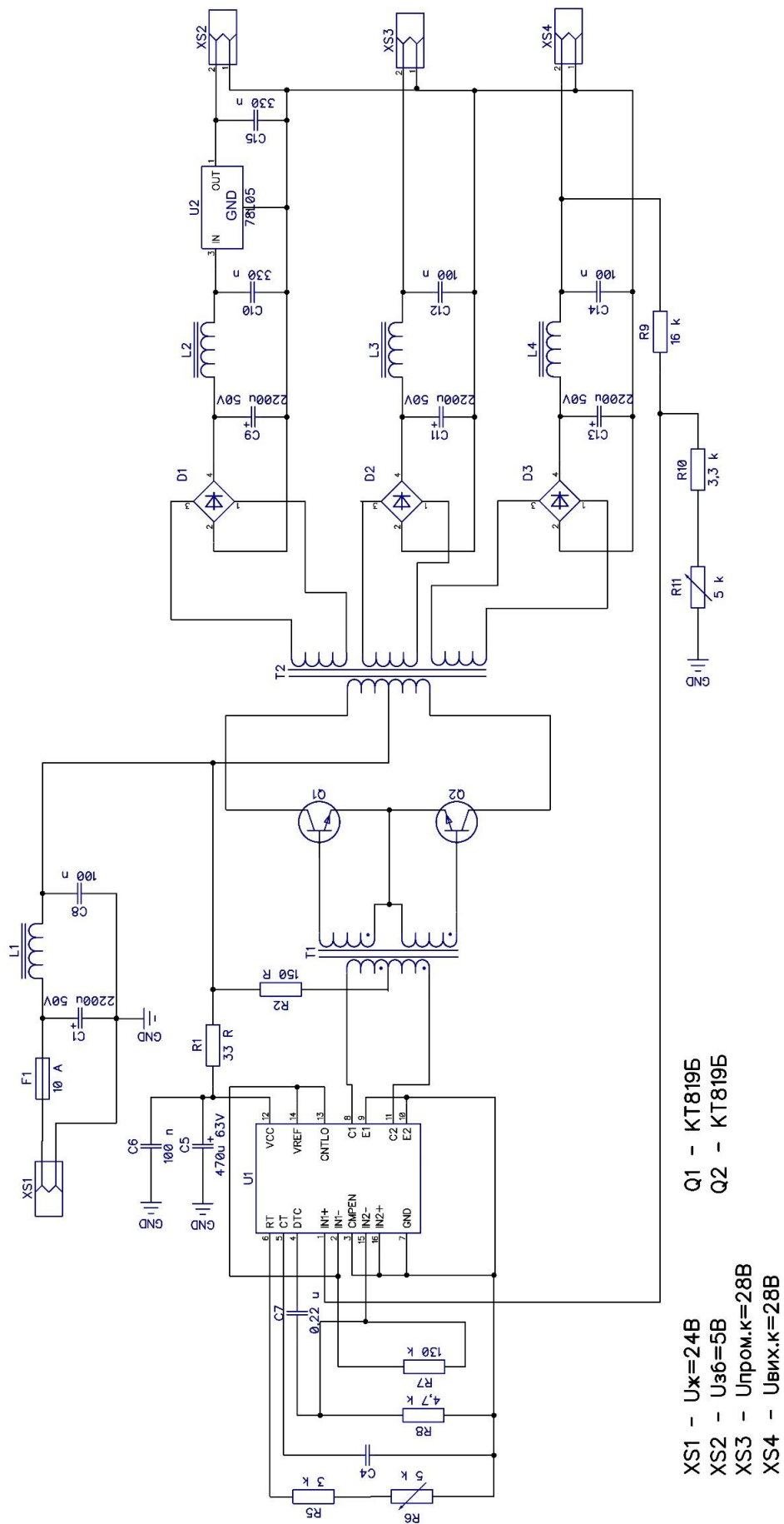


Рисунок 3.7 – Принципова схема джерела живлення

Розрахунок імпульсного трансформатора

Кількість витків обмоток трансформатора визначається напругами первинної та вторинної (чи кількох вторинних) обмоток, а також параметрами, що характеризують магнітні властивості та геометрію магнітопроводу.

Переріз проводу обмоток залежить від діючих значень струму та допустимої його густини, яка визначається класом нагрівостійкості ізоляції та умовами охолодження обмоток.

На розміри магнітопроводу в першу чергу впливають потужність, на яку розраховується трансформатор (визначає типорозмір осердя), діючі значення напруги (визначає кількість витків) і струму (визначає переріз проводу).

Типорозмір магнітопроводу вибирається за значенням розрахункової (габаритної) потужності з урахуванням розміщення на його осерді та у вікні потрібної кількості витків проводу в ізоляції.

Для визначення розміру осердя магнітопроводу, необхідно виконання наступної умови:

$$S_{\text{по}} \cdot S_{\text{во}} \geq \frac{10^2 \cdot P}{2 \cdot k_{\phi} \cdot k_{\text{в}} \cdot \sigma \cdot f \cdot B_{\text{max}}} (\text{см}^4),$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт форми напруги (для прямокутної форми $k_{\phi} = 1$), $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт заповнення вікна міддю ($k_{\text{в}} = 0,25$), σ – густина струму ($\sigma = 3 \text{ А/мм}^2$), B_{max} – максимальне значення магнітної індукції (для сталі $B_{\text{max}} = 0,8 \dots 1,2 \text{ Тл}$, для феритів $B_{\text{max}} = 0,15 \dots 0,25 \text{ Тл}$).

На частотах до 10 кГц як матеріал осердя використовується сталь, а на вищих частотах – ферити.

Для вказаних параметрів трансформатора:

$$S_{\text{по}} \cdot S_{\text{во}} \geq \frac{10^2 \cdot P}{2 \cdot k_{\phi} \cdot k_{\text{в}} \cdot \sigma \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^2 \cdot 187,596}{2 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 5,211 (\text{см}^4).$$

Як осердя трансформатора виберемо стрічковий кільцевий магнітопровід ОЛ25/40-20. Розміри стандартних стрічкових магнітопроводів наведено в табл.3.1. Конструкція магнітопроводу зображена на рис.3.1.

Таблиця 3.1 – Розміри стандартних стрічкових магнітопроводів

Тип	d мм	D , мм	b , мм	Середня довжина магнітної лінії, см
ОЛ	10	16	4; 5; 6,5; 8	4
	12	20	5; 6,5; 8; 10	5
	16	26	6,5; 8; 10; 12,5	6,5
	20	32	8; 10; 12,5; 16	8,1
	25	40	10; 12,5; 16; 20; 25	10,2
	32	50	16; 20; 25; 32	12,8
	40	64	20; 25; 32; 40	16,3
	50	80	25; 32; 40; 50	20,4
	64	100	32; 40; 50; 64	25,8
	80	128	40; 50; 64; 80	32,6

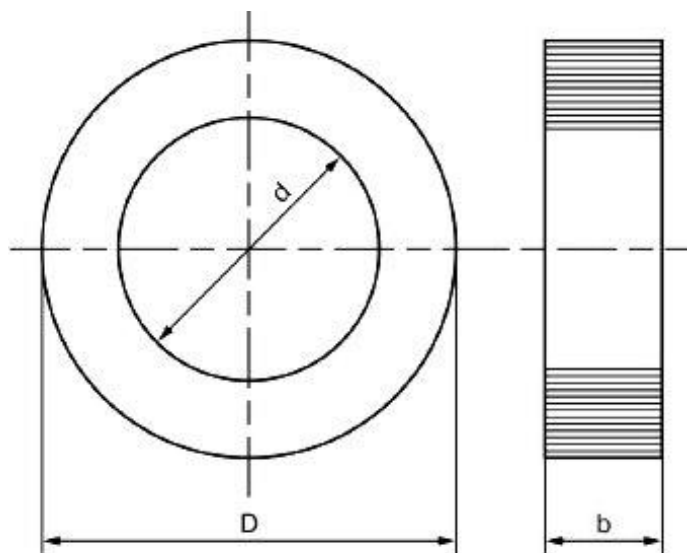


Рисунок 3.1 – Торіодальний стрічковий магнітопровід трансформатора

Обчислимо площу перерізу осердя:

$$S_{\text{но}} = \frac{b \cdot (D - d)}{2} = 1,5(\text{см}^2).$$

Обчислимо площу вікна осердя:

$$S_{\text{во}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4,909(\text{см}^2).$$

Визначимо добуток площі перерізу осердя на площу вікна:

$$S_{\text{по}} \cdot S_{\text{во}} = 1,5 \cdot 4,909 = 7,363(\text{см}^4).$$

Як видно з розрахунків $7,363 \text{ см}^4 > 5,211 \text{ см}^4$, умова виконується.

Визначимо число витків первинної обмотки трансформатора:

$$W_1 = \frac{10^4 \cdot U_{\text{ж}}}{4 \cdot k_{\phi} \cdot S_{\text{по}} \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^4 \cdot 24}{4 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 17.$$

Оскільки блок живлення побудований за топологією Push-Pull, то первинна обмотка складатися з двох однакових обмоток по 17 витків. Намотку первинної обмотки можна провести в два дроти, намотавши 17 витків. Один з кінців обмоток з'єднуються між собою, утворюючи середню точку первинної обмотки трансформатора, до якої буде підведено живлення трансформатора.

Трансформатор має три вторинних обмоток (обмотки 2, 3 та 4). Обчислимо кількість витків для кожної вторинної обмотки:

$$W_2 = \frac{10^4 \cdot U_{\text{вих.к}}}{4 \cdot k_{\phi} \cdot S_{\text{по}} \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^4 \cdot 28}{4 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 20,$$

$$W_3 = \frac{10^4 \cdot U_{\text{пром.к}}}{4 \cdot k_{\phi} \cdot S_{\text{по}} \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^4 \cdot 28}{4 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 20.$$

Для вторинної обмотки, що буде живити збуджувач, оберемо значення $U_{\text{зб}} = 7 \text{ В}$, оскільки у цьому джерелі буде використовуватися лінійний стабілізатор напруги.

$$W_4 = \frac{10^4 \cdot U_{\text{зб}}}{4 \cdot k_{\phi} \cdot S_{\text{по}} \cdot f \cdot B_{\text{max}}} = \frac{10^4 \cdot 7}{4 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 5.$$

Визначимо мінімальну площу перерізу дроту для кожної обмотки $q = \frac{I_1}{\sigma}$

та обчислемо діаметри дротів $d = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi}}$. Густина струму вибираємо $\sigma = 3 \text{ А/мм}^2$.

Результати розрахунків зводимо в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку діаметру дроту обмоток

№ п/п	Обмотка	Струм, А	Площа перерізу, мм ²	Розрахунковий діаметр, мм	Вибраний діаметр, мм	Густина струму, А/мм ²
1	Первинна	7,816	2,605	1,821	1,9	2,76
2	Вихідного каскаду	4,6	1,6	1,427	1,5	2,72
3	Проміжного каскаду	1,48	0,493	0,795	0,8	2,94
4	Збуджувача	0,1	0,033	0,206	0,21	2,89

Обмотки імпульсного трансформатора повинні бути електрично міцними, тобто ізоляція обмоток повинна без пошкоджень витримувати тривалий вплив номінальних робочих напруг та короткочасний вплив підвищених напруг в можливих аварійних станах. Вони повинні бути міцними механічно, тобто витримувати вібрації та вплив значних електродинамічних сил, які виникають при коротких замиканнях кола навантаження.

В даному випадку при виборі обмотувального дроту доцільно використати провід ПЕВ-1. При виборі користуємося матеріалами [3,4].

1. Список використаної літератури

1. Браун Мартин. Источники питания. Расчет и конструирование / М. Браун: Пер. с англ. – К.: «МК-Прес», 2007.– 288 с., ISBN 966–8806–1–8 (рус).
2. Switch mode Pulse Width Modulation Control Circuit TL494 (технічні характеристики) [Електронний ресурс]: URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1457748/ONSEMI/TL494.html> – Назва з екрана.
3. Провід для обмоток котушок і трансформаторів [Електронний ресурс]: URL: <https://www.tor-trans.com.ua/ua/transwire.html> – Назва з екрана.
4. Выбор провода для трансформатора по току в нагрузке. [Електронний ресурс]: URL: <https://radiostorage.net/1136-vybor-provoda-dlya-transformatora-po-toku-v-nagruzke.html> – Назва з екрана.

ПРИКЛАД ДКР (розробка вузла ДВЕЖ)

Розділи та їх наповнення визначаються викладачем по узгодженню зі студентом

ВСТУП

Зараз в більшості приладів нікель-кадмієві акумулятори замінені на літій-іонні. Вони мають більшу ємність, менший саморозряд, не мають ефекту пам'яті та мають меншу масу ніж нікель-кадмієві, але дуже чутливі до глибокого розряду та перезаряду. Діапазон напруги лежить в межах від 2,5 В (повністю розряджений) до 4,2 В (повністю заряджений). Перезаряд навіть на 0,05 В негативно відображається на ємності акумулятора, тому для заряду li-ion акумуляторів використовуються контролери заряду, які встановлюють оптимальні значення напруги та струму заряду.

Контролери заряду використовують різні методи заряду акумуляторів з різними часовими періодами подання напруги (профілю зарядки), що впливає на швидкість заряду акумулятора та його стан.

Для підвищення напруги акумулятори з'єднують послідовно в батарею. Для рівномірного заряду кожного із акумуляторів батареї використовують плати балансування, які розподіляють заряд між кожним li-ion елементом.

1. КЕРУВАННЯ ЗАРЯДОМ АКУМУЛЯТОРА

Існують різні методи зарядки акумуляторів [1]. Це – методи без зворотного зв'язку, зі зворотнім зв'язком та інтелектуальні.

Методи зарядки без зворотного зв'язку – це методи керування з розімкнутим контуром, які зазвичай зустрічаються в системах лінійної та імпульсної зарядки.

Методи зарядки зі зворотним зв'язком використовують структуру керування із замкненим циклом для моніторингу перемикання режимів роботи зарядних пристроїв.

Інтелектуальні методи зарядки користуються алгоритми відстеження напруги та струму та корегують їх в залежності від ступеня зарядки.

Акумуляторні батареї – це послідовно або паралельно з'єднані елементи. При їх зарядці необхідно слідкувати за станом заряду кожного елемента акумуляторної батареї. Профіль зарядки буде визначатися струмом, напругою та часом заряду та розряду акумулятора.

2. ЗАРЯДКА БЕЗ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Методи зарядки без зворотного зв'язку поділяються на три основні групи: постійний струм (CC), постійна напруга (CV) і постійна напруга-постійний струм (CC-CV).

Метод CC

Схема зарядки CC – це простий метод зарядання акумуляторів постійним струмом до досягнення повного заряду в кінці циклу зарядки. Як тільки час зарядки досягає попередньо визначеного порогу, заряд припиняється. Поведінка акумулятора під час зарядки CC сильно залежить від зарядного струму. При великому струмі зарядки акумулятор може перегріватися, що негативно впливає на його ємність. Тому дуже важливо знайти такий зарядний струм, який оптимізує швидкість зарядки та стан акумулятора.

Метод CV

Зарядка методом CV застосовує для зарядки постійну напругу. Крім уникнення перенапруги та незворотних побічних реакцій, ще одна його перевага полягає в тому, що при такому методі зарядки термін служби батареї продовжується. Але цей метод потребує великого значення струму на початку зарядку, що є досить шкідливим для акумулятора.

Метод CC-CV

Поєднання режимів зарядки CC та CV створили метод зарядки під назвою CC-CV. В алгоритмі CC-CV батарея спочатку заряджається з постійним невеликим струмом до заданої максимальної напруги, а потім напруга заряду залишається постійною до тих пір, поки не буде досягнутий заданий мінімальний струм. Профіль стандартної зарядки CC-CV показаний на рис. 2.1 ($t_{\min} \approx 2,5$ години).

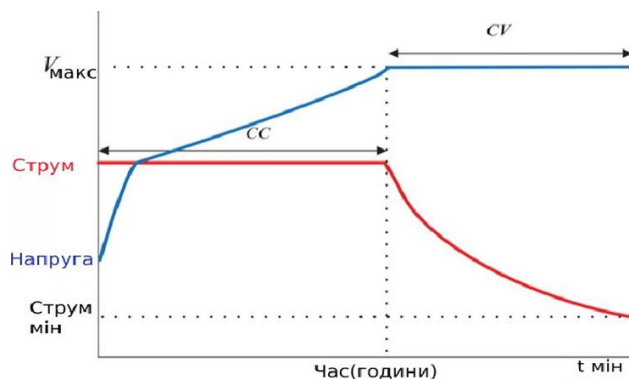


Рисунок 2.1 – Профіль заряду для методу CC-CV

В алгоритмах зарядки CC-CV ступені CC і CV певним чином доповнюють один одного, при цьому втрата ємності через високий електрохімічний поляризаційний потенціал на стадії CC ефективно компенсується відповідним великим потенціалом електрохімічної поляризації на стадії CV.

Таким чином, метод зарядки CC-CV має кращі характеристики ніж кожен з методів використаних окремо. Він обраний як еталон для оцінки ефективності різних підходів до зарядки акумулятора. Хоча стандартний метод зарядки CC-CV є відносно простим, проблемою є вибір оптимального значення постійного струму на етапі CC та постійної напруги на етапі CV.

Загальний час зарядки при методі CC-CV залежить від ємності акумулятора та значення зарядного струму в режимі CC. В режимі CC термін служби батареї та ефективність зарядки збільшуються, якщо зарядний струм зменшується. Крім того, батареї, які заряджені за алгоритмом CC-CV, не потребують для управління процесом зарядки мікроконтролерів. Потрібні лише датчик напруги, струму та температури. Отже, алгоритм зарядки CC-CV простий у реалізації.

Метод CC-CV з попереднім зарядом

Якщо акумулятор має дуже низький заряд, то зарядку починають малим струмом, що покращує стан акумулятора та може захистити акумулятор від перегріву та займання, якщо він має низьку напругу через несправність. Це удосконалений метод CC-CV з попереднім зарядом.

Метод РС

РС (Pulse Current) – це метод зарядки, що використовує безперервні в часі імпульси струму з заданою шириною імпульсу до того часу поки акумулятор повністю не зарядиться. Відповідно, зарядний струм періодично переривається з короткими інтервалами відпочинку або імпульсами розряду (рис. 2.2).

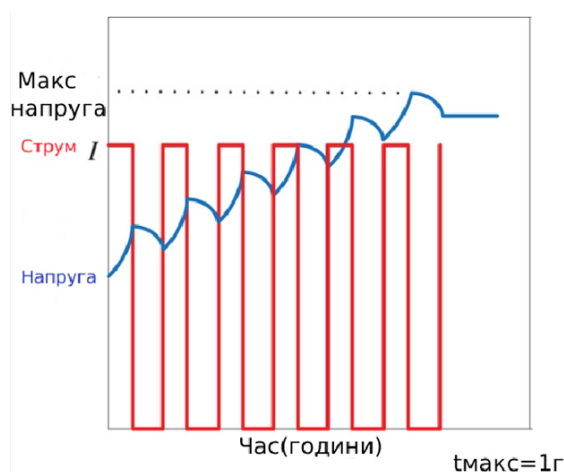


Рисунок 2.2 – Профіль заряду для методу РС

Метод призначений для зниження концентраційної поляризації шляхом зменшення ризику виникнення негативного анодного потенціалу в локальному об'ємі акумулятора.

Метод ВС

Метод заряду ВС (boost current) схожий на метод CC-CV, але має додаткові інтервали зарядки на початку процесу (рис. 2.3).

Це дозволяє зарядному пристрою більш довго заряджати акумулятор на максимальному струмові. Процес зарядки характеризується високим середнім струмом на ранніх стадіях. На завершальних стадіях зарядка переходить в режим CC-CV.

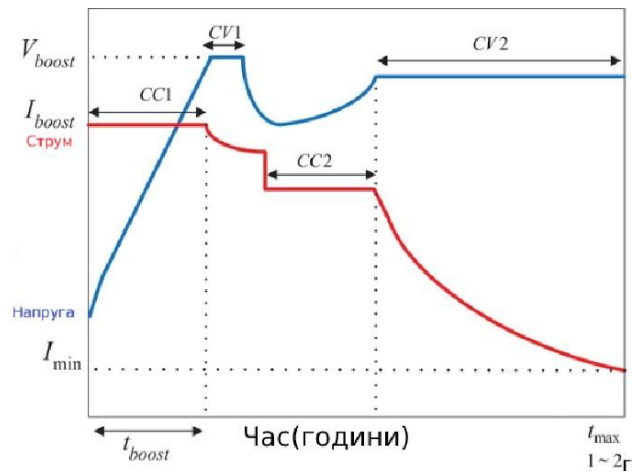


Рисунок 2.3 – Профіль заряду для методу ВС

3. ЗАРЯДКА ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ

Метод зарядки зі зворотнім зв'язком дозволяє вибрати оптимальну швидкість зарядки батареї шляхом контролю напруги поляризації. Він більш складний і розглядати його в даній роботі не будемо.

4. БАЛАНСУВАННЯ ПОСЛІДОВНО З'ЄДНАНИХ АКУМУЛЯТОРІВ

Існує два основних методи балансування: пасивне балансування та активне балансування.

Пасивне балансування

Пасивне балансування – це перенесення зайвої енергії з зарядженого акумулятора на резистор, який просто розсіює її. Це не ефективний метод балансування. Чим більше на резисторі розсіюється енергії тим більше нагріваються складові елементи схеми, і тим гірше стає балансування.

Активне балансування

На відміну від пасивного балансування, активне балансування перерозподіляє енергію з акумулятора з підвищеним зарядом до тих, що мають нижчий рівень заряду. Енергію акумулятора з вищим рівнем заряду подають на конден-

сатор, а потім конденсатор переключасться до акумулятора з нижчим рівнем заряду.

5. КОНТРОЛЕРИ ЗАРЯДУ

Контролера заряду на мікросхемі LTC4054

Мікросхема LTC4054 – це лінійний зарядний пристрій, який за методом заряду «постійний струм-постійна напруга» заряджає акумулятор до напруги 4,2 В (рис.5.1).

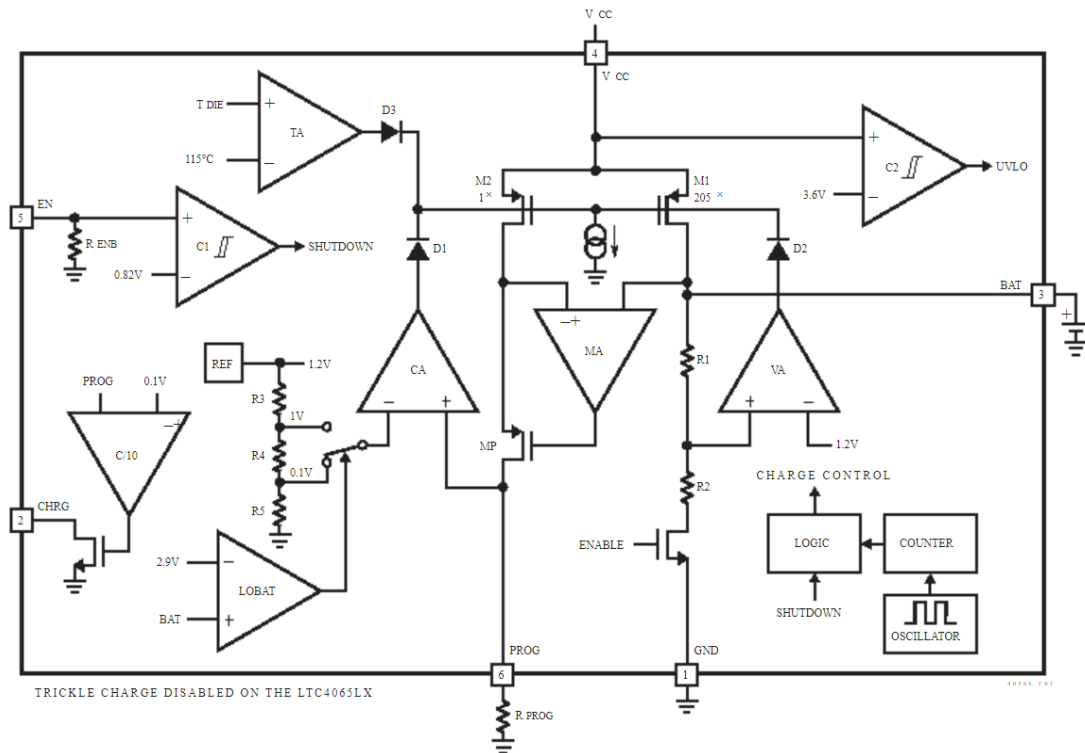


Рисунок 5.1 – Структурна схема контролера LTC4054

Призначення виводів мікросхеми наступне: Vcc – вхід живлення з діапазоном напруг 4,5...6,5 В, GND – місце підключення до «землі», контакт PROG – підтягується до нульового потенціалу резистором, що регулює струм заряду, та контакт BAT – плюсова клемма акумулятора. Даний контролер не захищає акумулятор від мінімального рівня заряду та не контролює струм розряду.

Профіль зарядки показаний на рис.5.2. Заряд припиняється при досягненні струму в 60 мА.

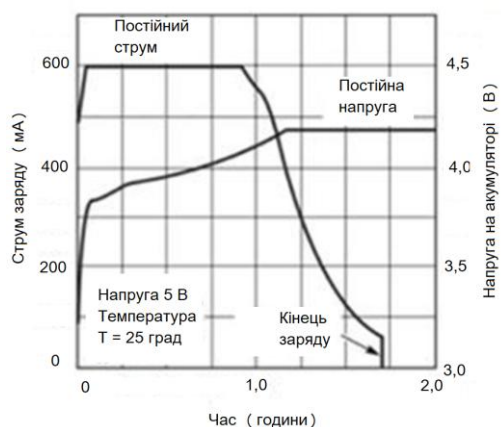


Рисунок 5.2 – Профіль заряду контролера LTC4054

Контролер заряду на мікросхемі MP2611

MP2611 – це комутаційний зарядний пристрій з вбудованими силовими МОН-транзисторами (рис.5.3). Він розрахований на роботу з одним акумулятором. Метод заряду «постійний струм - постійна напруга». Якщо на акумуляторі низька напруга контролер починає заряд низьким струмом (10 % від максимально заданого) і при заряді 3 В починає заряджати акумулятор максимально заданим струмом рис.5.4.

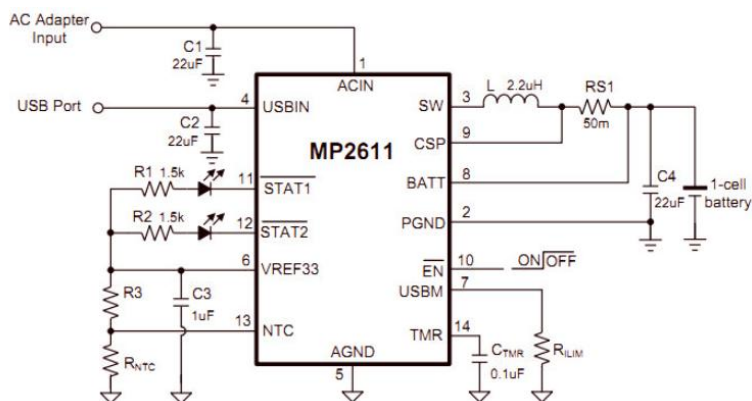


Рисунок 5.3 – Схема ввімкнення контролера MP2611

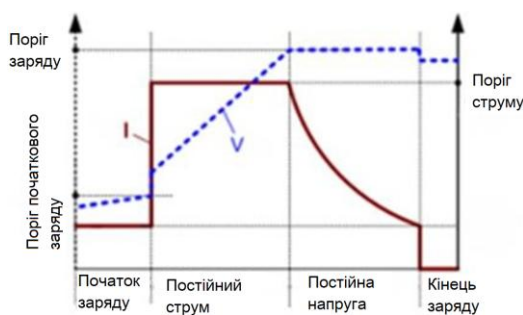


Рисунок 5.4 – Профіль заряду контролера MP2611

Контролер вимірює температуру акумулятора і при її перевищенні припиняє його заряд.

Контролер заряду декількох акумуляторів

Для зарядки декількох акумуляторів використовується контролер LTC4012 (рис.5.5). Діапазон вхідної напруги складає 6...28 В. Вихідну напругу можна регулювати в діапазоні 2...28 В.

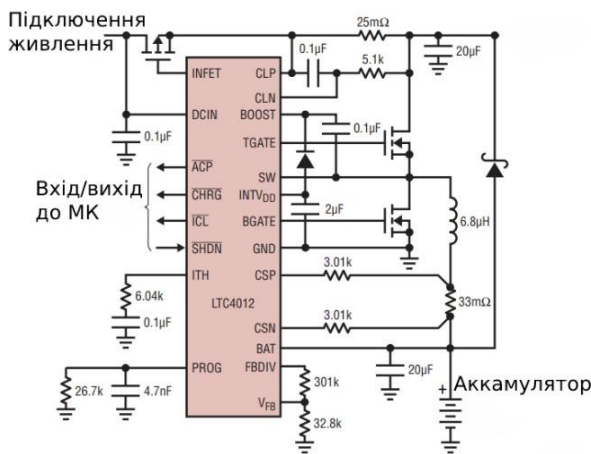


Рисунок 5.5 – Схема контролера на базі мікросхеми LTC4012

ВИСНОВКИ

Існує велика кількість контролерів заряду акумуляторів, які мають різні напруги живлення та максимально допустимі струми. Вони мають можливість регулювати діапазон вихідної напруги та дозволяють заряджати послідовно з'єднані акумулятори.

Схеми балансування та захисту, які підключаються між контролером заряду та акумулятором, захищають батарею акумуляторів від перевищення вихідного струму та низької напруги на батареї, балансують заряд між акумуляторами батареї. Активне балансування є більш ефективним ніж пасивне але складніше в реалізації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1.
2.