

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА НА ТЕМУ:

**«Імпульсне джерело живлення з фіксацією параметрів
струму і напруги»**

Завідуючий кафедрою

Опанасюк А. С.

**Керівник
кваліфікаційної роботи**

Новгородцев А. І.

**Консультант
з економічної частини**

Маценко О. М.

**Виконав студент
гр. ЕСм –01**

Бабак І. О.

Суми 2021 р.

Сумський державний університет
Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки»
Спеціальність 171 «Електроніка»
Освітня програма „Електронні системи та компоненти”

Затверджую:
Зав. кафедрою ЕКТ
Опанасюк А. С.
„_____” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Бабаку Ігорю Олеговичу

Тема кваліфікаційної роботи: «Імпульсне джерело живлення з фіксацією параметрів струму і напруги»

Затверджена наказом по університету від „_____” _____ 2021 р. № _____
Термін виконання роботи: 15 .12. 2021 р.

Початкові дані до роботи:

- напруга живлення пристрою, В +5В, +12В;
- максимальна напруга на виході стабілізатора 16 В;
- максимальний вихідний струм 2,0 А;
- автоматичне обмеження струму навантаження;
- завдання режимів роботи пристрою;
- пристрій реалізувати на мікроконтролері;
- керування ключами силового блоку сигналами ШІМ.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- огляд існуючих пристроїв за даним напрямком проектування;
- розробка алгоритму функціонування системи;
- розробка структурної схеми системи;
- розробка та розрахунок принципової схеми системи.

Перелік графічного матеріалу:

- креслення схеми алгоритму;
- креслення схеми електричної структурної;
- креслення схеми електричної принципової.

Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділи	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко- економічна частина	Маценко О. М.		

Дата видачі завдання 20.09. 2021 р.

Керівник роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Перелік етапів виконання роботи:

Термін виконання:

- | | |
|------------------------------------------------------|----------------|
| 1.Огляд літератури та постановка задачі проектування | 15.10. 2021 р. |
| 2. Науково-дослідницька частина | 20.10. 2021р. |
| 3. Розробка алгоритму функціонування | 25.10. 2021 р. |
| 4. Розробка та обґрунтування структурної схеми | 30.10. 2021 р. |
| 5. Розробка та розрахунок принципової схеми | 15.11. 2021 р. |
| 6.Техніко-економічна частина | 25.11. 2021 р. |
| 7. Оформлення пояснювальної записки | 30.11. 2021 р. |
| 8. Оформлення креслення та слайдів | 10.12. 2021 р. |
| 9. Представлення роботи на рецензування | 15.12. 2021 р. |

Студент _____

Керівник роботи _____

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Огляд існуючих пристроїв за вибраним напрямом проектування	6
1.1 Принципи перетворення енергії споживачам	6
1.2 Імпульсні стабілізатори постійної напруги	10
2 Науково-дослідницька частина	17
2.1 Принципи стабілізації вихідної напруги імпульсного перетворювача	17
2.2 Порівняння лінійного та імпульсного способів перетворення	22
2.3 Принципи роботи імпульсних перетворювачів	25
3 Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми пристрою	32
3.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою	32
3.2 Розробка структурної схеми пристрою	33
4 Розробка та розрахунок принципової схеми пристрою	35
4.1 Вибір елементної бази	35
4.2 Розрахунок основних вузлів принципової схеми	47
5 Техніко-економічна частина	50
5.1 Розрахунок собівартості виготовлення пристрою	50
Висновки	56
Література	57
Додатки	

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Бабак				Імпульсне джерело живлення з фіксацією параметрів струму і напруги. Пояснювальна записка.	Лит.	Лист	Листов
Проверил	Новгородцев						3	70
Реценз.						СумДУ, гр. ЕСм-01		
Н. Контр.	Гапич							
Утверд.	Опанасюк							

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 70 сторінок тексту, 35 малюнків, 9 таблиць, вступ і 5 розділів тексту.

Графічна частина роботи містить алгоритм, структурну і принципову схеми.

У першому розділі проведений огляд літературних джерел по обраному напрямку проектування.

Другий розділ містить науково-дослідницьку частину роботи.

Третій розділ містить розробку алгоритму функціонування і структурної схеми пристрою.

Четвертий розділ присвячений розробці та розрахунку принципової схеми пристрою.

П'ятий розділ містить розрахунок собівартості виготовлення пристрою.

По результатам проектування, зроблені висновки.

Наведено 15 літературних джерел.

У додатку наведена програма для мікроконтролера та перелік елементів принципової схеми.

Ключові словосполучення: компаратор; стабілізатор; ключ; індикатор; лінійний перетворювач. .

ВСТУП

У багатьох електричних приладах вже давно застосовується принцип реалізації вторинної потужності за рахунок використання додаткових пристроїв, на які покладено функції забезпечення електроенергією схем, що потребують живлення окремих типів напруг, частоти, струму.

Для цього створюються додаткові елементи: блоки живлення, що перетворюють напругу одного виду на інший. Вони можуть бути:

- вбудовані всередину корпуси споживача, як у багатьох мікропроцесорних приладах;
- або виготовлені окремими модулями зі з'єднувальними проводами на зразок звичайного зарядного пристрою у мобільного телефону.

У сучасній електротехніці успішно вживаються два принципи перетворення енергії для електричних споживачів, що ґрунтуються на:

- Використання аналогових трансформаторних пристроїв для передачі потужності у вторинну схему;
- імпульсні блоки живлення.

Вони мають важливі відмінності у своїй конструкції, працюють за різними технологіями.

Імпульсні блоки живлення є інверторною системою. В імпульсних блоках живлення змінна вхідна напруга спочатку випрямляється. Отримана постійна напруга перетворюється на прямокутні імпульси підвищеної частоти і певної шпаруватості, що подаються на трансформатор (у разі імпульсних БП з гальванічної розв'язкою від мережі живлення) або безпосередньо на вихідний фільтр нижніх частот (в імпульсних БП без гальванічної розв'язки).

В імпульсних БП можуть застосовуватися малогабаритні трансформатори - це пояснюється тим, що зі зростанням частоти підвищується ефективність роботи трансформатора та зменшуються вимоги до габаритів (перетину) сердечника, необхідних передачі еквівалентної потужності. У більшості випадків такий сердечник може бути виконаний з феромагнітних матеріалів, на відміну від низькочастотних сердечників трансформаторів, для яких використовується електротехнічна сталь.

В імпульсних блоках живлення стабілізація напруги забезпечується за допомогою негативного зворотного зв'язку. Зворотний зв'язок дозволяє підтримувати вихідну напругу на відносно постійному рівні незалежно від коливань вхідної напруги та величини навантаження. Зворотній зв'язок можна організувати у різний спосіб. У разі імпульсних джерел з гальванічною розв'язкою від мережі живлення найбільш поширеними способами є використання зв'язку за допомогою однієї з вихідних обмоток трансформатора або оптрона.

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Залежно від величини сигналу зворотного зв'язку (що залежить від вихідної напруги), змінюється шпаруватість імпульсів на виході ШІМ-контролера. Якщо розв'язка не потрібна, то зазвичай використовується простий резистивний дільник напруги. Таким чином, блок живлення підтримує стабільну вихідну напругу.

Всі імпульсні блоки живлення мають у своєму складі елементи, що здійснюють негативний зворотний зв'язок із вихідними параметрами. За рахунок цього вони мають хорошу стабілізацію вихідної напруги при змінних навантаженнях і коливаннях мережі живлення.

У імпульсних блоках найбільші втрати енергії створюються під час виникнення перехідних процесів при комутаціях каскадів силових ключів. А в решту часу транзистори перебувають у стійкому положенні: відкриті чи закриті. При такому стані створюються всі умови для мінімальної втрати електроенергії, коли ККД може становити 90÷98%.

При порівнянні конструкцій блоків з рівними показниками вихідних потужностей імпульсні блоки живлення мають наступні переваги:

- зменшена вага;
- підвищений ККД;
- менша вартість;
- розширений діапазон напруги живлення;
- наявність вбудованих захистів.

Знижена вага та габарити імпульсних блоків живлення пояснюються переходом від перетворень низькочастотної енергії потужними та важкими силовими трансформаторами з керуючими системами, до технологій імпульсного перетворення та регулювання.

За рахунок підвищення частоти сигналу, що обробляється, скорочується ємність конденсаторів у фільтрів напруги і, відповідно, їх габарити. Імпульсні технології дозволяють запитувати блоки живлення від джерел напруги з різною частотою та амплітудою. Це розширює сферу їх застосування в умовах експлуатації з різними стандартами електричної енергії.

						ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			5

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ЗА ВИБРАНИМ НАПРЯМОМ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Принципи перетворення енергії споживачам

У сучасній електротехніці успішно вживаються два принципи перетворення енергії для електричних споживачів, що ґрунтуються на:

- Використання аналогових трансформаторних пристроїв для передачі потужності у вторинну схему;
- імпульсні блоки живлення.

Вони мають важливі відмінності у своїй конструкції, працюють за різними технологіями.

Трансформаторні перетворювачі енергії.

Спочатку створювалися лише такі конструкції. Вони змінюють структуру напруги за рахунок роботи силового трансформатора, що живиться від побутової мережі 220 вольт, в якому відбувається зниження амплітуди синусоїдальної гармоніки, що направляється далі на пристрій, що складається з силових діодів, включених, як правило, за схемою моста (рис. 1).

Після цього пульсуюча напруга згладжується паралельно підключеною ємністю, підбраною за величиною допустимої потужності, і стабілізується схемою напівпровідникової з силовими транзисторами.

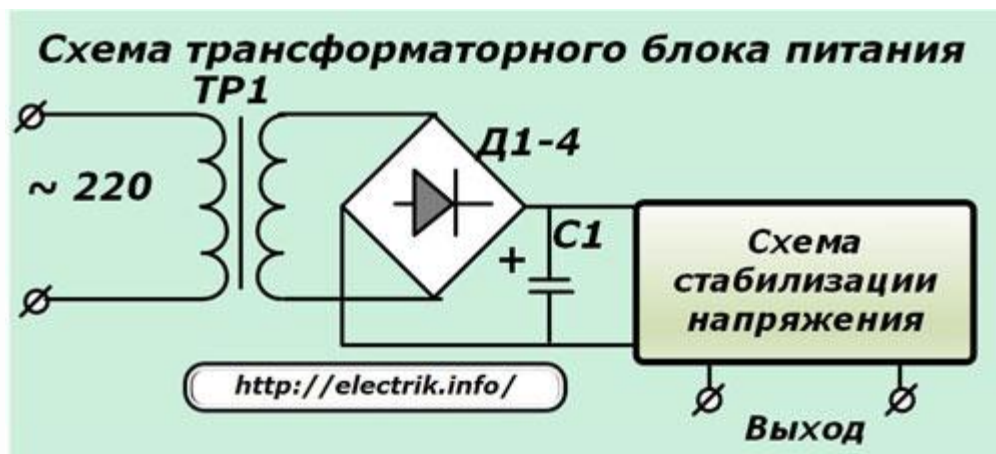


Рисунок 1 - Трансформаторний перетворювач енергії

За рахунок зміни положення підстроювальних резисторів у схемі стабілізації вдається регулювати величину напруги на вихідних клеммах.

Імпульсні блоки живлення (ДБЖ). Подібні конструктивні розробки масово з'явилися кілька десятиліть тому і стали користуватися все більшою популярністю в електротехнічних приладах завдяки:

- доступністю комплектування найпоширенішою елементною базою;
- надійністю у виконанні;

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

- можливостями розширення робочого діапазону вихідної напруги.

Один із варіантів виконання схеми імпульсного блоку живлення з трансформаторною розв'язкою ланцюгів показаний на рис. 2.

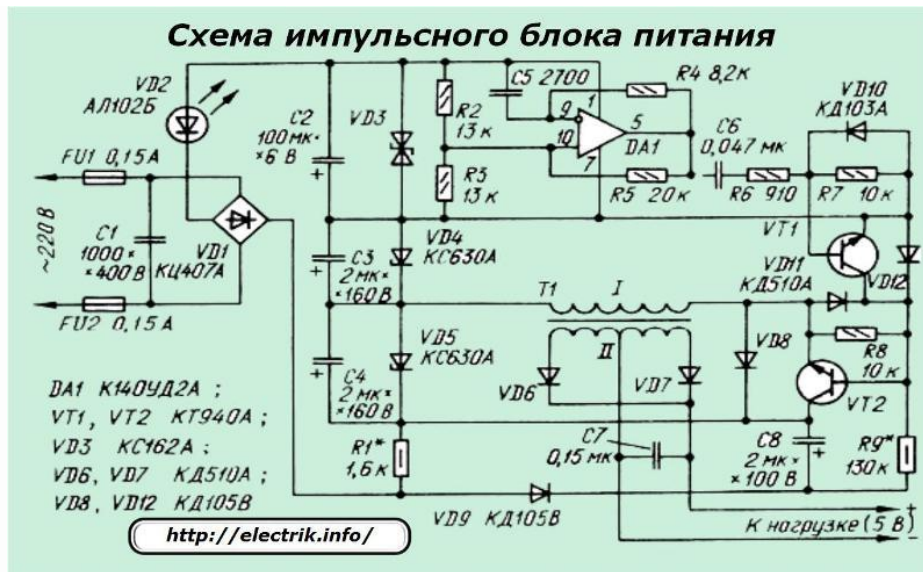


Рисунок 2 - Схема імпульсного блоку живлення з трансформаторною розв'язкою

Майже всі джерела імпульсного живлення трохи відрізняються по конструкції. Функціональна схема одного з них представлена на рис. 3.

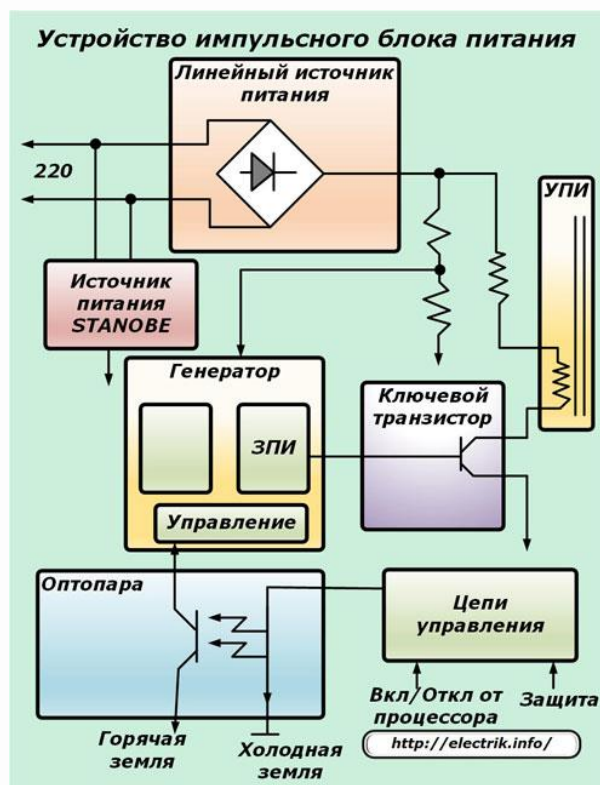


Рисунок 3 – Загальна функціональна схема імпульсного перетворювача

До складу основних деталей джерел живлення входять:

- мережевий випрямляч, зібраний з: вхідних дроселів, електромеханічного фільтра, що забезпечує відбудову від перешкод та розв'язку статички з конденсаторами, мережного запобіжника та діодного моста;
- накопичувальна фільтруюча ємність;
- ключовий силовий транзистор;
- генератор, що задає;
- схема зворотний зв'язок, виконана на транзисторах;
- оптопара;
- імпульсне джерело живлення, з вторинної обмотки якого виходить напруга для перетворення на силовий ланцюг;
- випрямні діоди вихідної схеми;
- ланцюги управління вихідної напруги, наприклад, на 12 вольт з підстроюванням, виготовленим на оптопарі та транзисторах;
- фільтруючі конденсатори;
- силові дроселі, що виконують роль корекції напруги та її діагностики у мережі;
- вихідні роз'єми.

Імпульсний блок живлення видає стабілізовану напругу живлення за рахунок використання принципів взаємодії елементів інверторної схеми.

Напруга мережі 220 вольт надходить по підключених дротах на випрямляч. Його амплітуда згладжується ємнісним фільтром за рахунок використання конденсаторів, що витримують піки близько 300 вольт, і відокремлюється фільтром перешкод.

Вхідний діодний міст випрямляє синусоїди, що проходять через нього, які потім перетворюються транзисторною схемою в імпульси високої частоти і прямокутної форми з певною шпаруватістю. Вони можуть перетворюватися:

- із гальванічним відділенням мережі живлення від вихідних ланцюгів;
- без виконання подібної розв'язки.

У таких пристроях працюють три взаємопов'язані ланцюжки:

- ШІМ-контролер;
- каскад із силових ключів;
- імпульсний трансформатор.

Контролером називають пристрій, який керує будь-яким технологічним процесом. У аналізованому блоці живлення їм виступає процес перетворення широтно-імпульсної модуляції. У його основу закладено принцип вироблення імпульсів однакової частоти, але з різною тривалістю включення. Подача імпульсу відповідає позначенню логічної одиниці, а відсутність нуля. При цьому всі рівні за величиною амплітуди і частотою (мають однаковий період коливань).

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Тривалість включеного стану одиниці та її відношення до періоду змінюються та дозволяють керувати роботою електронних схем.

Типові зміни ШИП-послідовностей показані на часових діаграмах рис. 4.

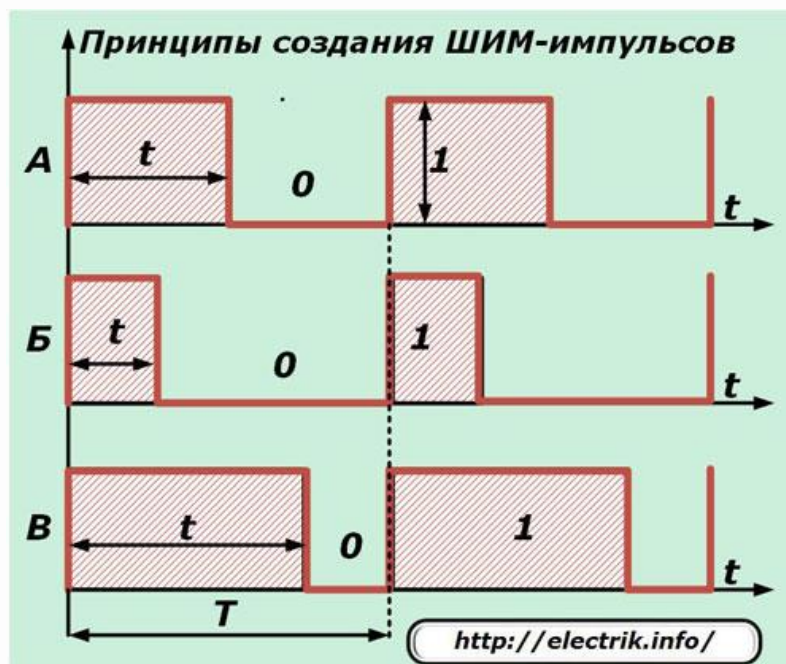


Рисунок 4 – Часові діаграми роботи ШИМ

Контролери зазвичай створюють подібні імпульси із частотою 30÷60 кГц. Як приклад можна навести контролер, виконаний на мікросхемі TL494 (рис. 5). Для налаштування частоти виробітку його імпульсів використовується схема, що складається з резисторів з конденсаторами.

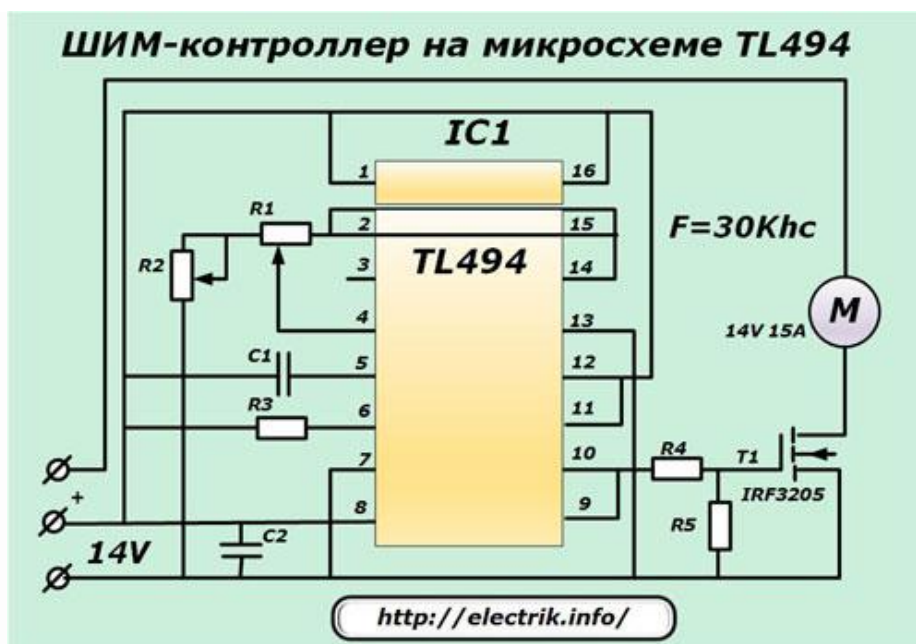


Рисунок 5 – Контроллер на микросхеме TL494

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Особливості стабілізації вихідної напруги.

Всі імпульсні блоки живлення мають у своєму складі елементи, що здійснюють негативний зворотний зв'язок із вихідними параметрами. За рахунок цього вони мають хорошу стабілізацію вихідної напруги при змінних навантаженнях і коливаннях мережі живлення.

Способи реалізації зворотного зв'язку залежать від схеми для роботи блоку живлення. Вона може здійснюватися у блоках, що працюють із гальванічною розв'язкою за рахунок:

- проміжної дії вихідної напруги на одну з обмоток високочастотного імпульсного трансформатора;
- застосування оптрона.

В обох випадках ці сигнали керують шпаруватістю імпульсів, що подаються на вихід ШІМ-контролера. З використанням схеми без гальванічної розв'язки зворотний зв'язок зазвичай створюється з допомогою підключення резистивного діляника напруги.

1.2 Імпульсні стабілізатори постійної напруги

Вихідна напруга лінійних стабілізаторів зазвичай менша за $U_{вх}$ на величину падіння напруги на регульовальному елементі. ККД безперервних стабілізаторів мало (25- 75 %), оскільки на регульовальному елементі розсіюється значна потужність. В імпульсних стабілізаторах регульований опір замінюється ключем. Як ключ зазвичай застосовують транзистор, який періодично переходить з закритого стану у відкритий і навпаки, то приєднуючи, то від'єднуючи навантаження, і тим самим регулюючи середню потужність, що забирається нею від джерела.

Величина $U_{вих}$ залежить від співвідношення тривалості відкритого та закритого станів ключа. Частота перемикачів регулюючого елемента від одиниць до сотень кГц, тому згладжування пульсацій досягається малогабаритним фільтром, увімкненим після регулюючого елемента. Оскільки втрати потужності ключі малі, ККД досягає 0.85 - 0.95 при відносній нестабільності 0,1%.

Функціональна схема імпульсного стабілізатора наведена на рис. 6.

СУ - порівнюючий пристрій, що включає ІОН. ІП – імпульсний пристрій. Регулюючий транзистор VT працює в режимі перемикачів і послідовно з'єднаний з опором навантаження R_n . Дросель і конденсатор утворюють згладжуючий фільтр для згладжування пульсацій $U_{вих}$. Діод VD включений у зворотному напрямку.

Сигнал помилки, що виник через дестабілізуючі фактори, подається зі схеми порівняння, що містить ІОН, на вхід ІУ. В ІП відбувається перетворення повільно мінливої постійної напруги на послідовність імпульсів.

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

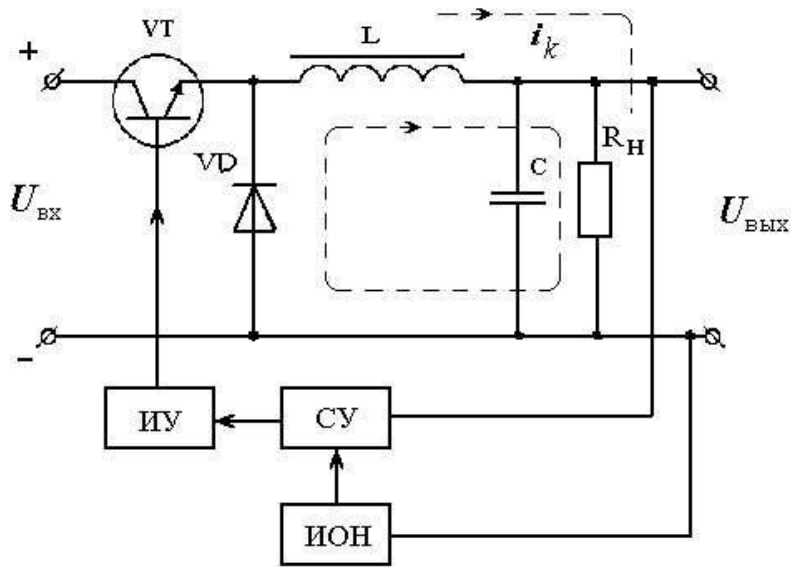


Рисунок 6 - Функціональна схема імпульсного стабілізатора

Якщо ІП створює на своєму виході імпульсну послідовність з постійним періодом повторення і з змінною залежно від сигналу помилки тривалістю імпульсу t_i , то схему називають стабілізатором з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), якщо $t_i = \text{const}$, а змінюється частота, то це стабілізатор з частотно – імпульсною модуляцією (ЧІМ).

Якщо ж ІП замикає ключ за $U_{\text{вих}} < U_{\text{пор}}$ і розмикає при $U_{\text{вих}} > U_{\text{пор}}$, то таку схему називають релейним або двопозиційним стабілізатором. VT, VD, L, C утворюють силовий ланцюг, а СУ та ІП - ланцюг управління.

Імпульсний стабілізатор напруги на КТ825.

Завдяки високому ККД імпульсні стабілізатори напруги отримують останнім часом все більш широке поширення, хоча вони, як правило, складніші за традиційні і містять більшу кількість елементів. Наведений нижче стабілізатор можна використовувати для живлення малопотужних пристроїв зі струмом споживання до 1А, для і КТ825 транзисторах його явно буде недостатньо. Нескладний імпульсний стабілізатор (рис. 7) з вихідною напругою, меншою за вхідний, можна зібрати всього на трьох транзисторах, два з яких (VT1, VT2) утворюють ключовий регулюючий елемент, а третій (VT3) є підсилювачем сигналу неузгодженості.

Пристрій працює в режимі коливання. Напруга позитивного зворотного зв'язку з колектора транзистора VT2 (він складовий) через конденсатор C2 надходить у ланцюг бази транзистора VT1. Транзистор VT2 періодично відкривається до насичення струмом, що протікає через резистор R2. Оскільки коефіцієнт передачі струму бази цього транзистора дуже великий, він насичується

при відносно невеликому базовому струмі. Це дозволяє вибрати опір резистора R2 досить великим і, отже, збільшити коефіцієнт передачі регулюючого елемента.

Напруга між колектором і емітером насиченої транзистора VT1 менше, ніж напруга відкриття транзистора VT2 (у складовому транзисторі, як відомо, між висновками бази і емітера включено послідовно два р-п переходу), тому, коли транзистор VT1 відкритий, VT2 надійно закритий.

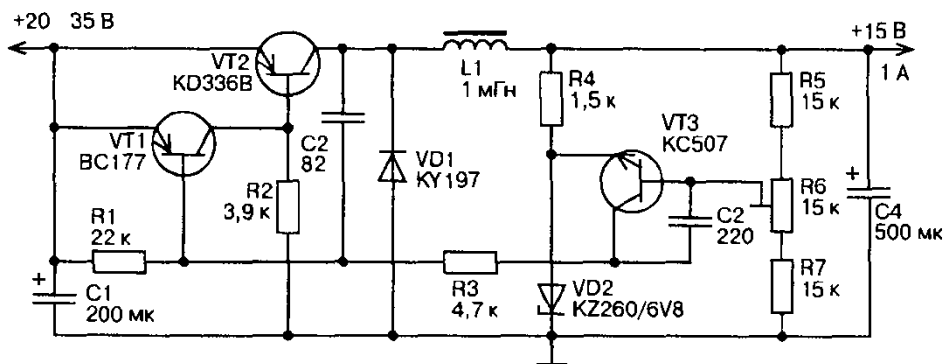


Рис. 5.6.

Рисунок 7 – Імпульсний стабілізатор на потужних транзисторах

Елементом порівняння та підсилювачем сигналу неузгодженості є каскад на транзисторі VT3. Його емітер підключений до джерела зразкової напруги - стабілітрон VD2, а база - до дільника вихідної напруги R5 ... R7.

В імпульсних стабілізаторах регулюючий елемент працює в ключовому режимі, тому напруга виходу регулюється зміною шпаруватості роботи ключа. У цьому пристрої відкриттям і закриттям транзистора VT2 по сигналу транзистора VT3 управляє транзистор VT1. У моменти, коли транзистор VT2 відкритий, в дроселі L1 завдяки протіканню струму навантаження запасється електромагнітна енергія. Після закриття транзистора запасена енергія через діод VD1 віддається в навантаження.

Незважаючи на простоту, стабілізатор має досить високий ККД. Так, при вхідній напрузі 24, вихідному 15 і струмі навантаження 1 А виміряне значення ККД дорівнювало 84%.

Дросель L1 намотаний на кільці K26x16x12 із фериту з магнітною проникністю 100 дротом діаметром 0,63 мм і містить 100 витків. Індуктивність дроселя при струмі підмагнічування 1 близько 1 мГн. Характеристики стабілізатора багато в чому визначаються параметрами транзистора VT2 та діода VD1, швидкодія яких має бути максимально можливою. У стабілізаторі можна застосувати транзистори КТ825Г (VT2), КТ313Б, КТ3107Б (VT1), КТ315Б, (VT3), діод КД213 (VD1) та стабілітрон КС168А (VD2). Спеціально для тих, хто не любить багато деталей у схемах, розробили повноцінний імпульсний стабілізатор на мікросхемі TL497, з мінімумом зовнішніх елементів (рис. 8).

Мікросхема TL497 забезпечує вихідний струм до 500 мА, містить усі активні елементи для полегшення конструювання стабілізаторів напруги. Для збільшення вихідного струму на схемі вгорі застосовано додатковий силовий транзистор, що забезпечить вихідний струм до 2 А.

Вихідна напруга імпульсного стабілізатора задається резисторами R4 і R5, а це значить ви самі можете шляхом їх підбору налаштувати потрібну для вас вихідну напругу. Дуже зручно. Напруга живлення від 7,5 до 15В, ККД близько 75%. Транзистор слід встановити на радіатор, оскільки він грітиметься. Схема налагодження не потребує, при правильній збірці починає працювати відразу, залишиться тільки підібрати вихідну напругу резисторами.

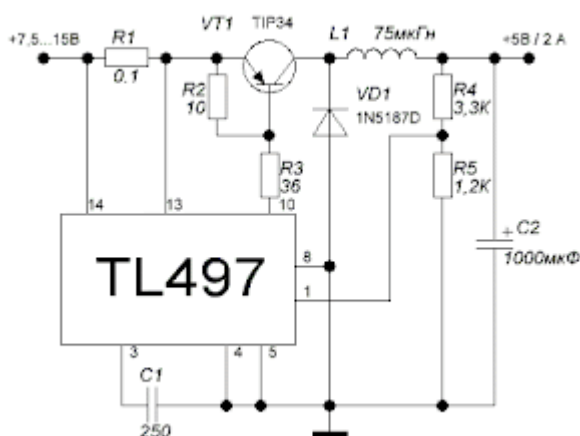


Рисунок 8 – Імпульсний стабілізатор на мікросхемі TL497

Стабілізатори струму.

Трапляється, коли необхідно пропускати стабільний струм через світлодіоди, обмежити струм зарядки акумуляторів або випробувати джерело живлення, а реостата під рукою немає. У цьому, і не тільки, випадку допоможуть спеціальні схемотехнічні рішення, що обмежують, регулюють та стабілізують струм (рис. 9).

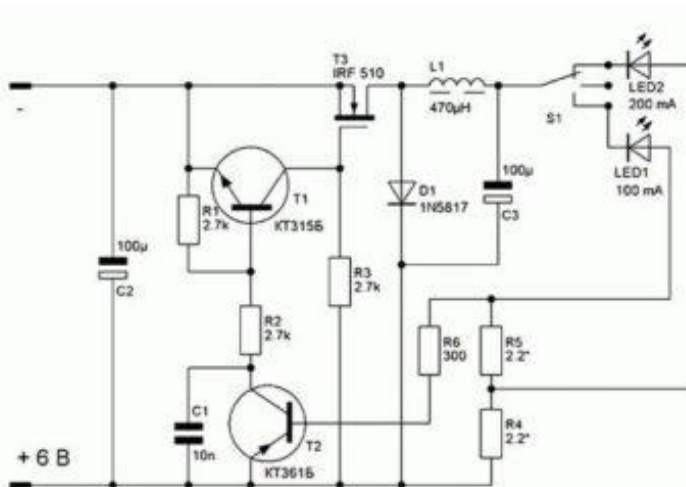


Рисунок 9 – Стабілізатор струму

Джерела струму, на відміну від джерел напруги, стабілізують вихідний струм, змінюючи вихідну напругу так, щоб струм через навантаження завжди залишався однаковим. Отже, джерело струму відрізняється від джерела напруги, як вода відрізняється від суші. Типове застосування джерел струму – живлення світлодіодів, заряджання акумуляторів тощо.

Імпульсний стабілізатор напруги на 5В та струмом 2А.

Цей стабілізатор відрізняється від подібних до нього схемною простотою і високими значеннями коефіцієнтів стабілізації та корисної дії. У ньому застосовано широко поширену мікросхему К155Ж1А3 (або її аналог).

Цей стабілізатор застосовувався для живлення цифрового пристрою, а при виготовленні різних цифрових пристроїв завжди знайдеться пара зайвих інверторів. Стабілізатор (рис. 10) складається з наступних функціональних вузлів: вузла запуску (R3, VD1, VT1, VD3), джерела зразкової напруги та пристрою порівняння (DD1.1, R1), підсилювача постійного струму (VT2, DD1.2, VT5), транзисторного ключа (VT3, VT4), індуктивного накопичувача енергії з комутуючим діодом (VD2, L2) та фільтрів - вхідного (L1, C1, C2) та вихідного (C4, C5, L3, C6).

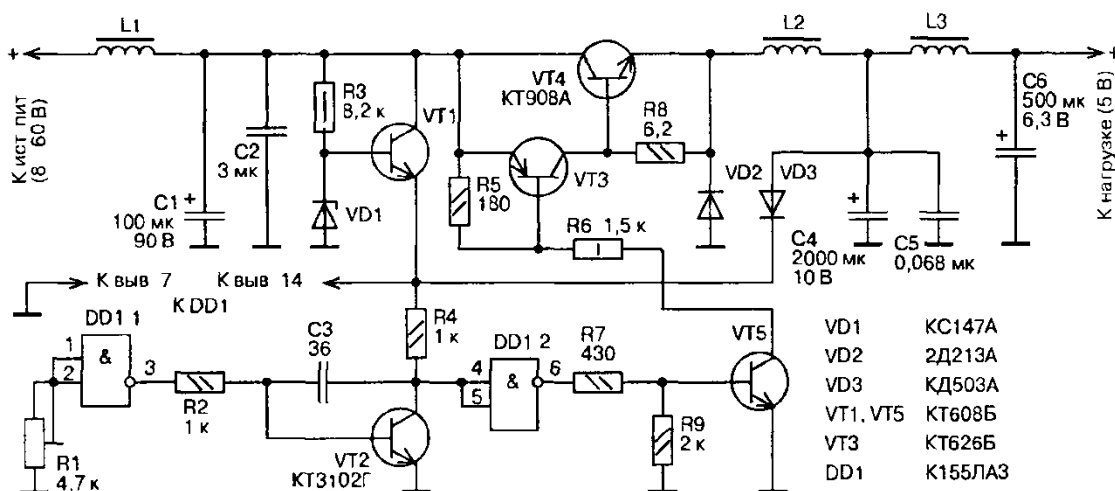


Рис. 5.13.

Рисунок 10 – Імпульсний стабілізатор напруги

Після включення живлення вступає в роботу вузол запуску, що є параметричним стабілізатором напруги з емітерним повторювачем. На емітері транзистора VT1 з'являється напруга близько 4 В. Оскільки напруга на виході стабілізатора поки що відсутня, діод VD3 закритий. В результаті включаються джерело зразкової напруги та підсилювач постійного струму.

Транзисторний ключ поки що закритий. Так як напруга живлення елемента DD1.1 менше 5, то на його виході встановлюється високий логічний рівень, на

виході підсилювача постійного струму формується крутий фронт комутованого імпульсу.

Цей фронт швидко (протягом приблизно 30 не) відкриває електронний ключ, який починає пропускати струм у індуктивний накопичувач енергії. Струм через ключ і напругу на конденсаторі 4 будуть збільшуватися плавно. Як тільки ця напруга перевищить напругу на стабілітроні VD1, діод VD3 відкриється, а транзистор VT1 закриється. Відбудеться відключення вузла запуску, і надалі він не братиме участі.

З цього моменту в стабілізаторі включається ланцюг негативного зворотного зв'язку, і він перетворюється на робочий стан. Напруга на конденсаторі C4 продовжує збільшуватися до моменту, коли на виході елемента DD1.1 рівень 1 зміниться на 0. Підсилювач постійного струму формує спад комутувального імпульсу, який протягом близько 200 не закриває електронний ключ.

До цього моменту в дроселі L2 накопичувалася електромагнітна енергія. Частина енергії, що пройшла через електронний ключ, надходить у навантаження. Далі напруга самоіндукції дроселя L2 відкриває діод VD2, і енергія, накопичена в цьому дроселі, починає перетікати в навантаження.

Для того, щоб зменшити амплітуду небезпечного для мікросхеми DD1 кидка напруги, ємність конденсатора C4 обрана дуже великою, тоді як зазвичай вона не перевищує кількох десятків або сотень мікрофарад.

Після вичерпання запасу енергії в дроселі L2 струм у навантаження надходитиме з конденсатора C4. Через деякий час напруга на ньому зменшиться до значення, коли на виході підсилювача постійного струму буде сформовано фронт чергового імпульсу, що комутує, і знову відкриється електронний ключ - почнеться новий цикл роботи стабілізатора.

Основні технічні характеристики:

- номінальна вихідна напруга, В..... 5;
- вхідна напруга, В..... 8 - 60;
- ККД 0,69...0,72;
- коефіцієнт стабілізації, щонайменше 500;
- амплітуда пульсацій вихідної напруги, мВ,..... 5;
- вихідний опір, Ом, не більше 0,02;
- максимальний струм навантаження, А..... 2,0;

Всі котушки індуктивності однакові і намотані у броньових магнітопроводах Б20 з фериту 2000НМ із зазором між чашками близько 0,2 мм. Обмотки містять по 20 витків джгута із чотирьох проводів ПЕВ-2-0,41.

Можна застосувати і кільцеві феритові магнітопроводи, але обов'язково із зазором. Якщо акуратний проміжок отримати не вдалося і кільце розкололося на

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

кілька частин, то необхідний зазор (близько 0,2 мм) можна створити і в цьому випадку. Для цього на поверхні, що склеюються, наносять кілька шарів клею, наприклад, «Суперцемент», до повного висихання, а потім осколки склеюють в кільце. Число витків та провід не критичні і в цьому випадку.

У стабілізаторі використані конденсатори К52-2 або інші, але обов'язково танталові або ніобієві (при заміні К50-6 знижується ККД); К50-6 (С4 і С6), решта - КМ-5 або КМ-6.

Конденсатор С2 складений із трьох паралельно включених ємністю по 1 мкФ. Діод VD3 може бути замінений будь-яким імпульсним малопотужним діодом. Замість транзистора КТ3102Г підійдуть КТ3102Е, КТ342В, КТ373В; замість КТ608Б (VT1) -КТ503Д, КТ503Е, а на виході підсилювача постійного струму - КТ608Б, КТ602Б, КТ630А ... КТ630Г.

У ключовому елементі можна використовувати транзистори КТ908Б, 2Т908А, 2Т912Б, КТ912Б, а з незначним погіршенням ККД - КТ808А. Не можна застосовувати транзистори серії КТ909, оскільки це призведе до порушення ключа на високій частоті та виходу з ладу всього пристрою. Були випробувані також, але показали найгірші результати транзистори серій КТ802, КТ803, КТ805, КТ819, КТ827, КТ829 та КТ818, КТ825 (у двох останніх випадках схема ключа була відповідно змінена).

Всі деталі повинні бути ретельно перевірені. Перед монтажем на плату встановлюють резистор налаштування R1 його опір встановлюють 3,3 кОм. Включають стабілізатор спочатку при напрузі живлення 8В і опорі навантаження 10 Ом, після чого контролюють вихідну напругу і, якщо необхідно, встановлюють його резистором R1 на рівень 5 В.

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Принцип стабілізації вихідної напруги імпульсного перетворювача

Лінійні стабілізатори мають загальний недолік – це малий ККД та високе виділення тепла. Потужні прилади, що створюють струм навантаження в широких межах мають значні габарити і вагу. Щоб компенсувати ці недоліки, розроблені та використовуються імпульсні стабілізатори.

Пристрій, який постійно підтримує напругу на споживачі струму за допомогою регулювання електронним елементом, що діє в режимі ключа. Імпульсний стабілізатор напруги, як і лінійний існує послідовного і паралельного виду. Роль ключа у таких моделях виконують транзистори.

Так як діюча точка стабілізуючого пристрою практично постійно розташована в області відсічення або насичення, проходячи активну область, то транзисторі виділяється трохи тепла, отже, імпульсний стабілізатор має високий ККД.

Стабілізація здійснюється за допомогою зміни тривалості імпульсів, а також керування їх частотою. Внаслідок цього розрізняють частотно-імпульсне, тобто широтне регулювання. Імпульсні стабілізатори функціонують у комбінованому імпульсному режимі.

У пристроях стабілізації з широтно-імпульсним регулюванням, частота імпульсів має постійну величину, а тривалість дії імпульсів є непостійним значенням. У пристроях з частотно-імпульсним регулюванням, тривалість імпульсів не змінюється, а змінюється лише частота.

На виході пристрою напруга представлена у вигляді пульсацій, відповідно вона не годиться для живлення споживача. Перед подачею живлення на навантаження споживача його потрібно вирівняти. Для цього на виході імпульсних стабілізаторів монтують ємнісні фільтри, що вирівнюють. Вони бувають багатоланковими, Г- подібними та іншими.

Середня величина напруги, поданої на навантаження, обчислюється за такою формулою:

$$U_{\text{вих}} = \frac{1}{T_{\text{и}}} \cdot \int_0^{t_{\text{и}}} R_{\text{н}} \cdot I(t) dt$$

де - $T_{\text{и}}$ – тривалість періоду.

- $t_{\text{и}}$ – тривалість імпульсу.

- $R_{\text{н}}$ – значення опору споживача, Ом.

- $I(t)$ – значення струму, що проходить за навантаженням, Ампер.

Струм може перестати протікати фільтром до початку наступного імпульсу, залежно від індуктивності. У цьому випадку йдеться про режим дії зі змінним

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

струмом. Струм також може далі протікати, тоді мають на увазі функціонування з постійним струмом.

При підвищеній чутливості навантаження до імпульсів живлення виконують режим постійного струму, не дивлячись із значними втратами в обмотці дроселя та проводах. Якщо розмір імпульсів на виході приладу незначний, рекомендується функціонування при змінному струмі.

Принцип роботи.

У загальному вигляді імпульсний стабілізатор включає імпульсний перетворювач з пристроєм регулювання, генератор, що фільтр, який знижує імпульси напруги на виході, порівнюючий пристрій, що подає сигнал різниці вхідної і вихідної напруги.

Схема основних частин стабілізатора напруги показана на рис. 11.



Рисунок 11 – Загальна схема імпульсного стабілізатора

Напруга на виході приладу надходить на порівнюючий пристрій з базовою напругою. В результаті одержують пропорційний сигнал. Його подають на генератор, попередньо посиливши його.

При регулюванні в генераторі аналоговий різницевий сигнал модифікують в пульсації з постійною частотою і змінною тривалістю. При регулюванні частотно-імпульсної тривалість імпульсів має постійне значення. Вона змінює частоту імпульсів генератора залежно від властивостей сигналу.

Утворені генератором керуючі імпульси проходять елементи перетворювача. Транзистор керування діє в режимі ключа. Змінюючи частоту або інтервал імпульсів генератора, можна змінювати навантажувальну напругу. Перетворювач модифікує значення напруги на виході залежно від властивостей імпульсів, що управляють. По теорії в приладах з частотним і широтним регулюванням імпульси напруги на споживачі можуть бути відсутніми.

При релейному принципі дії сигнал, що керується стабілізатором, утворюється за допомогою тригера. При надходженні постійної напруги в прилад транзистор, що працює як ключ, відкритий, і підвищує напругу на виході.

порівнюючий пристрій визначає сигнал різниці, який досягнувши деякої верхньої межі, змінить стан тригера, і відбудеться комутація регулюючого транзистора на відсічення.

Напруга на виході зменшуватиметься. При падінні напруги до нижньої межі порівнюючий пристрій визначає сигнал різниці, що перемикає знову тригер, і транзистор знову увійде до насичення. Різниця потенціалів на навантаженні приладу підвищуватиметься. Отже, при релейному вигляді стабілізації напруга на виході збільшується, тим самим вирівнюється. Межу спрацьовування тригера налаштовують за допомогою коригування амплітуди значення напруги на пристрої, що порівнює.

Стабілізатори релейного типу мають підвищену швидкість реакції, на відміну від приладів із частотним та широтним регулюванням. Це їхня перевага. Теоретично при релейному вигляді стабілізації на виході приладу завжди будуть імпульси. Це їх недолік.

Підвищуючий стабілізатор.

Імпульсні стабілізатори, що підвищують, застосовують разом з навантаженнями, різниця потенціалів яких вище, ніж напруга на вході приладів. У стабілізаторі немає гальванічної ізоляції мережі живлення та навантаження. Імпорнтні підвищуючі стабілізатори називають boost converter. Основні частини такого приладу (рис. 12).

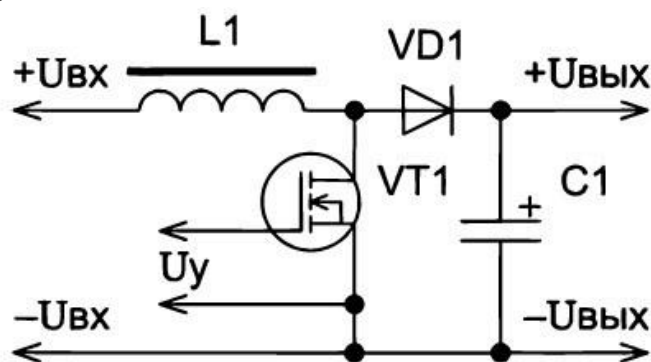


Рисунок 12 – Імпульсний стабілізатор підвищуючого типу

Транзистор входить у насичення, і струм проходить ланцюгом від позитивного полюса по накопичувальному дроселю, транзистору. При цьому накопичується енергія у магнітному полі дроселя. Навантажувальний струм може створити лише розряд ємності C1.

Відключимо вимикаючу напругу з транзистора. При цьому він набуде становища відсічення, а отже на дроселі з'явиться ЕРС самоіндукції. Вона буде комутована послідовно з напругою входу і підключено по діоду до споживача. Струм піде по ланцюгу від позитивного полюса до дроселя, по діоду та навантаженню.

У цей момент магнітне поле індуктивного дроселя видає енергію, а ємність С1 резервує енергію для підтримки напруги споживача після входження транзистора в режим насичення. Дросель є для резерву енергії і не працює у фільтрі живлення. При повторній подачі напруги на транзистор він відкривається, і весь процес піде заново.

Стабілізатори з тригером Шмітта.

Такий вид імпульсного пристрою має особливості найменшим набором компонентів. Основну роль конструкції грає тригер. До його складу входить компаратор. Основним завданням компаратора є порівняння величини вихідної різниці потенціалів із найбільшим допустимим.

Принцип дії апарату з тригером Шмітта полягає в тому, що при збільшенні найбільшої напруги здійснюється комутація тригера на позицію нуля з розмиканням електронного ключа. Одночасно розряджається дросель. Коли напруга сягає найменшого значення, то виконується комутація на одиницю. Це забезпечує замикання ключа та проходження струму на інтергратор.

Такі прилади мають відмінність своєю спрощеною схемою, але використовувати їх можна в особливих випадках, так як імпульсні стабілізатори бувають тільки підвищують і знижують.

Знижувальний стабілізатор.

Стабілізатори імпульсного типу, що функціонують зі зниженням напруги, є компактними та потужними приладами живлення електричним струмом. При цьому вони мають низьку чутливість до наведень споживача постійною напругою одного значення.

Гальванічна ізоляція виходу та входу в знижувальних пристроях відсутня. Імпорнтні прилади отримали назву chopper. Вихідне живлення в таких пристроях постійно знаходиться менше за вхідну напругу. Схема імпульсного стабілізатора понижуючого типу зображено на рис. 13.

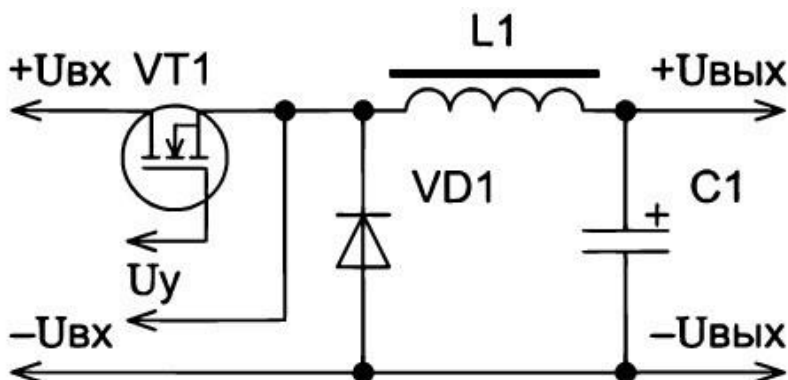


Рисунок 13 – Імпульсний стабілізатор знижувального типу

Підключимо напругу для керування витоком і затвором транзистора, який увійде до положення насичення. По ньому проходить струм по ланцюгу від позитивного полюса по вирівнюючому дроселю і навантаженню. У напрямі струм по діоду не протікає.

Відключимо керуючу напругу, яка вимикає ключовий транзистор. Після цього він перебуватиме у положенні відсічення. ЕРС індукції вирівнюючого дроселя перегороджуватиме шлях для зміни струму, який піде по ланцюгу через навантаження від дроселя, за загальним провідником, діод, і знову прийде на дросель. Ємність $C1$ буде розряджатися і утримуватиме напругу на виході.

При подачі різниці потенціалів, що відмикає, між витоком і затвором транзистора, він перейде в режим насичення і весь ланцюжок знову повториться.

Інвертуючий стабілізатор.

Імпульсні стабілізатори типу, що інвертує, використовують для підключення споживачів з постійною напругою, полюсність якого має протилежний напрямок полюсності різниці потенціалів на виході пристрою. Його значення може бути вище за мережу живлення, і нижче за мережу, залежно від налаштування стабілізатора. Гальванічна ізоляція мережі живлення та навантаження відсутня. Імпортові прилади типу, що інвертує, називаються buck-boost converter. На виході таких приладів напруга завжди нижча (рис. 14).

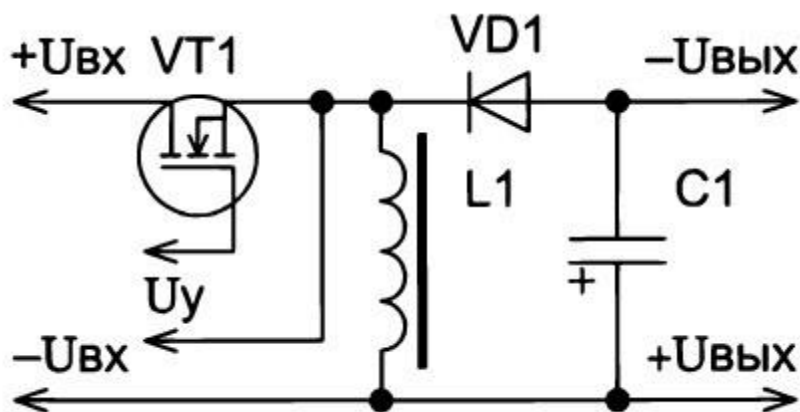


Рисунок 14 – Інвертуючий імпульсний стабілізатор

Підключимо керуючу різницю потенціалів, що відкриє транзистор між витоком та затвором. Він відкриється, і струм піде ланцюгом від плюса транзистором, дроселем до мінуса. За такого процесу дросель резервує енергію з допомогою свого магнітного поля. Відключимо різницю потенціалів управління від ключа на транзисторі, він закриється. Струм піде від дроселя по навантаженню, діоду, і повернеться до початкового положення. Резервна енергія на конденсаторі та магнітному полі витратиться для навантаження. Знову

подамо живлення на транзистор до початку і затвора. Транзистор знову насичуватиметься і процес повториться.

Переваги і недоліки імпульсних стабілізаторів.

Як і всі прилади, модульний стабілізатор імпульсний не ідеальний. Тому йому притаманні мінуси та плюси. **Переваги:**

- просте досягнення вирівнювання;
- плавне підключення;
- компактні розміри;
- стійкість вихідної напруги;
- широкий інтервал стабілізації;
- підвищений ККД.

Недоліки :

- складна конструкція.
- багато специфічних компонентів, що знижують надійність пристрою.
- необхідність використання компенсуючих пристроїв потужності.
- складність робіт із ремонту.
- виникнення великої кількості перешкод частоти.

Допустима частота.

Функціонування імпульсного стабілізатора можливе за значної частоти перетворення. Це є основною рисою від пристроїв, що мають трансформатори мережі. Збільшення цього параметра дозволяє отримати найменші габарити.

Для більшості приладів інтервал частот дорівнюватиме 20-80 кГц. Але при виборі ШІМ та ключових приладів необхідно врахувати високі гармоніки струмів. Верхня межа параметра обмежена певними вимогами, які висуваються до радіочастотних приладів.

2.2 Порівняння лінійного та імпульсного способів перетворення

Найпопулярнішою схемою перетворювачів постійної напруги можна назвати знижувальну, адже у реальній апаратурі завдання зменшення напруги виникає набагато частіше, ніж збільшення чи зміни його полярності. Але зменшити вхідну напругу можна двома способами: імпульсним та лінійним. Оскільки кожен із способів має свої переваги та недоліки, а значить – і свої сфери застосування, то розробнику необхідно їх вивчити.

Фундаментальну різницю між лінійним та імпульсним способами зменшення напруги можна зрозуміти з рис. 15. Лінійний стабілізатор працює за принципом резистивного дільника напруги. Його регулюючий елемент (транзистор VT1) функціонує в активному режимі, забезпечуючи таке падіння напруги між виводами колектора та емітера, щоб вихідна напруга V_{OUT} на навантаженні R_{LOAD} знаходилась у заданих межах. Оскільки через транзистор VT1

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

протікає весь струм навантаження I_{OUT} , ККД даної схеми безпосередньо залежатиме від різниці напруг між входом і виходом (формула 1):

$$\eta = P_{OUT} / P_{IN} = (I_{OUT} \times V_{OUT}) / (I_{OUT} \times V_{IN}) = V_{OUT} / V_{IN}, \quad (1)$$

де P_{IN} и P_{OUT} – відповідно, вхідна і вихідна потужності перетворювача.

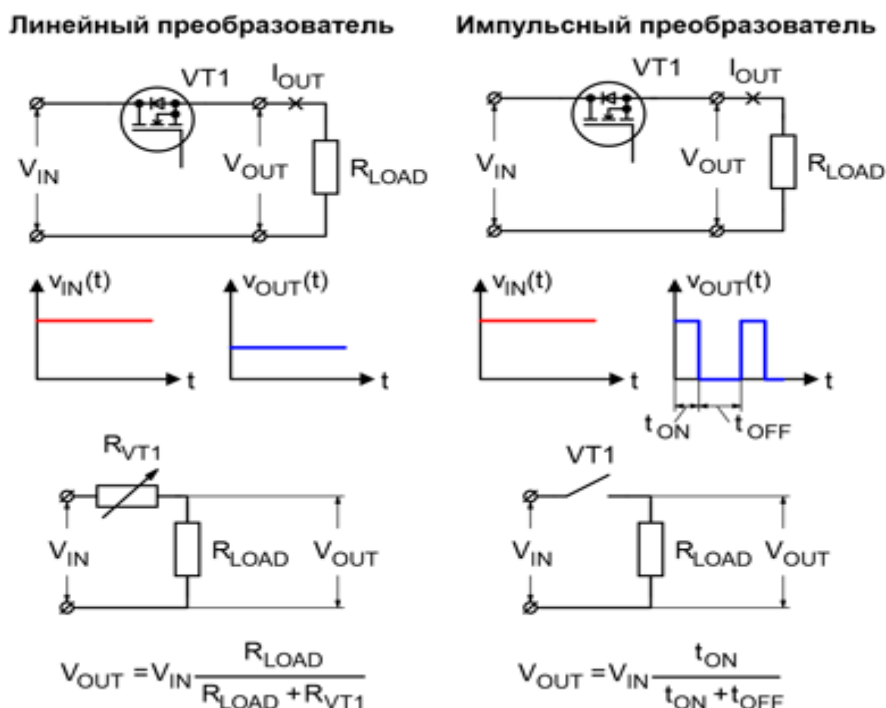


Рисунок 15- Порівняння лінійного і імпульсного способів зниження напруги

І тепер стає очевидним головний недолік лінійних стабілізаторів – чим більша різниця напруг між входом і виходом, тим менше його ККД, причому практично вся «зайва» потужність виділяється на регульовальному елементі VT1, що вимагає встановлення його на радіатор, розміри якого часом перевершують розміри всіх інших елементів пристрою.

Донедавна лінійні стабілізатори будувалися на основі біполярних кремнієвих транзисторів, у більшості з яких падіння напруги між колектором і емітером фізично не могло бути менше 1 В. Для стабілізаторів з відносно високою вихідною напругою (більше 5 В) таке падіння напруги було ще цілком прийнятним, однак у сучасних мікроконтролерних пристроях напруга живлення яких може бути менше 1, використання біполярних транзисторів в такому режимі неприпустимо.

Свого часу це призвело до створення лінійних стабілізаторів, які використовують як регулюючі елементи польові транзистори, які, як відомо, позбавлені такого обмеження. Ці стабілізатори отримали назву "стабілізатори з низьким падінням напруги", або LDO-стабілізатори/регулятори (Low-Drop Out

Regulator). Оскільки при малій різниці напруг між входом і виходом ККД L_{DO} - стабілізаторів не поступається імпульсним перетворювачам, які маса, габарити і рівень електромагнітних перешкод у своїй набагато менше, вони досі активно використовують у сучасній техніці.

У імпульсних перетворювачах активний режим напівпровідникових компонентів не використовується принципово. У прикладі (рис. 15) транзистор VT1 працює в ключовому режимі, періодично підключаючи навантаження R_{LOAD} до джерела живлення на час t_{ON} .

Це означає, що виділення потужності на силових напівпровідникових компонентах теоретично може бути скільки завгодно малим і не залежить від співвідношення напруги між входом і виходом, що є головною перевагою даних схем. На жаль, від такого способу перетворення з'являється головний недолік - пульсуючий характер вихідної напруги з високим вмістом високочастотних гармонік.

Оскільки використовувати подібну напругу для живлення споживачів у більшості випадків неможливо, то на виході імпульсних перетворювачів необхідно встановлювати фільтри, що зменшують пульсації вихідної напруги. Причому в цих фільтрах обов'язково повинні використовуватися реактивні елементи, здатні накопичувати енергію (активний фільтр на напівпровідникових транзисторах для цієї мети не підійде). А це означає, що імпульсний перетворювач просто фізично не може бути мініатюрним, адже енергетична ємність реактивних компонентів прямо пропорційна масі та обсягу використаного в них магнітного або діелектричного матеріалу.

Якщо порівняти переваги та недоліки лінійних та імпульсних перетворювачів (таблиця 1), то виявиться, що вони взаємно компенсують один одного. Тому на практиці дуже часто використовуються гібридні системи: імпульсний перетворювач формує деяку проміжну напругу невисокої стабільності з відносно високим рівнем пульсацій, а остаточне точне регулювання вже здійснюється за допомогою лінійних LDO-стабілізаторів.

У сучасному обладнанні лінійні перетворювачі в основному використовуються для живлення малопотужних вузлів, що вимагають високоякісної вихідної напруги з низьким рівнем пульсацій, а також додатках, чутливих до рівня електромагнітних перешкод, а імпульсні - у всіх інших випадках (по можливості).

Однак у лінійних перетворювачів є один серйозний недолік, який у ряді випадків робить їх використання неможливим - вихідна напруга лінійного перетворювача принципово не може бути більшою за вхідну. І це означає, що у випадках, коли напругу необхідно збільшити чи змінити її полярність, імпульсний спосіб перетворення практично безальтернативним.

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ				

2.3 Принцип роботи імпульсних перетворювачів

На сьогоднішній день існує безліч імпульсних перетворювачів постійної напруги, що відрізняються кількістю та типом реактивних компонентів, алгоритмами перетворення та іншими характеристиками. Однак найбільш простими, а отже, і найбільш популярними є лише чотири схеми: знижувальна, підвищуюча, інвертуюча та зворотногоходова (рис. 16).

Ці перетворювачі використовують однаковий принцип роботи, мають ідентичну кількість компонентів та відрізняються лише способом комутації накопичувального дроселя L1, від режиму роботи якого залежать всі характеристики схеми.

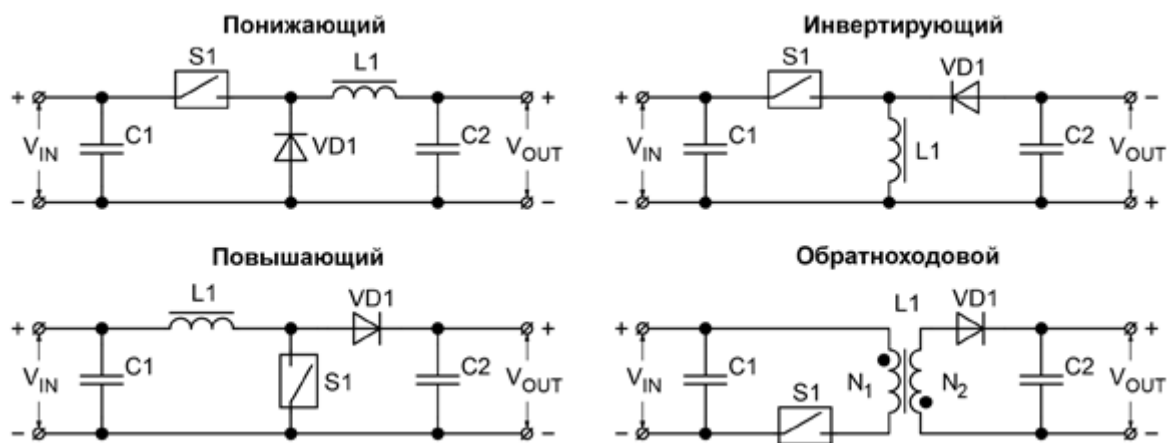


Рисунок 16 – Схеми найбільше популярних перетворювачів

Перетворення електричної енергії відбувається у два етапи. На першому етапі ключ S1 замикається, і до дроселя L1 прикладається деяка напруга V_{L1} , під дією якого за час t_{ON} струм зростає на величину dI_1 (формула 2, рис. 17):

$$dI_1 = V_{L1} L_1 \times t_{ON}, \quad (2)$$

де L_1 – індуктивність обмотки, активної першому етапі.

При цьому до діода VD1 прикладено напругу зворотної полярності, тому струм через нього не протікає. Наприкінці цього інтервалу струм дроселя досягає максимального значення I_{MAX1} , а це означає, що в його магнітопроводі накопичується енергія E (формула 3):

$$E = (I_{MAX1}^2 \times L_1) / 2 \quad (3)$$

Оскільки на першому етапі енергія в дроселі збільшується, його дуже часто називають етапом накопичення або заряду дроселя. Після розмикання ключа S1 на висновках всіх обмоток дроселя формується ЕРС самоіндукції, полярність якої протилежна полярності, що була присутня на першому етапі, це означає, що

дросель L1 тепер стає не споживачем, а джерелом електричної енергії. Зміна полярності напруги на обмотках призводить до відкриття діода VD1, який забезпечує шлях протікання струму на другому етапі, званому етапом повернення, або розряду дроселя.

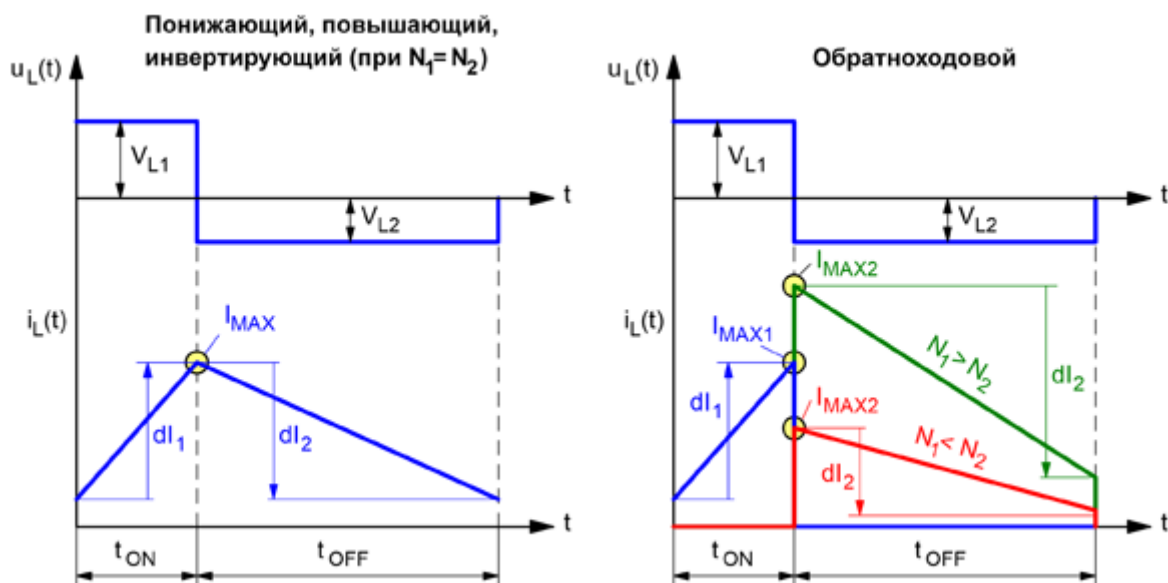


Рисунок 17 – Діаграми напруги та струму дроселя різних перетворювачів

Оскільки кількість енергії в дроселі в момент комутації ключів не змінюється, то струм його активної обмотці відразу після розмикання ключа S₁ також буде максимальним, однак його величина I_{MAX2} може змінитися, адже він тепер може протікати вже за іншою кількістю витків (формула 4):

$$E = (I_{2MAX2} \times L_2) / 2, \quad (4)$$

де L₂ – індуктивність обмотки, що активна на другому етапі.

Дросель знижувальної, підвищувальної та інвертуючої схем зазвичай містить тільки одну обмотку, тому L₁ = L₂, а значить і I_{MAX1} = I_{MAX2} = I_{MAX}. А ось для зворотногоходової схеми індуктивності L₁ та L₂ найчастіше відрізняються, тому струм I_{MAX2} можна визначити (формула 5), порівнявши формули 3 та 4:

$$I_{MAX2} = I_{MAX1} \times \sqrt{L1 / L2} = I_{MAX1} \times N1 / N2, \quad (5)$$

де N₁ та N₂ – кількість витків, відповідно, первинної та вторинної обмоток. Другу частину формули 5 можна легко отримати, згадавши, що індуктивність обмотки пропорційна квадрату кількості витків (формула 6):

$$L_{1,2} = N_{1,2}^2 \times A_L, \quad (6)$$

де A_L – конструктивний параметр магнітопроводу.

Після відкриття діода напруга на обмотці дроселя фіксується на рівні V_{L2} , під дією якого струм дроселя за час t_{OFF} зменшиться на величину dI_2 (формула 7):

$$dI_2 = (V_{L2} / L_2) \times t_{OFF} \quad (7)$$

У квазівстановленому режимі, коли відсутні будь-які перехідні процеси як у ланцюгах живлення, так і в ланцюгах навантаження, дросель на другому етапі перетворення повинен віддати всю енергію, накопичену на першому інтервалі. Це означає, що до початку наступного циклу його струм повинен бути таким же, як і на початку попереднього.

Для схем з однообмоточним дроселем $dI_1 = -dI_2$, але у загальному випадку (для зворотногоходового перетворювача) зміни струмів обмоток визначаються законом повного струму (формула 8):

$$dI_1 \times N_1 = -dI_2 \times N_2 \quad (8)$$

Підставляючи у формулу 8 співвідношення 2 і 7, з урахуванням 6, можна отримати основне рівняння 9, що зв'яже величини напруги на висновках дроселя обмоток з відношенням тривалостей основних етапів перетворення:

$$(V_{L1} / N_1) \times t_{ON} = (-V_{L2} / N_2) \times t_{OFF} \quad (9)$$

Формула 9 є основою для отримання регульовальної характеристики перетворювача - залежність вихідної напруги від відносної тривалості першого етапу перетворення $D = t_{ON} / (t_{ON} + t_{OFF})$. Однак для того, щоб отримати ці залежності, далі необхідно розглядати кожну схему окремо.

Знижувальний перетворювач.

Знижувальний перетворювач (Step-Down Converter, Buck Converter) зазвичай має лише одну обмотку, тому $N_1 = N_2$. На першому етапі перетворення до дроселя прикладена різниця вхідної та вихідної напруги ($V_{L1} = V_{IN} - V_{OUT}$), а на другому – тільки вихідна напруга ($V_{L2} = V_{OUT}$), як показано на рис. 18. Підставляючи ці значення у формулу 9, отримуємо формулу 10:

$$(V_{IN} - V_{OUT}) \times t_{ON} = -V_{OUT} \times t_{OFF} \quad (10)$$

$$\text{де} \quad V_{OUT} = V_{IN} \times t_{ON} / (t_{ON} + t_{OFF}) = V_{IN} \times D \quad (11)$$

З формули 11 видно, що вихідна напруга V_{OUT} понижуючого перетворювача не може перевищувати вхідну V_{IN} , інакше ліва частина рівняння стане негативною, до дроселя на обох етапах перетворення буде прикладено однополярну напругу, і схема не працюватиме.

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

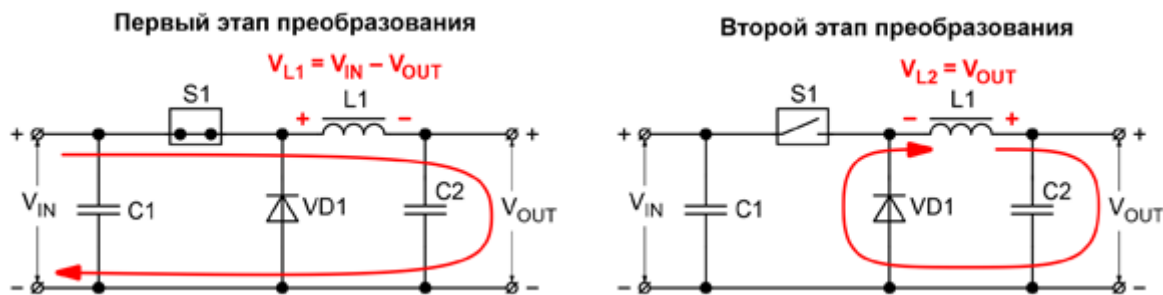


Рисунок 18 – Принцип роботи знижувального перетворювача

Підвищувачий перетворювач.

Підвищувачий перетворювач (Step-Up Converter, Boost Converter) також будується на основі однообмоточного дроселя ($N_1 = N_2$). На першому етапі перетворення, коли ключ $S1$ замкнений, до обмотки дроселя прикладено повну напругу живлення ($V_{L1} = V_{IN}$), а ось на другому є різниця між вхідною та вихідною напругою ($V_{L1} = V_{OUT} - V_{IN}$), як показано на рис. 18. Підставляючи ці значення у формулу 9, отримаємо формулу 12:

$$V_{IN} \times t_{ON} = -(V_{OUT} - V_{IN}) \times t_{OFF} \quad (12)$$

З формули 12 тепер можна отримати рівняння для регульовальної характеристики (формула 13):

$$V_{OUT} = V_{IN} \times (t_{ON} + t_{OFF}) / t_{OFF} = V_{IN} \times 1 / (1 - D) \quad (13)$$

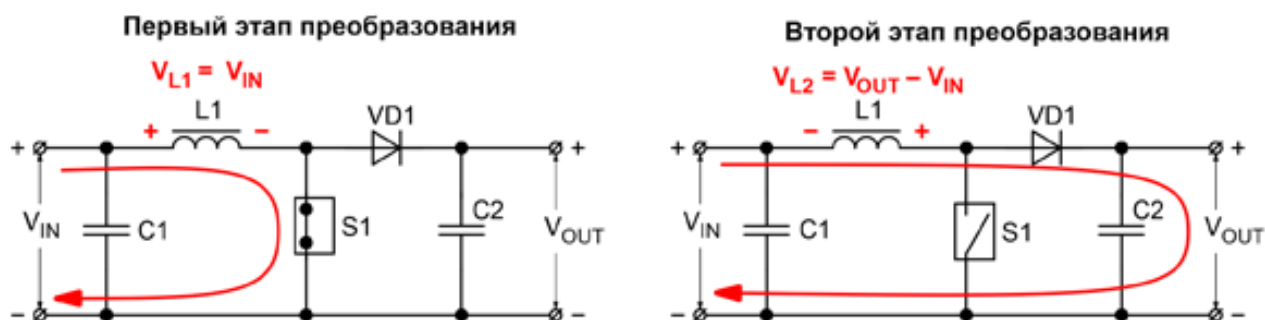


Рисунок 18 - Принцип роботи підвищувачого перетворювача

Як і в знижувальному перетворювачі, формула 13 накладає обмеження співвідношення напруг V_{IN} і V_{OUT} . При $V_{OUT} < V_{IN}$ права частина формули 13 змінить свій знак і дросель перестане віддавати енергію. Тому підвищувачий перетворювач може лише збільшувати вхідну напругу.

Інвертуючий та зворотногоходовий перетворювачі.

І в інвертуючому (Inverting Converter), і в зворотному (Flyback Converter) перетворювачах до обмоток дроселя на першому етапі прикладається повна вхідна ($V_{L1} = V_{IN}$), а на другому - повна вихідна напруга ($V_{L2} = V_{OUT}$), як показано на рис. 19. Тому базове рівняння визначення їх регулювальних характеристик однаково (формула 14):

$$(V_{IN} / N_1) \times t_{ON} = (-V_{OUT} / N_2) \times t_{OFF} \quad (14)$$

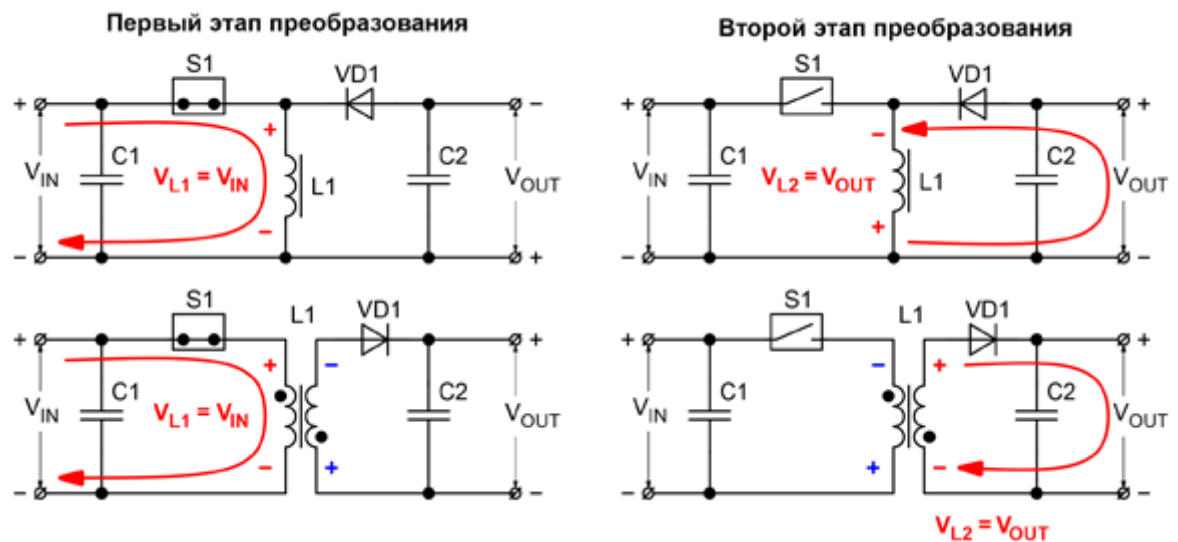


Рисунок 19 - Принцип роботи інвертуючого і зворотногоходового перетворювачів

Але оскільки інвертуючі перетворювачі зазвичай будуються на основі однообмотувальних дроселів, для яких $N_1 = N_2$, то їх регулювальна характеристика при роботі у всіх режимах, крім розривного, дещо простіше (формула 15):

$$V_{OUT} = -V_{IN} \times t_{ON} / t_{OFF} = -V_{IN} \times D / (1-D) \quad (15)$$

Ключовою особливістю зворотногоходового перетворювача є можливість забезпечення гальванічної розв'язки між входом та виходом. В цьому випадку обмотки дроселя можуть мати різну кількість витків (формула 16):

$$V_{OUT} = -V_{IN} \times (t_{ON} / t_{OFF}) \times N_2 / N_1 = -V_{IN} \times D / (1-D) \times N_2 / N_1 \quad (16)$$

Для інвертуючого перетворювача, вхід і вихід якого мають один загальний провід, вихідна напруга V_{OUT} за абсолютним значенням може бути як більшою, так і меншою за вхідний V_{IN} . Однак воно обов'язково повинно мати зворотну полярність, адже тривалість першого t_{ON} , ні другого t_{OFF} етапів перетворення не можуть бути негативними.

Для зворотногоходового перетворювача забезпечення двополярної напруги на обмотці здійснюється правильним фазуванням обмоток та включенням діода VD1. Якщо це правило буде порушено, то зворотногоходовий перетворювач не працюватиме (фактично він перетвориться на прямоходовий, який має дещо інший принцип роботи).

При використанні в знижувальній, підвищувальній та інвертуючій схемах дроселя з однією обмоткою найбільша ефективність перетворювача буде в діапазоні $0,1 \leq V_{IN} \dots V_{OUT} \leq 10$. Якщо ж вхідна напруга відрізняється від вхідної більше ніж у 10 разів, тоді, відповідно до формули 9, тривалість одного з етапів перетворення (t_{ON} або t_{OFF}) буде значно меншою від іншого (рис. 20).

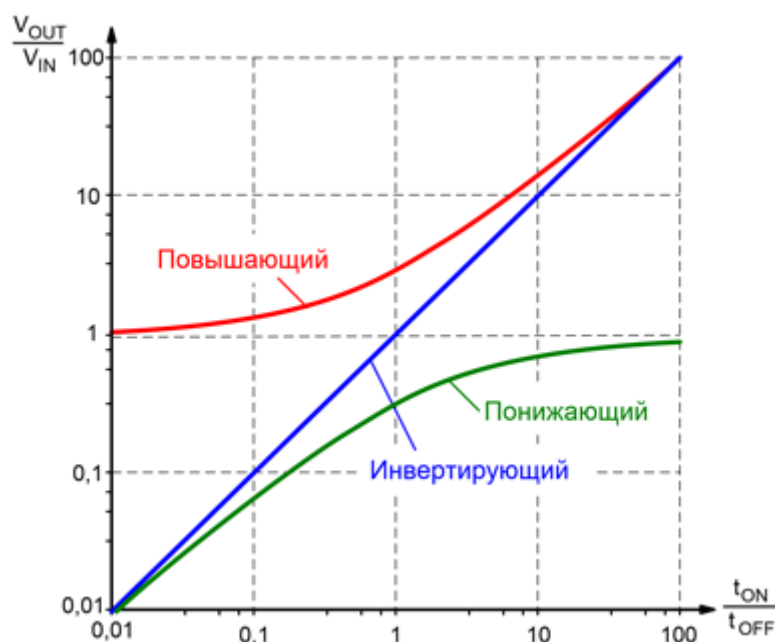


Рисунок 20 – Залежності співвідношень напруги на вході і на виході перетворювачів (V_{OUT} / V_{IN}) від співвідношень тривалостей першого та другого етапів (t_{ON} / t_{OFF})

При цьому стає складно як регулювати вихідну напругу, так і фільтрувати її, оскільки при малих тривалостях t_{ON} або t_{OFF} збільшуються пульсації струмів, що в кінцевому підсумку призводить до катастрофічного зменшення ККД, аж до фізичної неможливості реалізації даного режиму (необхідна тривалість t_{ON} або t_{OFF} може виявитися менше ніж час увімкнення/вимкнення напівпровідникового компонента).

Тому при великій різниці напруги між входом і виходом використовують автотрансформаторне включення дроселів (рис. 21), при якому транзистор або діод підключаються до частини обмотки (рисунок 8). І тут $N_1 \neq N_2$ і формули 10...15 доведеться виводити заново з базового співвідношення формули 9.

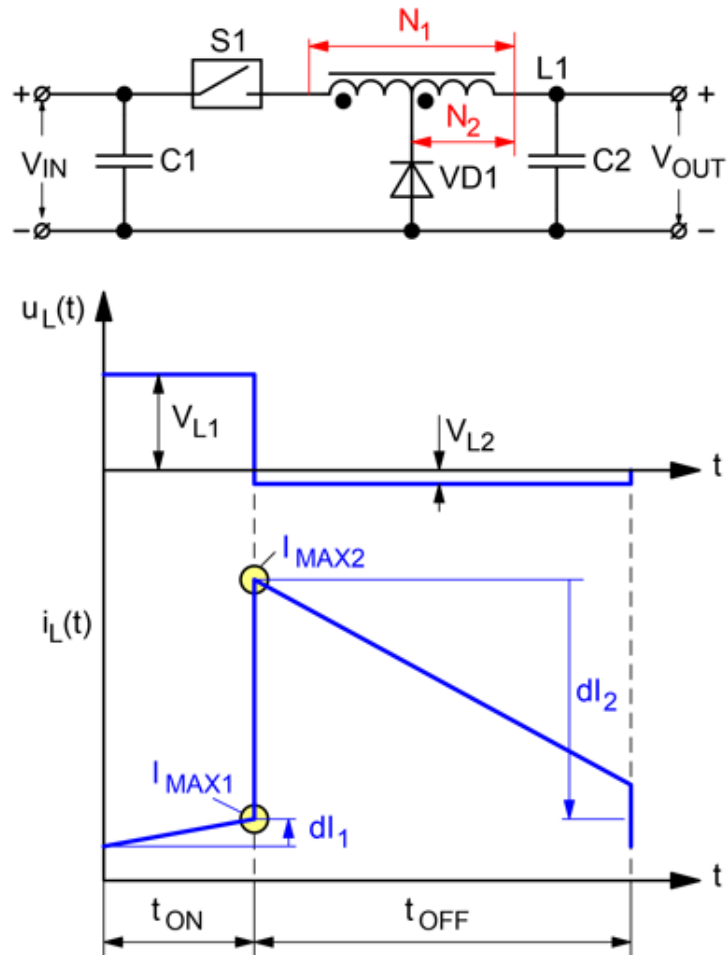


Рисунок 21 - Знижувальний перетворювач з автотрансформаторним включенням дроселя, що працює за великої різниці напруг ($V_{IN} \gg V_{OUT}$)

Як очевидно з принципу роботи, максимальне значення ККД імпульсних перетворювачів теоретично не обмежений. Але на практиці завжди будуть втрати через неідеальність елементної бази, тому реальне значення ККД силової частини у найкращих представників імпульсних перетворювачів становить 98...99%.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

3.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

Схема алгоритму роботи пристрою наведена на рис. 22.

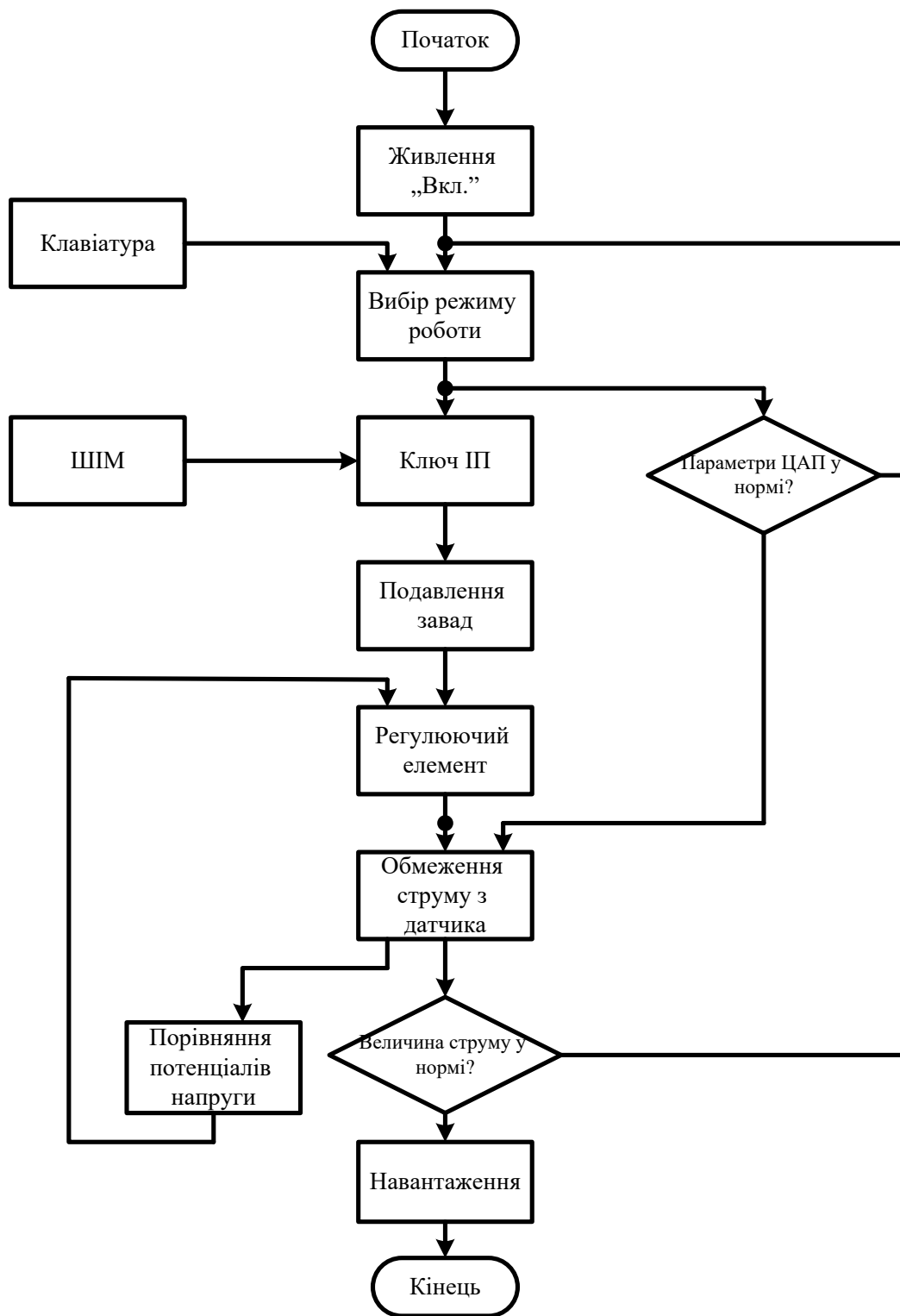


Рисунок 22 – Алгоритм функціонування пристрою

Після підключення пристрою до мережі, за допомогою клавіатури встановлюється необхідний режим роботи джерела живлення. При наявності навантаження вихідні параметри струму і напруги пристрою, порівнюються з установленими параметрами цифроаналогового перетворювача. Якщо вони у нормі, то обмеження струму і регулювання напруги не відбувається. Якщо ні, то сигнал пропорційний зміні струму з блоку обмеження струму, подається на лінійний регулятор змінюючи його опір до величини при якій струм зменшиться до номінального. Регулювання вхідної напруги відбувається за рахунок зворотного зв'язку і ШІМ – контролера.

3.2 Розробка структурної схеми пристрою

На основі алгоритму функціонування була розроблена структурна схема пристрою (рис. 23). У своєму складі вона має наступні основні вузли:

- гібридний імпульсний перетворювач напруги;
- широтно-імпульсний модулятор;
- мікроконтролер;
- цифро аналогові перетворювачі;
- клавіатуру;
- блок обмеження струму навантаження.

Регулювання і стабілізація напруги відбувається наступним чином.

За допомогою **клавіатури** задаються необхідні параметри струму і напруги стабілізатора. **Мікроконтролер** обробляє команди з клавіатури і видає інформацію на цифровий індикатор. **Постійний запам'ятовуючий пристрій** (ПЗУ) призначений для зберігання мікропрограм, констант та набору діагностичних тестів. У даному джерелі живлення застосовується **гібридний імпульсний перетворювач**. Він складається із імпульсного перетворювача знижувального типу та лінійного стабілізатора напруги.

Імпульсний перетворювач формує деяку проміжну напругу невисокої стабільності з відносно високим рівнем пульсацій, а остаточне точне регулювання вже здійснюється за допомогою лінійного стабілізатора.

У **якості ключа** імпульсного перетворювача застосовують транзистор, який періодично переходить з закритого стану у відкритий і навпаки, то приєднуючи, то від'єднуючи навантаження, і тим самим регулюючи середню напругу від джерела напруги.

Величина $U_{вих}$ залежить від співвідношення тривалості відкритого та закритого станів ключа. Частота перемикань регулюючого елемента від одиниць до сотень кГц, тому згладжування пульсацій досягається малогабаритним фільтром, увімкненим після регулюючого елемента.

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Для стабілізації вихідної напруги імпульсний блок живлення має у своєму складі негативний зворотній зв'язок з вихідними параметрами пропорційними коливанням вихідної напруги при змінних навантаженнях і коливаннях мережі живлення.

Вихідні параметри подаються на ШІМ – контролер, який у своєму складі має **компаратор та формувач імпульсів**. Тривалість цих імпульсів, які подаються на ключ імпульсного перетворювача, буде зворотно-пропорційна зміні напруги на виході стабілізатора.

Згладжування пульсуючої напруги імпульсного перетворювача відбувається за допомогою **фільтра**. Контроль величини струму навантаження відбувається за допомогою **датчика струму**. Він представляє собою активний опір, який включений послідовно з навантаженням. Величина напруги, яка падає на ньому, через підсилювач подається на **блок обмеження струму**.

В цьому блоці відбувається порівняння сигналу датчика струму з заданими параметрами ЦАП. Сигнал з блоку обмеження струму, подається на **компаратор** де порівнюється з сигналом подільника вихідної напруги та на **індикатор перевищення струму**.

З виходу компаратора сигнал пропорційний зміні струму, подається на **лінійний стабілізатор** (регулюючий елемент – транзистор) і змінює його опір. Це призводить до зниження вихідної напруги, а відповідно і зниження струму до номінального.

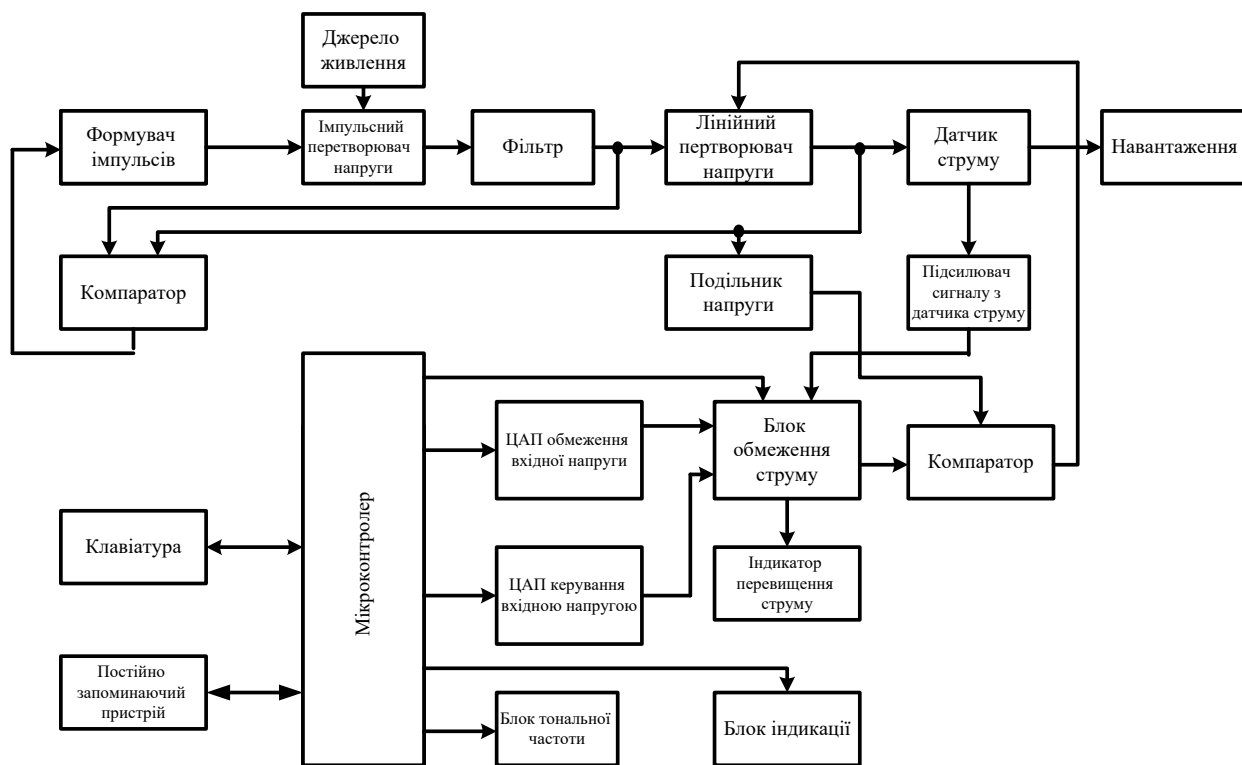


Рисунок 23 – Структурна схема імпульсного джерела живлення

4 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

ПРИСТРОЮ

4.1 Вибір елементної бази

Принципальна схема пристрою реалізована на аналогових та дискретних елементах побудованих за КМОН- технологією. На відміну від ТТЛ- серії, КМОН- мікросхеми споживають меншу потужність, але мають меншу швидкодію. Працюють вони на частотах від 1 мГц до 4 мГц. Споживання струму мікросхемами КМОН у статичному режимі становить 0,1 – 100 мкА.

Для узгодження КМОН – мікросхем з іншими серіями, використовують перетворювачі рівня логічних перепадів напруги сигналів, що виключає збої у роботі схеми.

Особливістю мікросхем серії КР1561 є наявність буферних елементів на входах і виходах всіх мікросхем. У них також поліпшений захист від перевантажень як по входу, так і по виходу. За наявності високого вхідного опору, мікросхеми мають високу навантажувальну здатність. Вихідний опір більшості мікросхем при логічній "1" і логічному "0" становить 100 ... 1000 Ом (залежить від напруги живлення).

Входи мікросхем не повинні залишатися непідключеними, навіть якщо логічний елемент в мікросхемі не використано. Вільні входи елементів повинні бути підключені до напруги джерела живлення, або до загальної шини напруги.

Одним із елементів проекрованої схеми є мікроконтролер. Він повинен мати можливість підключення зовнішньої пам'яті великого об'єму, з певною тактовою частотою, що забезпечує швидкість обробки інформації. Для підключення потрібних зовнішніх елементів, у нього повинна бути достатня кількість портів, а також він повинен забезпечувати тимчасову синхронізацію роботи пристрою, прийом і видачу результатів.

У якості такого елемента був вибраний мікроконтролер АТ89С51. Його вибір обумовлений повною відповідністю необхідних нам функцій, відносна дешевизна, можливість створення програм на мовах високого рівня та інших.

Мікроконтролер містить 4 Кбайта Flash ПЗУ, 128 байтів ОЗУ, 32

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

програмованих ліній введення / виводу, два 16-розрядних таймера / лічильника подій, послідовний порт (UART), вбудований генератор.

Характеристики AT89C51:

- 8-розрядний КМОП- мікроконтролер з постійно- запам'ятовуючою Flash;
- 4 Кбайта Flash ПЗУ;
- 128 байтів ОЗУ;
- 32 програмованих ліній введення / виводу;
- два 16-розрядних таймера / лічильника подій, послідовний порт (UART), вбудований генератор.

На рис. 24 і 25 наведені схема програмування Flash пам'яті і схема перевірки Flash пам'яті мікроконтролера, відповідно.

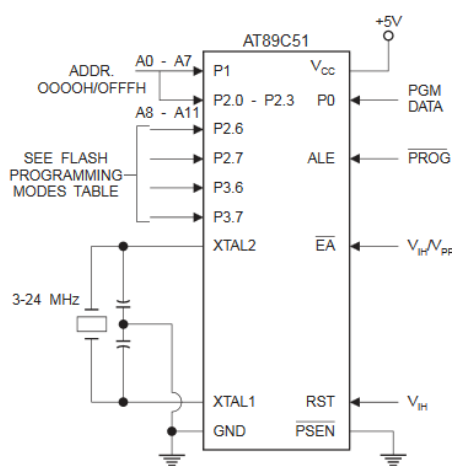


Рисунок 24– Схема програмування flash - пам'яті мікроконтролера

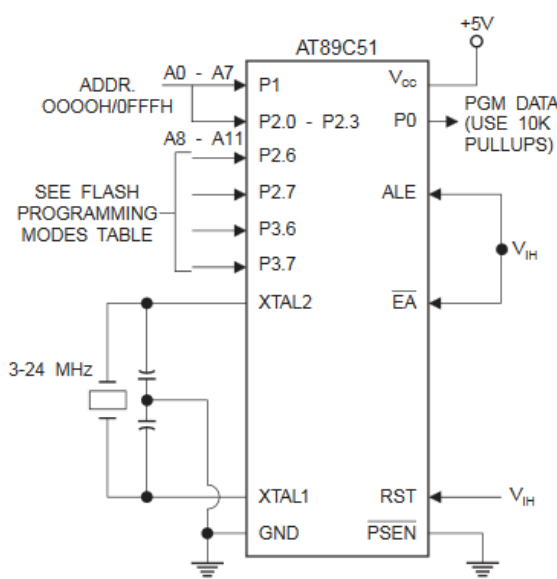


Рисунок 25– Схема перевірки flash - пам'яті мікроконтролера

Відмінні особливості:

- сумісність з приладами сімейства MCS-51TM;
- ємність перепрограмуючої Flash пам'яті 4 Кбайт;
- діапазон робочих частот від 0 Гц до 24 МГц.
- СОЗП ємністю 128 байтів;
- 32 програмованих ліній введення / виводу;
- два 16-розрядних таймера / лічильника подій;
- шість джерел сигналів переривання;
- програмований послідовний канал UART.

Існують два варіанти мікроконтролерів AT89C51. Перший з можливістю внутрішнього системного програмування з використанням напруги 5 В, а другий програмування з використанням напруги 12 В.

На рис. 26 наведені види корпусів мікроконтролера з номерами виводів.

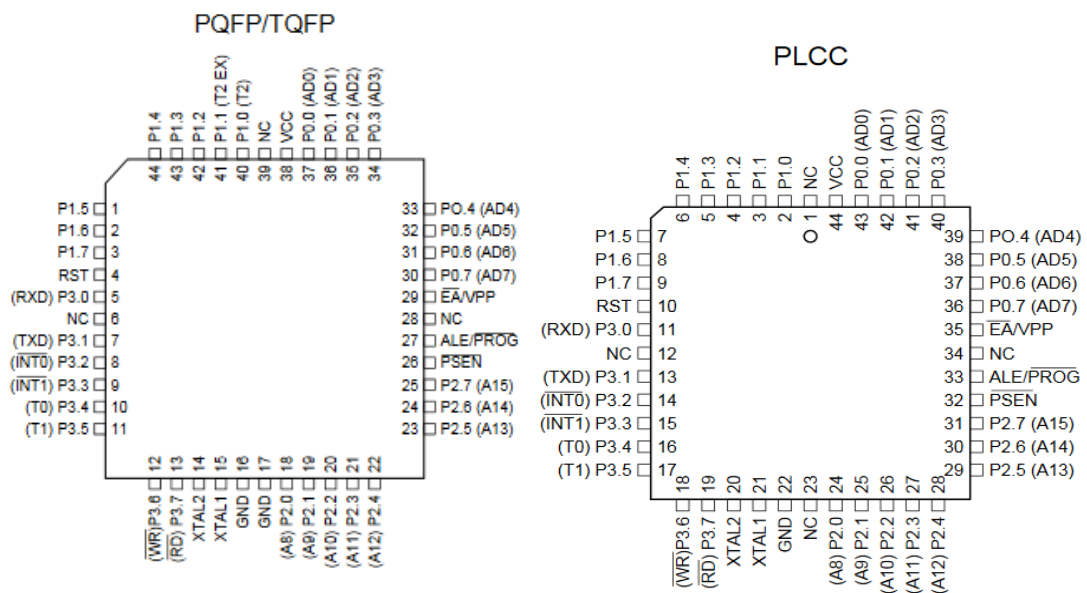


Рисунок 26 - Види корпусів та виводів для підключення AT89C51

Структурна схема мікроконтролера AT89C51 зображена на рис. 27.

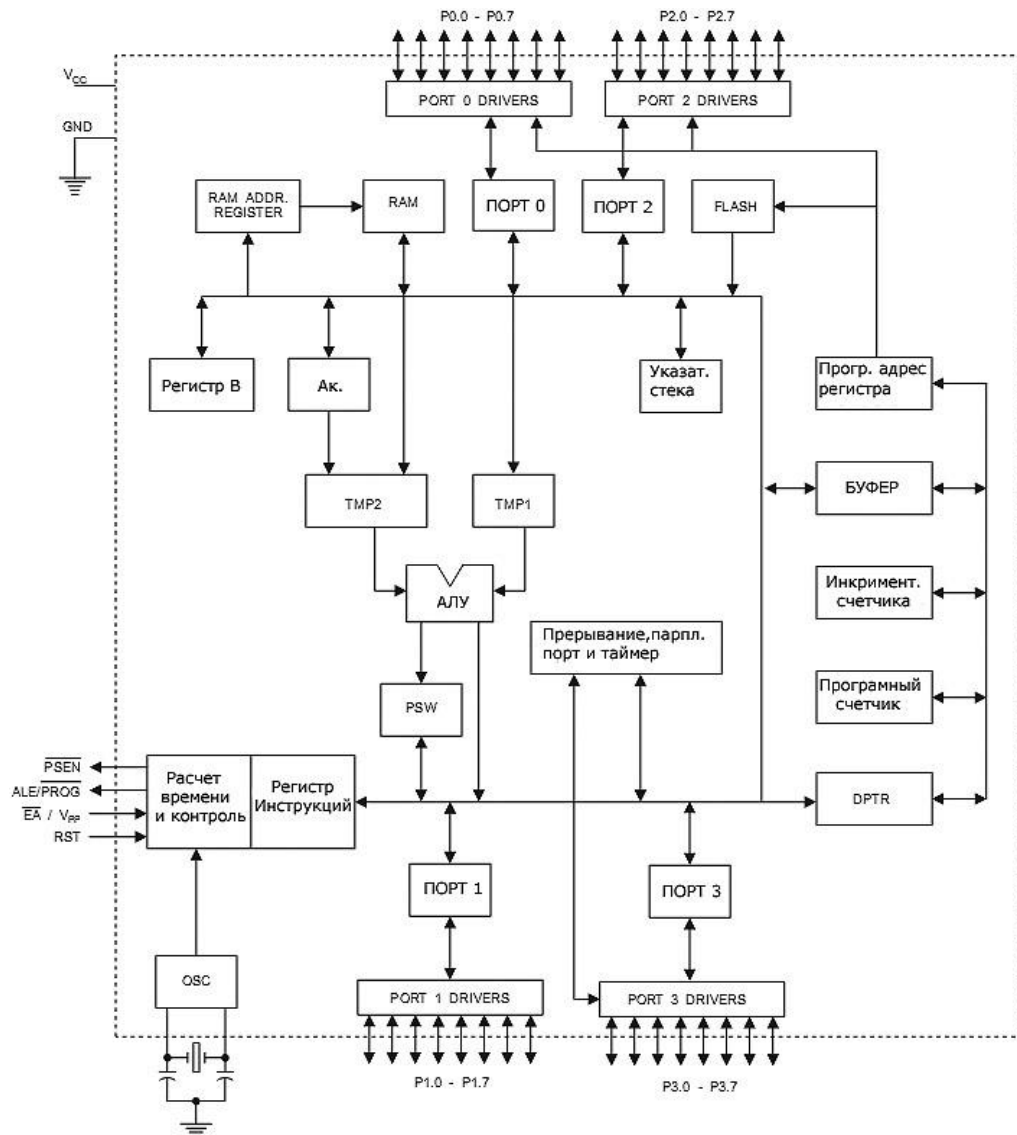


Рисунок 27 – Структурна схема мікроконтролера АТ89С51

Постійний запам'ятовуючий пристрій реалізований на мікросхемі АТ24С02А. Особливості:

- внутрішня організація - 128x8 (1кб), 256x8 (2кб), 512x8 (4КБ), 1024x8 (8КБ) або 2048x8 (16КБ);
- послідовний двопровідний інтерфейс;
- двохнаправлений протокол передачі даних;
- сумісність - 100 кГц (1.8В, 2.5В, 2.7В) і 400 кГц (5V);
- вивід захисту даних апаратних засобів;
- режими запису – 8 – байтова сторінка (1кб, 2кб) і 16 – байтова сторінка (4Кб, 8Кб, 16кб);
- висока надійність;

- часовий ресурс: 1 мільйон циклів запису;
- збереження даних: 100 років;
- ESD захист > 3,0 В;
- корпуси - JEDEC SOIC з 8 і 14 виходами, PDIP з 8 виходами, MSOP з 8 виходами і TSSOP з 8 виходами.

Постійний запам'ятовуючий пристрій АТ24С02А, забезпечує 1024/2048/4096/8192/16384 бітів серії електричного стирання і програмоване (EEPROM), організоване як 128/256/512/1024/2048 слів по 8 біт.

АТ24С02А використовується для економії місця в корпусі – TSSOP з 8 виводами і звертаються до них через послідовний двох - провідний інтерфейс.

В таблиці 1 наведені абсолютні номінальні значення ПЗП.

Таблиця 1 - Абсолютні максимальні номінальні значення

Робоча температура	- 55°C до +125°C
Температура зберігання	- 65°C до +150°C
Напруга на будь-якому виході щодо землі	- 1,0В до +7,0В
Максимальна робоча напруга	6,25 В
Постійний струм на виході	5,0 мА

На рисунку 28 наведено схему розміщення виводів для підключення.

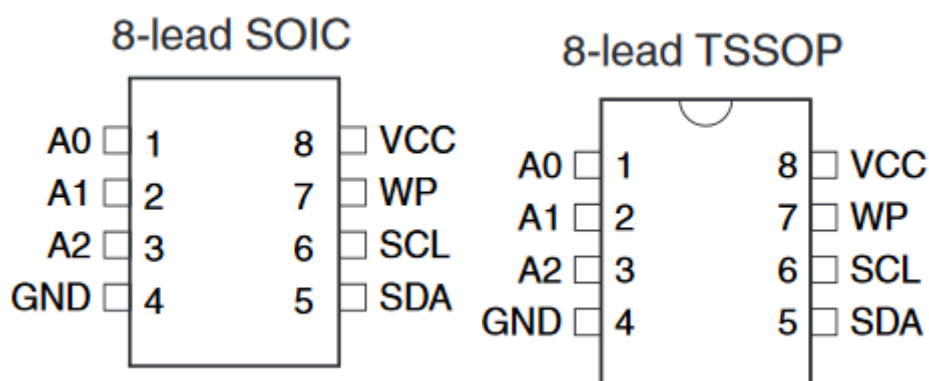


Рисунок 28 - Схема розміщення виводів для підключення

Цифро-аналоговий перетворювач імпульсного джерела живлення реалізований на 8-розрядному регістрі 74НС573 з керуванням за рівнем і трьома станами на виходах, виконаного за технологією – КМОН. Його умовне позначення наведено на рис. 29.

Основні характеристики:

- діапазон напруг живлення від 2,0 В до 6,0 В;
- гранична напруга живлення до 7,0 В;
- діапазон робочих температур від -60 ° С до + 125 ° С;
- час затримки поширення сигналу ≤ 18 нс при $U_{CC} = 6,0$ В, $T = 25$ ° С;
- вихідна напруга низького рівня $\leq 0,26$ В при $U_{CC} = 6,0$ В, $I_O = 7,8$ мА, $T = 25$ ° С;
- вихідна напруга високого рівня $\geq 5,5$ В при $U_{CC} = 6,0$ В, $I_O = 7,8$ мА, $T = 25$ ° С;
- граничне значення вхідної і вихідної напруги від -0,5 В до $(U_{CC} + 0,5)$ В.

В таблиці 1.3 приведена таблиця істинності даного регістра

		RG	Z	
2	D0		Q0	19
3	D1		Q1	18
4	D2		Q2	17
5	D3		Q3	16
6	D4		Q4	15
7	D5		Q5	14
8	D6		Q6	13
9	D7		Q7	12
11	ED		V _{CC}	20
1	EZ		0V	10

Рисунок 29 – Умовне графічне позначення мікросхеми 74НС573

Компаратор схеми пристрою, порівнює між собою два електричних сигнали і виводить цифровий сигнал, який вказує на збільшення одного вхідного сигналу над іншим, реалізований на аналоговій мікросхемі LM393. У складі мікросхеми має два незалежних компаратора напруги. LM393 може працювати, як

від однополярного джерела живлення, так і від двополярного джерела. Розміщення виводів на мікросхемі показано на рис. 30. Струм споживання компаратора не залежить від напруги живлення. Компаратор має вихід з відкритим колектором.

Особливості LM393:

- широкий діапазон напруги живлення: 2 ... 36 В або $\pm 1 \dots \pm 18$ В;
- низький струм споживання (0,45 мА);
- низький вхідний струм зміщення: 20 нА;
- низька вхідна напруга зсуву: ± 1 мВ ;
- низька вихідна напруга насичення: 80 мВ;
- TTL, DTL, ECL, MOS, CMOS сумісні виходи;
- компаратор LM393 доступний в корпусі: DFN8 2x2, MiniSO8, TSSOP8 і SO8.

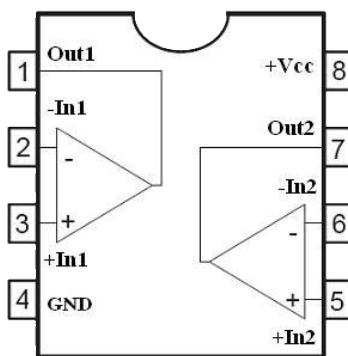


Рисунок 30 – Розміщення виводів на мікросхемі LM393

Таблиця 2 – Граничні режими LM393N

Напруга живлення	+36В або ± 18 В
Вхідна напруга	-0,3..+36В
Диференціальна вхідна напруга	36В
Вихідний струм	20mA
Діапазон температур	0..+70°C

Еквівалентна схема одного каналу компаратора приведена на рис. 31.

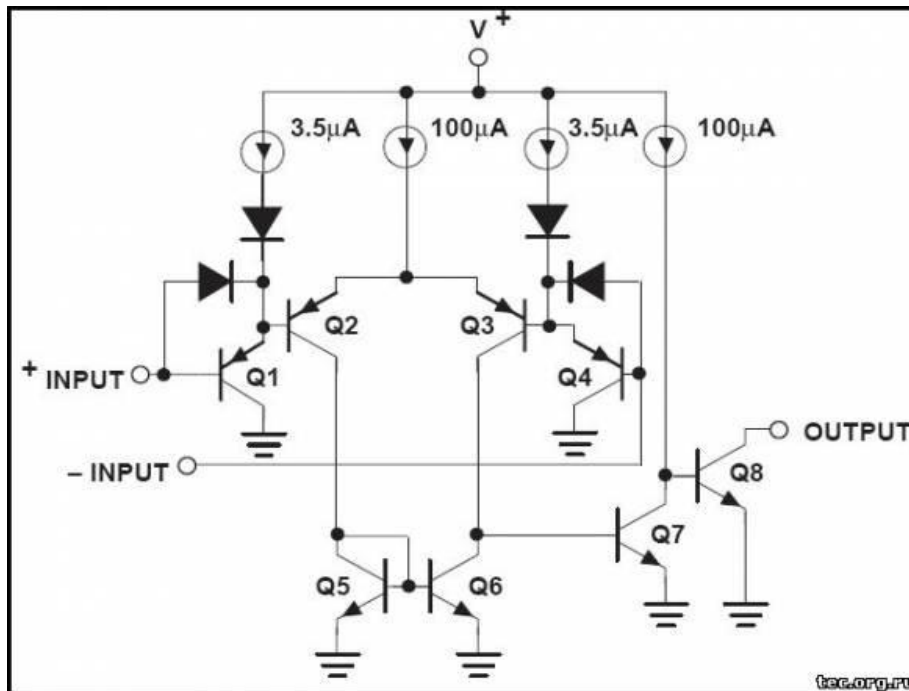


Рисунок 31 – Еквівалентна схема одного каналу LM393N

Операційний підсилювач реалізований на мікросхемі **КР140УД608**. Вона має внутрішню частотну корекцію, захист виходу від короткого замикання і широке застосування. КР140УД608 містить вхідний диференційний повторювач на "супербетта" транзисторах. Така конструкція дозволяє зменшити вхідні струми. В таблиці 3 наведено основні характеристики операційного підсилювача.

Призначення виводів КР140УД608, таблиця 4.

Таблиця 4– Призначення виводів КР140УД608

1	Offset	Балансування нуля
2	Vin(-)	Інвертуючий вхід
3	Vin(+)	Неінвертуючий вхід
4	-Vee	Мінус живлення
5	Offset	Блансування нуля
6	Vout	Вихід
7	+Vcc	Плюс живлення
8	NC	Не підключений

Таблиця 3 – Основні характеристики КР140УД608:

Напруга живлення (ном.)	$\pm 15\text{В}$
Напруга живлення (доп.)	$\pm 5.. \pm 18\text{В}$
Струм споживання, не більше	$\pm 2,8\text{мА}$
Максимальна вихідна напруга	$\pm 11\text{В}$
Максимальна синфазна вхідна напруга	11В
Напруга зсуву нуля	$\pm 5\text{мВ}$
Вхідний струм, не більше	30нА
Різниця вхідних струмів, не більше	10нА
Коефіцієнт підсилення напруги	> 70000
Коефіцієнт ослаблення синфазних вхідних напруг	$> 80\text{дБ}$
Вхідний опір	$> 1\text{Мом}$
Частота одиничного підсилення	1МГц
Швидкість наростання (макс.)	$> 2,5\text{В/мкс}$
Максимальний вихідний струм	25мА
Температурний діапазон	$-20..+70^\circ\text{C}$
Корпус	2101.8-1 (DIP-8)
Аналоги	MC1456G
Напруга зсуву нуля	$\pm 5\text{мВ}$

На рис. 32 наведено розміщення виводів КР140УД608.

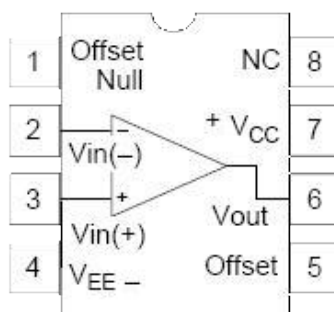


Рисунок 32 – Розміщення виводів КР140УД608

Одним із елементів ШІМ- контролера є мікросхема LM2574HVN-ADJ. Вона являє собою простий (знижуючий) регулятор напруги з регульованим виходом в DIP корпусі з 8 виводів. Він надає всі активні функції необхідні для регулятора.

Цей регулятора включає в себе внутрішню компенсацію частоти і фіксовану частоту генератора. LM2574HV пропонує високу заміну ефективності для популярних трьох терміналів лінійних регуляторів.

Стандартний ряд дроселів, оптимізований для використання з LM2574HV доступний від декількох різних виробників. Ця функція значно спрощує конструкцію імпульсних джерел живлення. Цей регулятор включає в себе $\pm 4\%$ допуск на вихідну напругу. Характеристики регулятора наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Технічні параметри LM2574HVN-ADJ

Максимальний вихідний струм	500mA
Максимальна робоча температура	125°C
Мінімальна вихідна напруга	1,23В
Максимальна вихідна напруга	5 В
Кількість виводів	8 виводів
Рівень чутливості до вологості (MSL)	MSL 1
Частота комутації	52 кГц
Кількість виходів	1
Мінімальна вхідна напруга	4В
Рівень чутливості до вологості (MSL)	MSL 1
Максимальна вхідна напруга	60 В

Контактні виводи і зовнішній вигляд LM2574HVN-ADJ наведені на рис. 33.

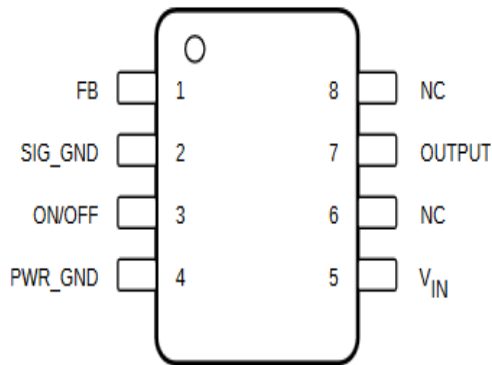


Рисунок 33– Конфігурація контактів регулятора напруги LM2574HVN-ADJ

Блок клавіатури (рис. 34) - зібраний на дванадцяти кнопках SB1 - SB12.

Вихідну напруг змінюють дискретно по 1 і 0,1 В, натисканням на кнопки SB5, SB6, SB9, SB 10, а величину максимального струму - по 0,1 і 0,01 А, натискаючи на кнопки SB1-SB4, або натискаючи на кнопку SB12 і вводячи необхідні числові значення, відповідно інструкції на індикаторі.

Після кожної зміни налаштувань проводиться їх запис в EEPROM DD1.

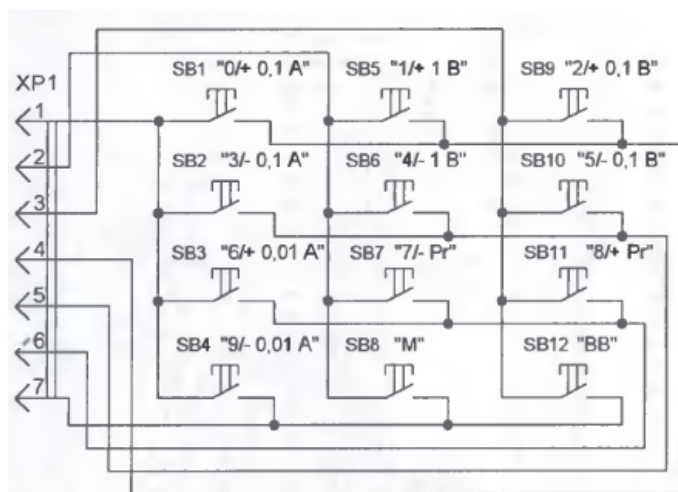


Рисунок 34 – Блок клавіатури

Доступ до запрограмованих значень проводиться натисненням на кнопки SB7, SB11. Програмування осередків пам'яті проводиться таким чином: натисканнями на кнопки SB7, SB11 вибирають невикористаний номер програми, натискають на кнопку SB12 і вводять значення напруги і максимального струму. Потім натискають на кнопку SB8 і підтверджують запис повторним натисканням на кнопку SB8, або скасовують її натисканням на будь-яку іншу кнопку.

Вузол індикації (рис. 35) реалізований на ЖКІ АС-162УВЕ з двома рядками по 16 символів у кожному. На індикаторі відображаються значення вихідної напруги, струму, а також значення максимального струму і номер програми, якщо вона активізована.

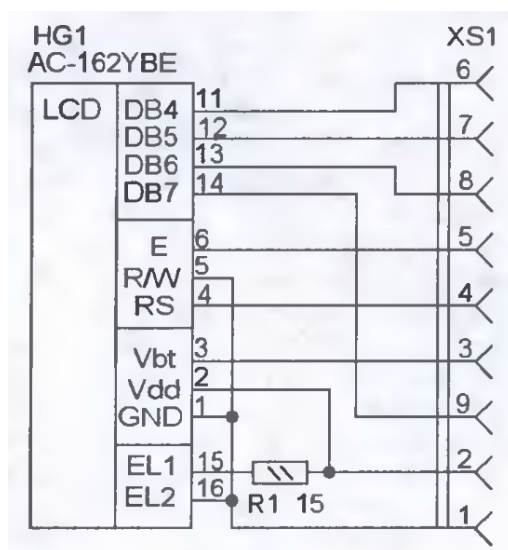


Рисунок 35 – Блок індикації АС-162УВЕ

Застосовані оксидні конденсатори К50-35, або імпортні, С6, С7 - К10-17, КД-1, інші - К10-17в для поверхневого монтажу. Кварцовий резонатор - НС-49У, РГ05, РК169 на частоту 8 ... 12 МГц. Малогабаритна динамічна головка опором 10 ... 50 Ом.

Дросель L1 намотаний проводом ПЕВ-2 діаметром 1,0 мм на магнітопроводі ПЛ 24x12x6 з фериту 2000НМС з повітряним зазором 0,3 мм. Трансформатор Т1, має габаритну потужність не менше 100 Вт. Обмотка II (з напругою 28 В), повинна бути намотана дротом з діаметром 1,5 мм, обмотка III (з напругою 8 ... 10 В) - проводом діаметром 0,2 ... 0,3 мм.

4.2 Розрахунок основних вузлів принципової схеми

Розрахунок трансформатора блоку живлення.

Вихідні дані для розрахунку:

- напруга первинної обмотки трансформатора $U_1 = 220 \text{ В};$
- напруга вторинної обмотки трансформатора $U_2 = 5,0 \text{ В};$
- струм у вторинній обмотці трансформатора $I_2 = 1 \text{ А}.$

Розрахунок:

1. Максимальна потужність, яка споживається від вторинної обмотки:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 5 \cdot 1 = 5 \text{ Вт}.$$

2. Потужності трансформатора:

$$P_{\text{тр}} = 1,25 \cdot P_2 = 1,25 \cdot 5 = 6,25 \text{ Вт}.$$

3. Розрахунок площі перетину сердечника магнітопроводу:

$$S = 1,3 \cdot P_{\text{тр}} = 1,3 \cdot 6,25 = 8,125 \text{ см}^2.$$

де: S - перетин сердечника магнітопроводу, см^2 ;

4. Визначення числа витків первинної (мережевої) обмотки:

$$w_1 = 50 \cdot U_1 / S,$$

де: w_1 - число витків обмотки;

U_1 - напруга на первинній обмотці, В;

S - перетин сердечника магнітопроводу, $\text{см}.$

$$w_1 = 50 \cdot 220 / 8,125 = 1353,8 \text{ Вит}.$$

5. Визначення числа витків вторинної обмотки:

$$w_2 = 55 \cdot U_2 / S,$$

де: w_2 - число витків вторинної обмотки;

U_2 - напруга на вторинній обмотці, В;

S - перетин сердечника магнітопроводу, $\text{см}^2.$

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$w_2 = 55 \cdot 5 / 8,125 = 33,8 \text{ Вит.}$$

6. Струм первинної обмотки:

$$I_1 = P_{\text{тр}} / U_1 = 6,25 / 220 = 0,037 \text{ А}$$

7. Розрахунок потужності первинної обмотки трансформатора:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = 220 \cdot 0,037 = 8,14 \text{ Вт.}$$

Визначення діаметра проводів обмоток трансформатора:

З довідника вибираємо стандартні діаметри дротів та їх марку:

Для первинної обмотки зі струмом $I_1 = 0,037 \text{ А}$, $d_1 = 0,12 \text{ мм}$, марки ПЕЛ;

Для вторинної обмотки зі струмом $I_2 = 1 \text{ А}$, $d_2 = 0,8 \text{ мм}$, марки ПЕЛ.

В результаті розрахунків, отримані наступні дані:

$U_1 = 220 \text{ В}$, $I_1 = 0,037 \text{ А}$, $P_1 = 8,14 \text{ Вт}$, $w_1 = 1353,8 \text{ Вит}$, $d_1 = 0,12 \text{ мм}$,

$U_2 = 5 \text{ В}$, $I_2 = 1 \text{ А}$, $P_2 = 5 \text{ Вт}$, $w_2 = 33,8 \text{ Вит}$, $d_2 = 0,8 \text{ мм}$.

Розрахунок випрямляча блоку живлення.

Вихідні дані для розрахунку випрямляча:

- напруга на навантаженні $U_n = 5 \text{ В}$;
- споживаний максимальний струм навантаження $I_n = 1,0 \text{ А}$.

Розрахунок проводиться в такому порядку:

1. Напруги на вторинній обмотці мережевого трансформатора:

$$U_2 = B \cdot U_n,$$

де: U_n - постійна напруга на навантаженні, В;

B - коефіцієнт, що залежить від струму навантаження - визначають з табл. 6.

$$U_2 = 1,7 \cdot 5 = 8,5 \text{ В.}$$

Таблиця 6 – Коефіцієнт, що залежить від струму навантаження

Коефіцієнт	Струм навантаження , А					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
В	0,8	1,0	1,9	1,4	1,5	1,7
С	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8

За струмом навантаження, проводиться розрахунок максимального струму, який протікає через кожен діод випрямлювального моста:

$$I_d = 0,5 \cdot 3 \cdot I_n,$$

де: I_d - струм через діод, А;

I_n - максимальний струм навантаження, А;

C - коефіцієнт, що залежить від струму навантаження (табл.6).

$$I_d = 0,5 \cdot 1,8 \cdot 1 = 0,9 \text{ А.}$$

2. Зворотна напруга, яке буде прикладена до кожного діода випрямляча:

$$U_{zv} = 1,5 \cdot U_n,$$

де: U_{zv} - зворотна напруга, В;

U_n - напруга на навантаженні, В.

$$U_{zv} = 1,5 \cdot 5 = 7,5 \text{ В.}$$

Із довідника вибираємо тип діодів, у яких значення випрямленого прямого струму і допустимої зворотної напруги, дорівнюють або перевищують розрахункові. Вибираємо діод типу Д9І з параметрами: $U_{zv} = 75 \text{ В}$; $I_{пр} = 1,0 \text{ А}$.

3. Ємності конденсатора фільтра:

Ємність конденсатора фільтра вирахуємо за формулою:

$$C_f = 3200 \cdot I_n / U_n \cdot K_p,$$

де: C_f - ємність конденсатора фільтра, мкФ;

I_n - максимальний струм навантаження. А;

U_n - напруга на навантаженні, В;

K_p - коефіцієнт пульсації випрямленої напруги.

$$C_f = 3200 \cdot 1/5 \cdot 0,053 = 2075 \text{ мкФ.}$$

Вибираємо конденсатор К50-35-10В-2200мкФ.

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок собівартості виготовлення пристрою

Розрахунок собівартості пристрою за статтями витрат, називається калькуляцією.

Витрати, пов'язані з виробництвом і реалізацією пристрою, групуються за наступними статтями:

- матеріали та комплектуючі;
- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на соціальні заходи;
- витрати на утримання і експлуатацію устаткування;
- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати; – витрати на збут.

Витрати на матеріали та комплектуючі вироби визначаються виходячи з ціни за одиницю матеріалу/комплектуючого та їх необхідної кількості (табл. 7).

Таблиця 7 – Розрахунок витрат на комплектуючі

№ з/п	Найменування комплектуючих	Кількість, шт	Ціна за од., грн	Вартість, грн
Конденсатори				
	К50-35-10В-2200мкФ	1	11	11
	К10-176-Н90-0,1мкФ	1	0,95	0,95
	К50-35-16В-10мкФ	1	2,1	2,1
	К73-17-250В-0,1мкФ	1	0,95	0,95
	К50-35-16В-1000мкФ	2	9	18
	К50-35-10В-2200мкФ	1	11	11
	К10-176-Н90-0,1мкФ	2	0,95	1,9
	К50-35-10В-2200мкФ	1	11	11
	К50-35-25В-100мкФ	1	4,2	4,2
	К73-17-400В-1мкФ	1	1,2	1,2
	К10-176-Н90-0,1мкФ	1	0,95	0,95
	К50-35-100В-470мкФ	1	8,3	8,3

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Продовження таблиці 7

	К10-176-Н90-0,1мкФ	3	0,95	2,85
	К50-35-16В-1000мкФ	1	9	9
	Індикатори			
	АС-162УВЕ	1	17	17
	АЛ307ВМ	1	3,2	3,2
	Дроселі			
	200мкГн	1	21	21
	Мікросхеми			
	LM393	2	15	30
	78L05	1	17	17
	LM2574HVN-ADJ	1	21	21
	7812	1	27	27
	7805	1	29	29
	КР140УД608	1	14	14
	КР140УД17Б	1	16	16
	АТ24С02А	1	13	13
	АТ89С51	1	19	19
	DS1812-5	1	12	12
	74НС573	3	13	39
	Резистори			
	МТЛ-0,25-1к±5%	1	0,47	0,47
	МТЛ-0,25-33к±5%	1	0,51	0,51
	МТЛ-0,25-22к±5%	1	0,53	0,53
	МТЛ-0,25-75к±5%	1	0,67	0,67
	МТЛ-0,25-200к±5%	1	0,71	0,71
	МТЛ-0,25-100к±5%	3	0,68	2,04
	МТЛ-0,25-10к±5%	3	0,5	1,5
	МТЛ-0,25-2,7к±5%	3	0,46	1,38
	МТЛ-0,25-1,2к±5%	1	0,46	0,46
	МТЛ-0,25-2,2к±5%	24	0,46	11,1

Продовження таблиці 7

	МТЛ-0,25-4,7к±5%	24	0,51	12,2
	Діоди			
	KBL04	1	15	15
	DB101	1	18	18
	10GW2C42	1	19	19
	Транзистори			
	BC857	1	7,0	7
	2N7002	2	11	22
	BC847	2	22	44
	KT819Г	1	37	37
	2SD1415	1	41	41
	Всього			576,2

Таблиця 8 – Приклад розрахунку витрат на сировину та матеріали

Матеріал, сировина	Одиниця виміру	Норма витрати	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн.
Склотекстоліт	м ²	0,05	95	4,75
Каніфоль	кг	0,04	16	0,64
Флюс	кг	0,02	140	2,8
Припій	Кг	0,06	260	15,6
Лак	Кг	0,01	565	29,4
Сумарні витрати				

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат ($k_{м-з}=5\div 15\%$) вартість комплектуючих та матеріалів складе:

$$KM = (576,2+29,4) (100+10)/100 = 666 \text{ грн.}$$

Витрати на основну заробітну плату (Зо):

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

$$Z_o = \sum_{i=1}^n Tz_i \cdot Hч_i \cdot n$$

де Tz_i – годинна тарифна ставка окремого спеціаліста (інженера електронщика, лаборанта тощо), що задіяний у виробництві пристрою (установки), грн/год;

$Hч_i$ – витрачений час робітником на виробництво і наладку пристрою (установки);

n – кількість працівників, які задіяні у виробництві пристрою (установки).

Годинна тарифна ставка розраховується, виходячи з величини місячного окладу спеціаліста:

$$Tz_i = \frac{Tm_i}{Bф_i \cdot 8} = \frac{6000}{23 \cdot 8} = 33 \text{ грн.}$$

Tm_i – місячний оклад (ставка) спеціаліста, грн;

$Bф_i$ – фактично відпрацьований час за розрахунковий період (місяць), днів.

$$Z_o = \sum_{i=1}^n Tz_i \cdot Hч_i \cdot n = 33 \cdot 40 \cdot 4 = 5280 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата (10÷30% від Z_o):

$$Z_d = Z_o \cdot \frac{Kd}{100} = 5280 \cdot \frac{25}{100} = 1320 \text{ грн.}$$

де Kd – відсоток додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи містять відрахування від суми основної і додаткової зарплати за встановленими ставками:

- на державне страхування від нещасних випадків;
- на обов'язкове державне соціальне страхування на випадок безробіття;
- у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності і витратами, зумовленими народженням дитини і похованням

$$Bсз = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{36,3}{100} = (5280 + 1320) \cdot \frac{36,3}{100} = 2395 \text{ грн.}$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування складають 120-150% від основної заробітної плати:

$$V_{UEY} = Z_o * 1,4 = 5280 * 1,4 = 7392 \text{ грн.}$$

Загально виробничі витрати визначаються із відомостей по аналізу повної собівартості виробу і в середньому можуть складати 130-250 % від основної заробітної плати.

$$V_{ЗВ} = 5280 * 1,8 = 1043 * 1,8 = 9504 \text{ грн.}$$

Виробнича собівартість визначається як сума статей витрат:

$$C_B = KM + Z_o + Z_d + V_{CЗ} + V_{UEY} + V_{ЗВ}.$$

$$C_B = 666 + 5280 + 1320 + 2395 + 7392 + 9504 = 26557 \text{ грн.}$$

Адміністративні витрати визначаються із відомостей по аналізу повної собівартості виробу і в середньому можуть складати 140-200% від основної заробітної плати.

$$V_A = Z_o * 1,5 = 5280 * 1,5 = 7920 \text{ грн.}$$

Зовнішні виробничі витрати, які мають зв'язок зі збутом виробів, складають 5-10% від виробничої собівартості:

$$V_{ЗВ} = C_B * 0,1 = 26557 * 0,1 = 2656 \text{ грн.}$$

Повна собівартість:

$$PC = C_B + V_A + V_{ЗВ} = 26557 + 7920 + 2656 = 37133 \text{ грн.}$$

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції, який встановлює підприємство

$$R = \frac{П}{C} \cdot 100\%,$$

де R – рентабельність пристрою в розмірі 30% від його собівартості.

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Таблиця 9 – Калькуляція собівартості пристрою

Стаття калькуляції	Витрати, грн
Матеріали та комплектуючі	666
Витрати на основну заробітну плату	5280
Додаткова заробітна плата	1320
	2395
Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	7392
Загальновиробничі витрати	9504
Виробнича собівартість	26557
Адміністративні витрати	7920
Витрати на збут	2656
Повна собівартість пристрою	37133

Відповідно оптова ціна пристрою визначається

$$C_{opt} = C + \frac{R \cdot C}{100},$$

$$C_{opt} = 37133 + \frac{37133 \cdot 0,3}{100} = 37244 \text{ грн.}$$

Визначення відпускної ціни пристрою. Відпускна ціна включає податок на додану вартість:

$$C_{розд} = C_{opt} \cdot 1,2,$$

де 20% - ПДВ.

$$C_{розд} = 37244 \cdot 1,2 = 44693 \text{ грн.}$$

ВИСНОВОК

У випускній кваліфікаційній роботі розроблено імпульсне джерело живлення із завданням вихідних параметрів струму і напруги. На основі аналізу ряду існуючих імпульсних перетворювачів, запропонований пристрій стабілізації і обмеження вихідних параметрів.

У науково-дослідницькій частині роботи зроблений аналіз існуючих імпульсних перетворювачів та розглянуті принципи стабілізації напруги перетворювача. Найбільш поширений спосіб регулювання напруги є широтно-імпульсний.

Необхідні параметри струму і напруги стабілізатора, задаються за допомогою клавіатури. Роботою пристрою управляє мікроконтролер. У даному джерелі живлення застосовується гібридний імпульсний перетворювач у складі якого є імпульсний перетворювач знижувального типу та лінійний стабілізатор напруги.

Імпульсний перетворювач формує деяку проміжну напругу невисокої стабільності з відносно високим рівнем пульсацій, а остаточне точне регулювання вже здійснюється за допомогою лінійного стабілізатора.

Частота перемикачів регулюючого елемента від одиниць до сотень кГц. Згладжування пульсацій напруги здійснюється малогабаритним фільтром.

Для стабілізації вихідної напруги імпульсний блок живлення має у своєму складі негативний зворотній зв'язок з вихідними параметрами пропорційними коливанням вихідної напруги при змінних навантаженнях і коливаннях мережі живлення.

Вихідні параметри подаються на ШІМ – контролер, який у своєму складі має компаратор та формувач імпульсів. Тривалість цих імпульсів, які подаються на ключ імпульсного перетворювача, буде зворотно-пропорційна зміні напруги на виході стабілізатора.

В техніко-екномічній частині кваліфікаційної роботи виконані розрахунки собівартості виготовлення імпульсного джерела живлення.

					ЕлІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

ЛІТЕРАТУРА

1. Перетворювальна техніка : підручник / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний та ін. ; за ред. В. С. Руденка. – Харків : Фоліо, 2018. – Ч. 2. – 360 с.
2. Шавьолкін О. О. Перетворювальна техніка : навч. посібник / О. О. Шавьолкін, О. М. Наливайко. – Краматорськ : Донбаська ДМА, 2016.– 328 с.
3. Забродин Ю. С. Промышленная электроника / Ю. С. Забродин. – Москва : Высшая школа, 2015.
4. Перетворювальна техніка / В. С. Руденко та ін. – Київ : ІСДО, 2015. – Ч. 1.
5. Перетворювальна техніка / В. С. Руденко та ін. – Харків : ФОЛІО, 2016. – Ч. 2.
6. Енергетична електроніка / В. Я. Жуйков та ін. – Київ : КПІ, 2018. – 480 с.
7. Бойко В. І. Основи технічної електроніки : у 2 кн. Кн. 2 Схемотехніка : підручник / В. І. Бойко, А. М. Гурій, В. Я. Жуйков та ін. – Київ : Вища школа, 2017. – 510 с.
8. Северис Р. Н. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания / Р. Н. Северис, Г. К. Блум. – Москва : Энергоатомиздат, 2019.
9. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б. Ю. Семенов. – Москва : Солон-Р, 2016.
10. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи / П. А. Воронин. – Москва : Додэка – XXI, 2019.
11. Економіка підприємства: Підручник / За заг. ред. д.е.н., проф. Л.Г.Мельника Суми: ВТД “Університетська книга”, 2004. – 648с.
12. Мельник Л.Г., Ильяшенко С.Н., Касьяненко В.А. Экономика информации и информационные системы предприятия : Учебное пособие – Сумы ИТД «Университетская книга» , 2014. – 400 с.
13. [ttp://pcbfab.ru](http://pcbfab.ru)
14. <http://www.petrocom.ru>
15. http://www.gaw.ru/html.cgi/components/adc/adc_7.htm

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

ДОДАТОК А

Програма для мікроконтролера написана на мові BASIC в середовищі BASCOM-8051 і може бути модифікована.

Код програми для мікроконтролера AT89C51:

```
-----
' Блок живлення
' Опитування клавіатури 3 * 4, використовуємо P1.0 - P1.6
' Використовуємо EEPROM 24C02
-----

$regfile = "reg51.dat"
$romstart = &H0
$crystal = 11059200
$large
Config Sda = P0.7
Config Scl = P0.6
Config Lcdpin = Pin , Db4 = P0.2 , Db5 = P0.3 , Db6 = P0.4 , Db7 = P0.5 , E = P0.1 ,
Rs = P0.0
Config Lcd = 16 * 2
Declare Sub I2cbus(adr As Byte , U As Byte , Iz As Byte , W_r As Byte)
Declare Sub Getkbd(kbd As Byte) , Oprok(kbd As Byte) , Mem_dn , Mem_up
Declare Sub Wr_mem , Input_kbd , Setvolt(u As Byte , Iz As Byte)
Declare Sub Getcurr(u As Byte , Coun As Byte) , Getcif(kbd As Byte)
Dim Kbd As Byte , Izm As Byte , Iz As Byte , Izf As Byte , Izl As Byte
Dim U As Byte , Uf As Byte , Ul As Byte , Coun As Byte , Dac3 As Byte
Dim Kbd_pr As Byte , Limit As Byte , Pr As Byte , Adr As Byte
Dim R As Const 1 , W As Const 0
Dim W_r As Byte
Main:
P1 = 127

P3. 5 = 0
P3. 6 = 0
P3. 7 = 0
Coun = 255
Pr = 0
Cls
Cursor Off Noblink
Call I2cbus(pr , U , Iz , R)
Call Setvolt
Kbd = 12
Kbd_pr = 12
Do
Startt:
Call Getkbd
```

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

```

Coun = Coun + 1
Call Getcurr
If Kbd = Kbd_pr Then Goto Startt      ' якщо значення отримане з кл-ри
= попередньому
Kbd_pr = Kbd                          ' йдемо опитувати клавіатуру.
If Kbd > 11 Then Goto Startt         ' якщо не натиснута жодна
кнопка
Sound P1.7 , 300 , 330
Select Case Kbd
Case 0 : Gosub Incr0_1a
Case 1 : Gosub Incr1v
Case 2 : Gosub Incr0_1v
Case 3 : Gosub Decr0_1a
Case 4 : Gosub Decr1v
Case 5 : Gosub Decr0_1v
Case 6 : Gosub Incr0_01a

Case 7 : Call Mem_dn
Case 8 : Call Mem_up
Case 9 : Gosub Decr0_01a
Case 10 : Call Wr_mem
Case 11 : Call Input_kbd
End Select
Loop
End
'-----
Incr0_01a:
If Iz > 254 Then Exit Sub
Iz = Iz + 1
Pr = 0
Call Setvolt
Return
'-----
Incr1v:
If U > 245 Then Exit Sub
U = U + 10
Pr = 0
Call Setvolt
Return
'-----
Incr0_1v:
If U > 254 Then Exit Sub
U = U + 1
Pr = 0
Call Setvolt

```

Return

Decr0_1v:

If U = 0 Then Exit Sub

U = U - 1

Pr = 0

Call Setvolt

Return

Decr1v:

If U < 10 Then Exit Sub

U = U - 10

Pr = 0

Call Setvolt

Return

Decr0_01a:

If Iz < 1 Then Exit Sub

Iz = Iz - 1

Pr = 0

Call Setvolt

Return

Decr0_1a:

If Iz < 20 Then Exit Sub

Iz = Iz - 10

Pr = 0

Call Setvolt

Return

Incr0_1a:

If Iz > 245 Then Exit Sub

Iz = Iz + 10

Pr = 0

Call Setvolt

Return

Sub Mem_dn

If Pr < 2 Then

Pr = 50

Else

Pr = Pr - 1

End If

Call I2cbus(pr , U , Iz , R)

									Лист
									60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Call Setvolt

End Sub

'-----

Sub Mem_up

If Pr = 50 Then

Pr = 1

Else

Pr = Pr + 1

End If

Call I2cbus(pr , U , Iz , R)

Call Setvolt

End Sub

'-----

Sub Wr_mem

Cls

Cursor On Blink

Lcd Chr(&Ha4) ; Chr(&H61) ; Chr(&Hbe) ; Chr(&Hb8) ; Chr(&H63) ; Chr(&Hc4) ;
Chr(&H20) ; Chr(&Hb3) ; " EEPROM?"

Locate 2 , 1

Lcd Chr(&H45) ; Chr(&H63) ; Chr(&Hbb) ; Chr(&Hb8) ; Chr(&H20) ; Chr(&He3) ;
Chr(&H61) ; Chr(&H20) ; Chr(&Hbd) ; Chr(&H61) ; Chr(&Hb6) ; Chr(&Hbc) ;
Chr(&Hb8) ; "- M"

Limit = 11

Call Getcif

If Kbd = 10 Then Call I2cbus(pr , U , Iz , W)

Cursor Off Noblink

Call Setvolt

End Sub

'-----

Sub Input_kbd

Limit = 2

Cls

Lcd Chr(&H42) ; Chr(&Hb3) ; Chr(&H65) ; Chr(&He3) ; Chr(&Hb8) ; Chr(&Hbf) ;
Chr(&H65) ; Chr(&H20) ; Chr(&Hbd) ; Chr(&H61) ; Chr(&Hbe) ; Chr(&H70) ;
Chr(&Hc7) ; Chr(&Hb6) ; Chr(&H65) ; Chr(&H2d)

Locate 2 , 1

Lcd Chr(&Hbd) ; Chr(&Hb8) ; Chr(&H65) ; Chr(&H3a)

Locate 2 , 12

Lcd "00.0v"

Locate 2 , 12

Cursor On Blink

Call Getcif

U = Kbd * 100

Lcd Kbd

If U = 200 Then

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Limit = 5

Else

Limit = 9

End If

Locate 2 , 13

Call Getcif

Lcd Kbd

Kbd = Kbd * 10

U = U + Kbd

If U = 250 Then

Limit = 5

Else

Limit = 9

End If

Locate 2 , 15

Call Getcif

Cursor Off Noblink

Lcd Kbd

U = U + Kbd

Waitms 500

Limit = 2

Cursor On Blink

Cls

Lcd Chr(&Ha4) ; Chr(&Hbd) ; Chr(&H61) ; Chr(&Hc0) ; Chr(&H65) ; Chr(&Hbd) ;
Chr(&Hb8) ; Chr(&H65) ; Chr(&H20) ; Chr(&Hbc) ; Chr(&H61) ; Chr(&Hba) ;
Chr(&H63) ; Chr(&Hb8) ; Chr(&Hbc) ; Chr(&H2e)

Locate 2 , 1

Lcd Chr(&Hbf) ; Chr(&H6f) ; Chr(&Hba) ; Chr(&H61) ; Chr(&H3a)

Locate 2 , 12

Lcd "0.00a"

Locate 2 , 12

Call Getcif

Iz = Kbd * 100

Lcd Kbd

If Iz = 200 Then

Limit = 5

Else

Limit = 9

End If

Locate 2 , 14

Call Getcif

Lcd Kbd

Kbd = Kbd * 10

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62


```

Iz = Iz + Kbd
If Iz = 250 Then
  Limit = 5
Else
  Limit = 9
End If
Locate 2 , 15
Call Getcif
Cursor Off Noblink
Lcd Kbd
Iz = Iz + Kbd
Waitms 500
Call Setvolt
End Sub

```

```

-----
Sub Getkbd(kbd As Byte)
' p1.0 - p1.3 - входи, p1.4 - p1.7 - виходи.
P1 = &B01110111
Call OproS
If Kbd < 3 Then
P1 = &B01111111

Exit Sub
End If
P1 = &B01101111
Call OproS
Kbd = Kbd + 3
If Kbd < 6 Then
P1 = &B01111111
Exit Sub
End If
P1 = &B01011111
Call OproS
Kbd = Kbd + 6
If Kbd < 9 Then
P1 = &B01111111
Exit Sub
End If
P1 = &B00111111
Call OproS
Kbd = Kbd + 9
If Kbd < 12 Then
P1 = &B01111111
Exit Sub
End If

```

```
Kbd = 12
P1 = &B01111111
End Sub
```

```
-----
Sub Opros(kbd As Byte)
```

```
  nop
  nop

  nop
  nop
  nop
  If P1.0 = 0 Then
    Kbd = 0
  Exit Sub
End If
  If P1.1 = 0 Then
    Kbd = 1
  Exit Sub
End If
  If P1.2 = 0 Then
    Kbd = 2
  Exit Sub
End If
  Kbd = 12
End Sub
```

```
-----
Sub Getcurr(u As Byte , Coun As Byte)
```

```
  If Coun < 255 Then Exit Sub
  For Dac3 = 0 To 255
    P2 = Dac3
    P3.7 = 1
    P3.7 = 0
    If P3.3 = 0 Then Exit For
  Next
  P2 = 0
  P3.7 = 1
  P3.7 = 0
  Izf = Dac3 / 100

  Izm = Dac3 Mod 10
  Izl = Izf * 100
  Izl = Dac3 - Izl
  Izl = Izl / 10
  Locate 1 , 2
  If P3.2 = 0 Then
```

					ЕЛІТ 8.171.00.10. 353 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

```

Lcd "<"
Else
Lcd "="
End If
Locate 1 , 12
Lcd Izf ; "." ; Izl ; Izm ; "a"
Coun = 0
End Sub
'-----
Sub Setvolt(u As Byte , Iz As Byte)
  P2 = U
  P3.5 = 1
  P3.5 = 0
  P3.4 = 0
  P2 = Iz
  P3.6 = 1
  P3.6 = 0
  Uf = U / 10
  Ul = U Mod 10
  Cls
  Lcd "U=" ; Uf ; "." ; Ul ; "v"
  Locate 1 , 10
  Lcd "I=?..??a"
  Locate 2 , 1

  Izf = Iz / 100
  Izm = Iz Mod 10
  Izl = Izf * 100
  Izl = Iz - Izl
  Izl = Izl / 10
  Lcd "Imax=" ; Izf ; "." ; Izl ; Izm ; "a"
  If Pr > 0 Then
  Locate 2 , 12
  Lcd "Pr=" ; Pr
  End If
  Coun = 255
  If Iz = 0 Then
  P3.1 = 0
  Else
  P3.1 = 1
  End If
  Call Getcurr
  Call I2cbus(0 , U , Iz , W)
End Sub
'-----

```

Sub Getcif(kbd As Byte)

 Staart:

 Call Getkbd

 If Kbd = Kbd_pr Then Goto Staart ' якщо значення отримане з кль-ри = попередньому

 Kbd_pr = Kbd ' йдемо опитувати клавіатуру.

 If Kbd > 11 Then Goto Staart ' якщо не натиснута жодна кнопка

 Sound P1.7 , 300 , 330

 If Kbd > Limit Then Goto Staart

End Sub

'-----

Sub I2cbus(adr As Byte , U As Byte , Iz As Byte , W_r As Byte)

' Чтение / запись по I2CBUS

 Adr = Adr * 2

 If W_r = 0 Then перевірити, якщо необхідно читати і писати

 I2cstart ' Почати послідовність для шини I2C

 I2cwbyte &HА0

 I2cwbyte Adr

 I2cwbyte U

 I2cwbyte Iz ' значення для запису

 I2cstop ' стоп послідовність для шини I2C

 Waitms 20 ' затримка 20 мс, потрібна

 EEPROM після кожного листа

 Else

 I2cstart ' Почати послідовність для шини I2C

 I2cwbyte &HА0

 I2cwbyte Adr ' адреса EEPROM

 I2cstart ' повторна послідовність запуску для

 шини I2C

 I2cwbyte &HА1 ' спілкуватися з адресою веденого

 I2crbyte U , Ack

 I2crbyte Iz , Nack ' вважається значення I2cstop

 ' стоп послідовності для шини I2C

 End If

End Sub

'-----

Поз. позн.	Найменування				Кіл.	Примітка		
	Конденсатори							
C1	K50-35-16B-1000мкФ				1			
C2	K50-35-10B-2200мкФ				1			
C3	K10-176-H90-0,1мкФ				1			
C4	K50-35-16B-10мкФ				1			
C5	K73-17-250B-0,1мкФ				1			
C6,C7	K50-35-16B-1000мкФ				2			
C8	K50-35-10B-2200мкФ				1			
C9,C10	K10-176-H90-0,1мкФ				2			
C11	K50-35-10B-2200мкФ				1			
C12	K50-35-25B-100мкФ				1			
C13	K73-17-400B-1мкФ				1			
C14	K10-176-H90-0,1мкФ				1			
C15	K50-35-100B-470мкФ				1			
C16-C18	K10-176-H90-0,1мкФ				3			
	Індикатори							
HG1	AC-162YBE				1			
HL	AL307BM				1			
	Дроселі							
L1	200мкГн				1			
	Мікросхеми							
DA1, DA6	LM393				2			
DA2	78L05				1			
DA3	LM2574HVN-ADJ							
DA4	7812				1			
DA5	7805				1			
DA7	KP140УД608				1			
DA8	KP140УД17Б				1			
					ЕЛІТ 8.171.00.10.353 ПЕ			
<i>Ізм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.	Бабак				Імпульсне джерело живлення з фіксацією параметрів струму і напруги. Перелік елементів.	<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перев.	Новгородцев						1	2
Реценз.						СумДУ, гр. ЕСМ – 01		
Н. Контр.	Гапич							
Підтв.	Опанасюк							

Поз. позн.	Найменування				Кіл.	Примітка
DD1	AT24C02A				1	
DD2	AT89C51				1	
DD3	DS1812-5				1	
DD4- DD6	74HC573				3	
	Резистори					
R1	МТЛ-0,25-1к±5%				1	
R2	МТЛ-0,25-33к±5%				1	
R3	МТЛ-0,25-22к±5%				1	
R4	МТЛ-0,25-75к±5%				1	
R5	МТЛ-0,25-200к±5%				1	
R6, R9, R18	МТЛ-0,25-100к±5%				3	
R7, R10,R11	МТЛ-0,25-10к±5%				3	
R8, R13, R14	МТЛ-0,25-2,7к±5%				3	
R12	МТЛ-0,25-1,2к±5%				1	
R19- R42	МТЛ-0,25-2,2к±5%				24	
R43- 67	МТЛ-0,25-4,7к±5%				24	
	Діоди					
VD1	KBL04				1	
VD2	DB101				1	
VD3	10GW2C42				1	
	Транзистори					
VT1	BC857				1	
VT2 – VT4	2N7002				2	
VT3 - VT5	BC847				2	
VT6	КТ819Г				1	
VT7	2SD1415				1	
Ізм.	Аркуш	№	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.353 ПЕ	
					Арк.	2

