

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
Центр заочної та дистанційної форми навчання

Кафедра електронних  
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра

## **РОЗРОБКА ІМПУЛЬСНОГО БЛОКА ЖИВЛЕННЯ**

Студент гр. ЕІз-71к

А.С.Ситнів

Науковий керівник,  
викладач

О.І. Федчун

Конотоп 2021

## РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження даної кваліфікаційної роботи є імпульсний блок живлення.

Мета роботи полягає у розробці імпульсного лабораторного вторинного джерела, призначеного для лабораторних макетів та інших низьковольтних пристроїв.

У результаті проведених досліджень було проведено розрахунок надійності і час напрацювання на відмову джерела при ймовірності безвідмовної роботи. Розроблений лабораторний блок живлення повністю задовольняє технічне завдання, володіє малими габаритами та вагою, відносно недорогий та має можливість підключення до послідовного порту комп'ютера. Може експлуатуватися в лабораторіях і використовуватися для живлення низьковольтної радіоапаратури і для проведення студентами лабораторних досліджень з обробкою результатів із допомогою персонального комп'ютера.

Робота викладена на 35 сторінках, у тому числі включає 11 рисунків, 1 таблицю, список цитованої літератури із 25 джерел.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВТОРИННЕ ДЖЕРЕЛО, НИЗЬКОВОЛЬТНІ ПРИСТРОЇ, НАДІЙНІСТЬ, РАДІОАПАРАТУРА, ПЕРСОНАЛЬНИЙ КОМП'ЮТЕР.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1 ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ</b> .....	5
1.1. Різновиди та переваги.....	5
1.2. Принцип роботи.....	9
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ</b> .....	14
2.1. Вибір та описання схеми регулювання напруги.....	15
2.2. Розрахунок схеми підсилювача струму.....	20
2.3. Розрахунок обмежувача струму.....	23
2.4. Розрахунок теплового режиму.....	24
2.5. Розрахунок характеристик надійності.....	25
2.6. Інтесивність відмов джерела живлення.....	26
<b>РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ</b>	28
3.1. Високовольтні блоки живлення.....	28
3.2. Інверторні топології джерел живлення.....	29
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	32
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	33
<b>ДОДАТОК</b>	

## ВСТУП

Для проведення лабораторних робіт, досліджень та випробувань приладів необхідне джерело живлення. [1] Дуже високі вимоги застосовуються до вторинних джерел живлення, особливо до таких параметрів, як коефіцієнти пульсації та стабілізації, обов'язковим є захист, як навантаження так і самого джерела.

Сучасний лабораторний блок живлення має ручне регулювання напруги та струму навантаження, можливість управління через персональний комп'ютер, це застосовується для проведення автоматизованих досліджень, з подальшою обробкою результатів на обчислювальних машинах.

Як зазначає автор [2]: “до основних переваг імпульсних джерел живлення можемо віднести: поліпшення масо-габаритних характеристики та підвищений коефіцієнт корисної дії. Дані перетворювачі забезпечуються різними пристроями захисту, які використовуються для підвищення надійності: струмовим захистом від перевищення струму в силовому ключі, тепловим захистом від підвищення температури силового ключа перетворювача, захистом від короткого замикання в навантаженні, захистом від підвищення або зниження напруги живлення силової мережі. Весь цей захист перетворювач робить його більш надійним, але при цьому ускладнюється.” [3]

Отже, метою даного дипломного проекту є розробка імпульсного лабораторного джерела вторинного електроживлення, призначеного для використання в лабораторних макетах та інших низьковольтних пристроях. У ньому повинні бути передбачені регулювання струму та напруги, захист від перевищення напруги, захист по струму і обов'язково управління джерелом через персональний комп'ютер. Даний блок живлення повинен повністю задовольняти технічне завдання.

# РОЗДІЛ 1

## ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ

### 1.1. Різновиди та переваги

Розглянемо джерела живлення, як зазначував автор [4] “вони є невід’ємною частиною будь-якої конструкції радіоелектронних пристроїв. Основним їх призначенням є перетворення змінної або постійної напруги електромереж та акумуляторів з постійною або змінною напругою, які необхідні для роботи пристрою, це і є блоки живлення.

Блоки живлення є в кожному електронному приладі, вони є найважливішим елементом монтажною схеми. Вони застосовуються в пристроях, які можуть вимагати зниженого живлення. Основною функцією такого блоку вважається зменшення або стабілізація напруги до певного значення”. [5] Перші ІБЖ було зконструйовано після винаходу котушки, адже, саме вона й працювала зі змінним струмом. Поштовх до розвитку блоків живлення дало використання трансформаторів. Джерела живлення можуть бути не тільки включеними в схему будь-яких пристроїв, а ще й можуть бути виконані у вигляді окремих блоків або і у вигляді цехів електропостачання. До блоків живлення можна віднести декілька вимог, основними серед них є: високий коефіцієнт корисної дії, сумісність з мережею, невеликі розміри та маса висока якість вихідної напруги, наявність захистів, та багато іншого.

До завдань блоків живлення відноситься: передача електричної потужності з мінімумом втрат; трансформація одного виду напруги в іншу; формування частоти відмінною від частоти струму джерела; зміна величини напруги; стабілізація. Блок живлення повинен на виході видавати стабільний струм і напругу. Ці параметри не повинні перевищувати або бути нижче певної межі. Захист від короткого замикання та інших несправностей в джерелах живлення,

які можуть привести до проблем безпосередньо із виробом, який забезпечує блок живлення. Але частіше за все перед блоком живлення в побутових приладах стоїть тільки два основних завдання - перетворювати змінну електричну напругу в постійну та перетворювати частоту струму електромережі. [6] Серед блоків живлення більш розповсюдженими є два види, вони класифікуються по своїй конструкції, це лінійні (або трансформаторні) та імпульсні блоки живлення.

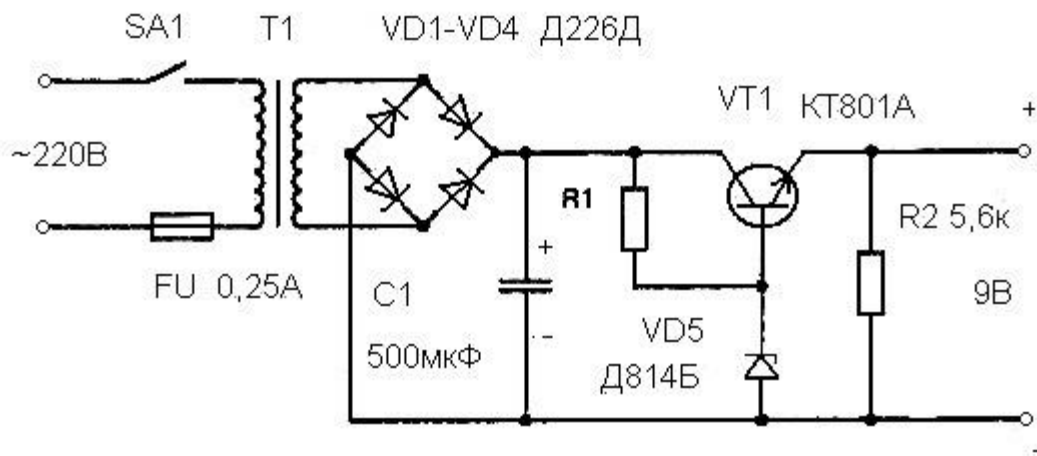


Рис. 1.1. Схема джерела живлення [6]

З самого початку джерела живлення будувалися саме за таким принципом (Рис. 1.1.), напруга в них перетворювалася силовим трансформатором, адже, як відомо, за допомогою трансформатора відбувається зменшення амплітуди синусоїдальної гармоніки, котра потім спрямлюється за допомогою додаткового моста (існують схеми з одним діодом), саме діоди й виконують перетворення струму в пульсуючий. Згодом струм пульсації згладжується за допомогою фільтра на конденсаторі, і в кінці струм стабілізується за допомогою тріоду.

Для того, щоб зрозуміти, що саме відбувається, уявімо собі синусоїду - що надходить в наш блок живлення, такий вигляд має форма напруги, а

трансформатор звужує цю синусоїду. Діодний міст відокремлює нижню частину напівперіода і піднімає її догори тим самим на виході отримуємо постійну пульсуючу напругу.[7] За допомогою фільтруючого конденсатора відбувається сгладжування імпульсів практично до рівня стабільної рівної лінії, що й називається постійним струмом. До переваг можна віднести простоту пристрою, його надійність та відсутність високочастотних перешкод на відміну від імпульсних аналогів. До недоліків – великий розмір та вага, вони збільшуються пропорційно потужності пристрою. Тріоди, які знаходяться в кінці схеми та стабілізуюча напруга знижують коефіцієнт корисної дії пристрою. Чим буде стабільніша напруга, тим більші його втрати на виході.



Рис. 1.2. Конструкція імпульсних блоків живлення [7]

Імпульсні блоки живлення, конструкція яких наведена на Рис. 1.2. з'явилися в 60-их роках минулого століття. Їх принцип дії схожий на принцип

інвертора, тобто, не тільки перетворюється постійний струм в змінний, а й змінюється його величина. Подальший шлях імпульсів залежить від конструкції блоку живлення: у блоках з гальванічною розв'язкою імпульс потрапляє в трансформатор. [8] У блоків живлення без розв'язки імпульс йде відразу на вихідний фільтр, який зрізає нижні частоти. Імпульсний блок з гальванічною розв'язкою, імпульси високої частоти з конденсаторів надходять в трансформатор, котрий розділяє один електричний ланцюг від іншого, в цьому і полягає принцип гальванічної розв'язки. Зі слів автора: [9] “завдяки високій частоті сигналу ефективність трансформатора збільшується, це дозволяє знизити в імпульсних блоках масу трансформатора та його розміри, а, отже, і всього пристрою. В імпульсних трансформаторах як сердечник використовуються феромагнітні з'єднання, що дозволяє знизити габарити пристрою”.

Конструкція такого типу (Рис. 1.3. ) передбачає перетворення струму в три етапи: широтно-імпульсний модулятор; імпульсний трансформатор транзисторний каскад. Інакше даний перетворювач називають ШІМ-контролер, задача якого заключається в тому, щоб корегувати час, за який буде надходити прямокутний імпульс. Модулятор підставляє час, за який імпульс залишається увімкненим. Він замінює час, в який імпульс не надходить, проте частота надходження залишається сталою. У всіх імпульсних блоках впроваджений вид зворотного зв'язку, коли за допомогою частини вихідної напруги відбувається компенсація впливу вхідної напруги на блок. Таким чином з'являється можливість стабілізації вхідних та вихідних стрибків напруги.

У гальванічно розв'язаних системах для реалізації негативного ЗЗ використовуються оптрони. У блоках, що розв'язки не мають зворотний зв'язок функціонує через реалізацію дільника напруги. Як наслідок, очевидною перевагою є зменшення маси та розмірів.



Завдяки зниженню витрат, що пов'язані з перехідними процесами підвищується коефіцієнт корисної дії. Також доступне застосування уніфікованих блоків в різних країнах світу, де значення напруги мережі можуть відрізнятися, присутність захисту від короткого замикання. [8]



Рис. 1.3. Конструкція ШІМ-контролера [9]

Недоліками імпульсних блоків є: не рекомендується вмикати при занадто високому або дуже низькому навантаженню. Не підходять для роботизованих особливими видами точних пристроїв, оскільки можуть наводити радіоперешкоди. Класичні трансформаторні блоки живлення поступово замінюються на їх імпульсні аналоги. На сьогоднішній день лінійні блоки можна зустріти в пральних машинах, НВЧ-печах, системах опалення. Імпульсні блоки живлення знайшли застосування майже всюди: в комп'ютерній техніці і телевизорах, в медичній техніці, в більшості побутових приладів, в оргтехніці.

## 1.2. Принцип дії

Основою імпульсного блоку живлення являється інверторна система. Високочастотні прямокутні імпульси, що утворюються внаслідок спрямлення напруги, надходять на вихідний фільтр низької частоти. При перетворенні напруги імпульсними блоками живлення, потужність віддається на навантаження. Власних втрат енергії імпульсного блоку немає. Падіння потужності має місце на напівпровідникових елементах (транзисторах). Компактні розміри і менша вага обумовили перевагу над трансформаторними блоками живлення при тому, що потужність залишається на одному рівні, узв'язку з цим імпульсні блоки частіше застосовуються ніж лінійні. [10]

Принцип дії блока живлення простої конструкторії має наступний характер. При змінному входному струмі, в переважній більшості побутових пристроїв, в першу чергу відбувається випрямлення напруги до постійної. В деяких конструкціях блоків застосовуються перемикачі для подвоєння напруги. Даний спосіб застосовується для того, щоб була можливість під'єднання напруги з номіналами 115 або 230 вольт. Спрямлення напруги відбувається за допомогою випрямляча який віддає постійний струм у конденсаторний фільтр.

На даному етапі струм має вигляд малих високочастотних імпульсів. Сигнали мають високий рівень енергії, внаслідок чого знижується коефіцієнт потужності трансформатора імпульсів. Таким чином і пояснюється компактність габаритів імпульсного блоку. (Рис. 1.4.)

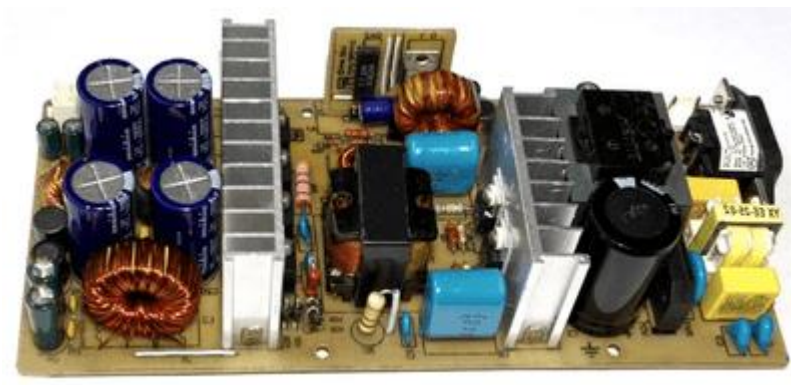


Рис. 1.4. Плата імпульсного блоку [10]

Для корегування падіння потужності в сучасних блоках живлення застосовується схема, в якій вхідний струм має синусоїдальний характер. Так побудовані комп'ютерні блоки живлення, у відеокамерах тощо. Імпульсний блок живиться постійним струмом, що без змін проходить через блок. Даний блок називають зворотноходовим.[11] Якщо він розрахований на 115 В, то для роботи при постійному струмі необхідна напруга на рівні 163 вольт, розраховується як  $(115 \times \sqrt{2})$ . Така схема для випрямляча є не ефективною, адже половина діодів не працюють і відбувається перегрів робочої частини.

В такому випадку ресурс зменшується. Після спрямлення напруги живлення в роботу включається перетворювач струму.( Рис. 1.5. ).

Обмотка трансформатора має кілька десятків витків і частоту сотні герц, при таких умовах блок живлення працює як низькочастотний підсилювач.

Комутатор побудований на транзисторах з багатоступінчастими сигналами. Дані транзистори наділені низьким опором та високою провідністю струмів.

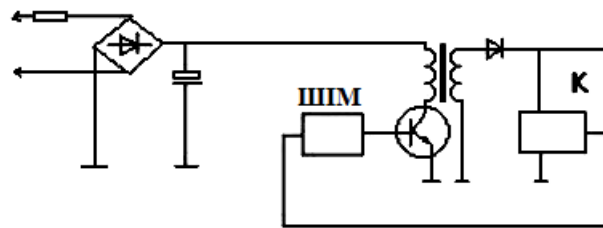


Рис. 1.5. Схема інвертора [11]

Також для мережевих блоків необхідно виконувати ізоляцію входу та виходу, в імпульсних застосовується лише для первинної обмотки високої частоти. Потрібну напругу на вторинній обмотці створює трансформатор. При вихідній напрузі вище за 10 вольт застосування знайшли кремнієві діоди. На низьких напругах ставляться діоди Шоткі, що наділені наступними перевагами:

швидке відновлення, що дозволяє обходитись малими витратами, низьке падіння напруги. Для зменшення вихідної напруги застосовується транзистор, який спрямлює основну частину напруги.

Далі напруга згладжується фільтром, в нього входять конденсатор, дросель. Для частот комутації вище потрібні складові з малою індуктивністю і ємністю.

Зі слів автора [12] “простий ДБЖ може складатися з трансформаторів малих розмірів, так як при підвищенні частоти ефективність трансформатора вище, вимоги до розмірів сердечника менше. Такий сердечник виготовлений з феромагнітних сплавів, а для низької частоти використовується сталь. Напруга в блоці живлення стабілізується шляхом зворотного зв'язку негативної величини. Здійснюється підтримка напруги виходу на одному рівні, не залежить від навантаження і вхідних коливань. Зворотній зв'язок створюється різними методами. Якщо в блоці є гальванічна розв'язка від мережі, то застосовується зв'язок однієї обмотки трансформатора на виході або за допомогою оптрона. Якщо розв'язка не потрібна, то використовують простий резистивний дільник. За рахунок цього напруга виходу стабілізується. Принцип роботи заключається на активному перетворенню напруги. Для усунення перешкод встановлюються фільтрування в кінці і початку ланцюга.”

Короткі замикання блокуються захистом. Дроти для живлення використовуються не модульні, передавана потужність сягає 500 Вт. Весь блок має примусове охолодження реалізоване шляхом встановлення регульованого вентилятора. Максимальне навантаження по струму становить 23 А, з опором 3 Ом, частотою 5 Гц.

Область застосування все більш зазнає широкого розповсюдження як в побуті, так і в промисловості. Імпульсні блоки знайшли застосування в приймачах, підсилювальних пристроях, джерелах безперебійного живлення, телевізорах, зарядних пристроях, для ліній освітлення низької напруги, медтехніки, комп'ютерної сфери та в інших пристроях широкого вживання. [13]

ІБЖ властиві наступні переваги: мала вага, підвищений ККД, порівняно невелика вартість, діапазон напруги живлення більш ширше, мають вбудовані захисти блокування. Невисока маса і зменшені габаритні розміри пов'язані із застосуванням радіаторів охолодження, а також імпульсного регулювання без використання трансформаторів. Завдяки підвищенню частоти стало можливим застосування конденсаторів меншої ємності. Схема випрямлення стала більш простішою – однонапівперіодна. У трансформаторних низькочастотних блоків багато енергії втрачається на перетворення і розсіюється в якості тепла.

В імпульсних блоках живлення максимальний рівень втрат виникає в перехідних процесах при комутації. Інший час транзистори знаходяться в стійкому стані, в закритому або відкритому. Таким чином ККД досягає 98%. [14]

Ринкова вартість ІБЖ зменшена узв'язку з уніфікацією широкого асортименту. Керовані ключі на яких побудовані силові елементи будуються з напівпровідників невисокої потужності. Технологічність імпульсів дозволяє використовувати мережі живлення з різними частотами, що розширює область застосування блоків живлення ще й в різних мережах.

Малогабаритні блоки на напівпровідниках елементах обладнані цифровим захистом від короткого замикання та інших недоліків. Недоліками імпульсних БЖ є функціонування на основі перетворення імпульсів високої частоти, генеруються перешкоди котрі виходять в навколишнє середовище. Внаслідок цього виникає необхідність усунення і боротьби з перекодами за допомогою різних методів. Не завжди це дає ефект, тому застосування імпульсних блоків стає неможливим для певних типів пристроїв. Імпульсні блоки не бажано вмикати без навантаження, а також з дуже високим відповідно. [15]

При різкому падінні струму на виході нижче встановленої межі, то робота може виявитися неможливою, а живлення буде зі спотворенням, що не підпадають в допуск роботи.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ПОНИЖАЮЧОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

У даній роботі буде виконаний розрахунок понижаючого блоку живлення за наступними вихідними даними (Таблиця 2.1):

*Таблиця 2.1*

<b>Вихідні дані</b>	
Вхідна напруга	220 В.
Частота	47...63 Гц.
Розміри	140x150x86 мм
Діапазон робочих температур	+ 10...+50°C
Вхідний струм в каналах джерела	
+3,3 В	14 А;
+5 В S_b	0,72 А
+5 В	21 А
-5 В	0,3 А
+ 12 В	8 А;
-12 В	0,3А

Так як падіння напруги на регулюючих елементах складе не менше 2В, то напруга опорного джерела повинна бути не менше 12В, а струм не менше 8А. Дані вимоги задовільняє імпульсне джерело живлення системних блоків ПК ДТК (АТС) з наступними параметрами. Схема електрична принципова даного пристрою приведена в Додатку 1.

Для захисту вхідних ланцюгів джерела живлення на друкованій платі встановлений запобіжник FA1. [16] Загороджувальний фільтр імпульсних перешкод утворений конденсаторами C2, C8, C11, C12, дроселями L1 ... L3. Фільтр забезпечує захист джерела живлення, як від синфазної, так і диференціальної складової імпульсних перешкод. Напруга первинної електричної мережі надходить далі на випрямляч VD14 ... VD17, виконаний по

мостовій схемі. Напівперіоди випрямленої напруги згладжуються конденсаторами  $C16$ ,  $C17$ . Резистори  $R30$ ,  $R31$ , підключені до  $C16$ ,  $C17$  паралельно, симетрувальним напруга на конденсаторах, а також створюють ланцюг їх розряду.

Активними елементами перетворювача напівмостового типу є транзистори  $VT9$ ,  $VT10$ . Друге плече моста утворюють випрямні конденсатори  $C16$ ,  $C17$ . Захист перетворювача від «наскрізних струмів» створюється діодами  $VD26$ ,  $VD27$ , а також наявністю «мертвої зони» між керуючими імпульсами мікросхеми  $DD2$ . В діагональ моста включена робоча обмотка трансформатора  $T3$  через розділовий конденсатор  $C21$ , що усуває небажане несиметричне подмагничивание робочої обмотки трансформатора. Резистор  $R51$  і конденсатор  $C30$  шунтують робочу обмотку  $T3$  для демпфірування паразитних коливань. Режим роботи транзисторів перетворювача задається резисторами  $R42$  ...  $R45$ . Елементи  $C24$ ,  $C25$ ,  $VD21$ ,  $VD22$ ,  $R39$ ,  $R40$  призначені для прискорення перехідних процесів при перемиканні транзисторів.

## 2.1. Вибір та описання схеми регулювання напруг

Для регулювання напруги використовується регульований інтегральний стабілізатор напруги , в типовому включення. Для можливості цифрового налаштування використовуємо транзисторні ключі, як це показано на Рис. 2.1 Регульована напруга лежить в межах від 0.5В до 9В, виходячи з цього вибирається стабілізатор додатної напруги КР142ЕН12А (Рис. 2.2. ) з параметрами: [17]

- мінімальна вихідна напруга, В +1.2 ... +1.3
- нестабільність по напрузі при  $U_{вх} = 20\text{В}$ , проц./В, не більше 0,01

- нестабільність по струму при  $U_{вх} = 20В$ , проц./В, не більше 0,02
- вхідна напруга,  $+5...+45 В$
- вихідна напруга,  $+1.2...+37 В$
- вихідний струм,  $0.005... 1.5 А$
- максимальна розсіююча потужність, не більше  $1.0 Вт$
- температура навколишнього середовища,  $-60...+85^{\circ}C$

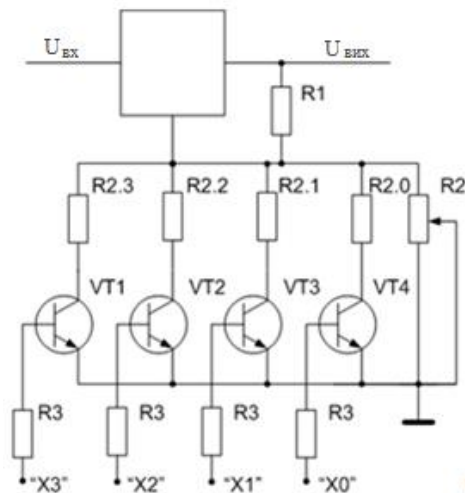


Рис. 2.1. Транзисторні ключі для цифрового налаштування [17]

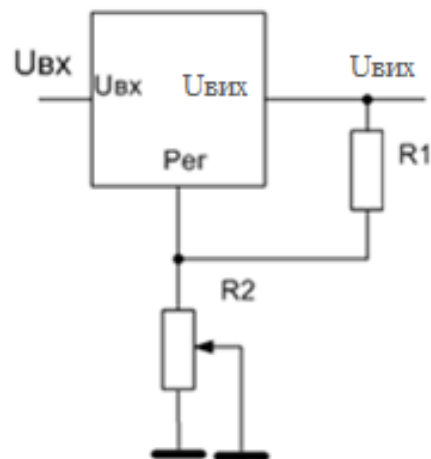


Рис. 2.2. Типова схема включення КР142ЕН12А [17]

$$U_{вих} = U_{вих.мін.}(1+R2/R1)+R2 \cdot I_{рег} \quad (2.1)$$

де  $U_{вих.мін.}$  – мінімальна вихідна напруги;



$I_{рег}$  – струм регулювання;

$R_2, R_1$  - опір резисторів.

Струм регулювання в типовому включенні дорівнює 55мкА, для забезпечення даного опору резистора  $R_1$ , яке має становити 240Ом.

Для забезпечення максимальної вихідної напруги  $U_{вих.макс.} = 9В$ , тоді максимальний опір резистора становить :

$$R_{2макс} = \frac{(U_{вих.макс} - U_{вих.мін}) R_1}{U_{вих.мін} + I_{рег} R_1} \quad (2.2)$$

$$R_{2макс} = \frac{(9 - 1.2)240}{1.2 + 55 \cdot 10^{-6} \cdot 240} = 1.543 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad (2.3)$$

Приймаємо  $R_2 = 1.5кОм$ .

Для виконання цифрового налаштування, [18] використовуємо схему наведено на Рис. 2.3.

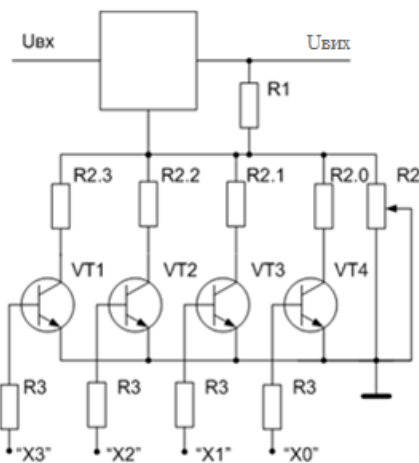


Рис. 2.3. Стабілізатор з цифровим регулюванням напруги [18]

При подачі на входи  $X$  нулів, всі транзистори закриті і напруга на виході залежить від опору  $R2$ , при його максимальному опорі напруга на виході максимальна і один 9В. При наявності восьми розрядної шини управління зміна напруги на виході змінюється з кроком 0.5В. При подачі по черзі «1» на входи  $X$  напруга на виході має бути  $U_{вих} = 8.5, 8.0, 7.0, 5.0$  В відповідно, причому опір  $R2.X$  включається паралельно  $R2$ , а опором відкритого переходу колектор - емітер можна знехтувати. Тоді опір  $R2.X$  дорівнює:

$$R2X = \frac{(U_{вих} - U_{вих_{мін}}) R1 R2}{(U_{вих_{мін}} + I_{рез} R1) R2 (U_{вих} - U_{вих_{мін}}) R1} \quad (2.4)$$

$$R20 = \frac{(8.5 - 1.2) \cdot 240 \cdot 1.5 \cdot 10^3}{(1.2 + 55 \cdot 10^{-6}) \cdot 1.5 \cdot 10^3 - (8.5 - 1.2) \cdot 240} = 5.466 \times 10^4 \text{ Ом} \quad (2.5)$$

$$R21 = \frac{(8.0 - 1.2) \cdot 240 \cdot 1.5 \cdot 10^3}{(1.2 + 55 \cdot 10^{-6}) \cdot 1.5 \cdot 10^3 - (8.0 - 1.2) \cdot 240} = 1.456 \times 10^4 \text{ Ом} \quad (2.6)$$

$$R22 = \frac{(7.0 - 1.2) \cdot 240 \cdot 1.5 \cdot 10^3}{(1.2 + 55 \cdot 10^{-6}) \cdot 1.5 \cdot 10^3 - (7.0 - 1.2) \cdot 240} = 5.117 \times 10^3 \text{ Ом} \quad (2.7)$$

$$R23 = \frac{(5.0 - 1.2) \cdot 240 \cdot 1.5 \cdot 10^3}{(1.2 + 55 \cdot 10^{-6}) \cdot 1.5 \cdot 10^3 - (5.0 - 1.2) \cdot 240} = 1.54 \times 10^3 \text{ Ом} \quad (2.8)$$

Тоді типове значення опорів становить:  $R20 = 56 \text{ кОм}$ ,  $R21 = 15 \text{ кОм}$ ,

$R22 = 5.1 \text{ кОм}$ ,  $R23 = 1.5 \text{ кОм}$ .

Обираємо транзистори  $VT1 \dots VT4$ , із умови:

Максимальна напруга колектор – емітер знаходиться за формулою:

$$U_{ке.макс} = U_{вих.макс} = 9В \quad (2.9)$$

Знайдемо максимальний струм емітера:

$$I_{к.макс} = U_{вих.макс} / (R_{2.3} + R_1) \quad (2.10)$$

$$I_{к.макс} = 9 / (1500 + 240) = 5.2 мА$$

Виходячи з наведених умов, обираємо транзистор КТ3102А з параметрами:

Максимальна напруга колектор – емітер, 50В;

Максимальний постійний струм колектора, 100мА;

Максимальна розсіююча потужність колектору, 250мВт;

Статичний коефіцієнт передачі струму 100...250.

Управління транзисторними ключами здійснюється за допомогою цифрових схем з ТТЛ логікою. Для нормального відмикання транзисторів в ключовому режимі, необхідний базовий резистор. Для даного типу логіки в типовому варіанті номінал опорів  $R_3 = I_{кОм}$ .

Так як схема управління будується на ТТЛ логіці, тому необхідно щоб транзистори перебували у відкритому стані, а закривалися одиничним позитивним рівнем + 2.4В. [19] Виходячи з цього на базі задається негативна напруга за допомогою резистора  $R_4$ . А замикаються транзистори при подачі позитивного напруги на транзистори  $VT_5 \dots VT_6$  провідності  $n-p-n$ , вибираються транзистори КТ3102А. На відміну від управління напруги позитивної полярності управління негативною здійснюється прямим кодом.

Струм бази відкритого транзистора  $VT_1$ :

$$I_b = \frac{U_{вих макс}}{R_{23} \cdot \beta_{мін}} \quad (2.11)$$

де  $\beta_{\min}$  - мінімальний коефіцієнт передачі струму.

$$I_b = \frac{9}{1500 \cdot 100} = 6 \times 10^{-5} \text{ A}$$

Знайдемо опір транзистора  $R4$ :

$$R4 = \frac{U_{cm} - U_{be}}{I_b} \quad (2.12)$$

де  $U_{cm}$  – напруга зміщення  $U_{cm} = -5\text{B}$

$U_{be}$  – напруга база- емітер відкритого транзистора, для кремнієвих транзисторів

$$U_{be} = 0,7\text{B}.$$

$$R4 = \frac{5 - 0.7}{6 \times 10^{-5}} = 7.167 \times 10^4 \text{ Ом}$$

Обираємо типове значення опору  $R4 = 68\text{кОм}$ .

## 2.2. Вибір схеми підсилювача струму

У зв'язку з тим, що максимальний струм навантаження інтегрального стабілізатора 1.5А, а по завданню необхідний струм навантаження до 8А, необхідний підсилювач струму. Його можна виконати на одному транзисторі р-п-р для напруги позитивної полярності і n-р-n для негативної, вимоги до транзисторів однакові тому можна використовувати пару комплементарних. Схема підсилювача струму для напруги позитивної полярності приведена на Рис.2.4.

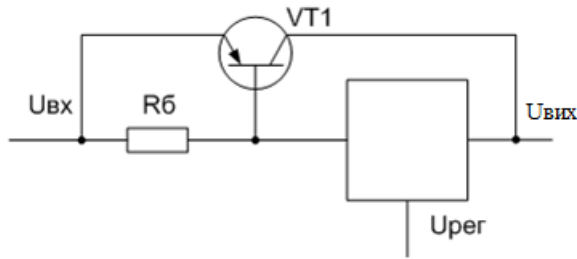


Рис. 2.4. Схема підсилювача струму для напруги позитивної полярності  
[19]

Обираємо транзистори із наступних умов:

Максимальна напруга колектор-емітер:

$$U_{ке.макс} = (U_{вх} - U_{вих.мін.}) \cdot K_з \quad (2.13)$$

де  $U_{вх}$  – напруга на вході,  $U_{вх} = 12В$

$K_з$  - коефіцієнт запасу,  $K_з = 1.2$

$$U_{ке.макс} = 1.2(12 - 1.5) = 12.6В$$

Максимальний струм колектора:

$$I_{к.макс} = I_{н.макс.} \cdot K_з \quad (2.14)$$

де  $I_{н.макс.}$  - максимальний струм навантаження, по ТЗ  $I_{н.макс.} = 8А$

$$I_{к.макс} = 8 \cdot 1.2 = 9.6А$$

Максимальна потужність розсіююча колектором:

$$P_{к.макс} = I_{н.макс.} \cdot (U_{вх} - U_{вих.мін.}) \cdot K_з \quad (2.15)$$

$$P_{к.макс} = 8 \cdot (12 - 1.5) \cdot 1.2 = 100.8Вт$$

Вибираємо пару комплементарних транзисторів КТ8102А для напруги позитивної полярності і КТ8101А для негативної. "Параметри транзистора КТ8102А:

– провідність  $p-n-p$ ;

- максимальне постійна напруга колектор - емітер,  $40V$ ;
- максимальний постійний струм колектора,  $10A$ ;
- максимальна розсіює потужність колектора,  $120W$  ;
- статичний коефіцієнт передачі струму  $50 \dots 140$ ;

Параметри транзистора КТ8101А:

- провідність  $n-p-n$ ;
- максимальне постійна напруга колектор - емітер,  $40V$ ;
- максимальний постійний струм колектора,  $10A$ ;
- максимальна розсіює потужність колектора,  $120W$ ;
- статичний коефіцієнт передачі струму  $50 \dots 140$ .

Знайдемо струм навантаження:

$$I_b = \frac{I_{n \text{ макс}}}{\beta_{\text{мін}}} \quad (2.16)$$

де  $\beta_{\text{мін}}$  – мінімальний коефіцієнт передачі струму

$$I_b = \frac{8}{50} = 0.16A$$

Знайдемо опір  $R_b$ :

$$R_b = \frac{U_{be}}{I_b + I_{ic}} \quad (2.17)$$

де  $U_{be}$  – напруга база емітер  $U_{be} = 2.0V$

$I_{ic}$  – струм, який споживається, в типовому ввімкненні  $I_{ic} = 0.01A$

$$R_b = \frac{2}{0.16 + 0.01} = 11.76 \Omega$$

Отже, обираємо значення опору:  $R_6 = 120\text{Ом}$ .

### 2.3. Розрахунок обмежувача струму

Для регулювання обмеження струму навантаження використовується компаратор, один вхід якого підключити до навантаження, інший до опорного регульованим делителю напруги (Рис. 2.5). Як компаратора вибирається четверенний операційний підсилювач КР1401УД2 з параметрами:

- напруга живлення,  $+3 \dots +32\text{ В}$ ;
- вхідний струм,  $5\text{ нА}$ ;
- коефіцієнт посилення,  $100\text{ дБ}$ ;
- споживана потужність,  $21\text{ мВт}$ .

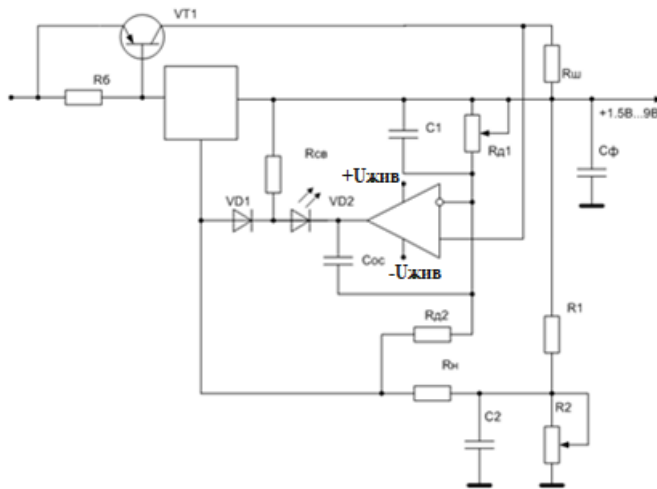


Рис.2.5. Регулюючий стабілізатор напруги з обмеженням по струму [19]

Обираємо діод  $VD1$  із умови:

Максимальний прямий струм

$$I_{np} = K_3 \cdot I_{oy} \quad (2.18)$$

де  $I_{ou}$  -вихідний струм операційного підсилювача, задається  $I_{ou} = 20\text{mA}$

$K_z$  – коефіцієнт запасу,  $K_z = 1.2$

$$I_{np} = 1.2 \cdot 20 \cdot 10^3 = 2.4 \times 10^4 \text{ A}$$

Максимально обертальну напругу:

$$U_{обр} = K_z U_{вих. макс} \quad (2.19)$$

де  $U_{вих. макс.}$  - максимально вихідна напруга.

$$U_{обр} = 1.2 \cdot 9 = 10.8 \text{ В}$$

Отже, обираємо КД510А з наступними параметрами:

- максимальний прямий струм  $I_{np}$ , 0,2 А;
- максимально зворотня напруга  $U_{об}$ , 50В;
- пряме падіння напруги  $U_{np}$ , 1,1 В.
- 

#### 2.4. Розрахунок теплового режиму

У зв'язку з тим, що використовується два потужних транзистора необхідно передбачити їх охолодження. Максимальна потужність, що розсіюється на транзисторах:

$$P_{рас.} = I_{н. макс.} \cdot (U_{вх} - U_{вих. мін.}) \quad (2.20)$$

$$P_{к. макс} = 8 \cdot (12 - 1.5) = 84 \text{ Вт}$$

Вибрані транзистори КТ8101А і КТ8102А володіють наступними тепловими характеристиками:



- тепловий опір переходу - корпус  $\Theta_{пк}, ^\circ C / Вт 0.7,$
- максимальна температура р-п переходу  $T_{п.макс}, ^\circ C 150.$

Для нормальної роботи транзисторів необхідно забезпечити температуру переходу  $T_n = 120^\circ C$ . Виходячи з цього розраховується тепловий опір радіатор - середовище в  $^\circ C / Вт$ .

$$\Theta_{pc} = \frac{T_n - T_c}{P_{рас}} - \Theta_{пк} - \Theta_{кр} \quad (2.21)$$

де  $T_c$  - температура середовища  $T_c = 40^\circ C$ ,

$\Theta_{кр}$  – тепловий опір корпус - радіатор, при використанні теплопровідної пасти  $\Theta_{кр} = 0.15^\circ C / Вт$ .

$$\Theta_{pc} = \frac{120 - 40}{84} - 0.7 - 0.15 = 0.102 \quad (2.22)$$

## 2.5. Розрахунок характеристик надійності

Згідно з наведеними вимогами в ході дослідно-конструкторської розробки проводиться визначення характеристик надійності: [20]

- $P_c(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи систем;
- $\lambda_c$ - інтенсивність відмов системи;
- $T_{ср}$  – середні напрацювання відмов системи.

Розрахунок інтенсивності відмов джерела при основному з'єднанні ЕРЕ виробляється шляхом підсумовування інтенсивностей відмов всіх ЕРЕ, що входять в пристрій:

$$\lambda_{0C} = N_1 \cdot \lambda_{01} + N_2 \cdot \lambda_{02} + \dots + N_m \cdot \lambda_{0m} = \sum_{i=1}^m N_i \cdot \lambda_{0i} \quad (2.23)$$

де  $N_1, N_2, \dots, N_m$  – кількість однотипних ЕРЕ;  
 $\lambda_{01}, \lambda_{02}, \dots, \lambda_{0m}$  відповідна інтенсивність відмов.

Ймовірність безвідмовної роботи джерела живлення

(2.24)

$$P_0(t_{\text{сп}}) = e^{-t_{\text{сп}} \cdot \sum_{i=1}^m N_i \cdot \lambda_{0i}} = e^{-t_{\text{сп}} \cdot \lambda_{0C}}$$

## 2.6. Інтенсивність відмов джерела живлення

$$\lambda_{0C} = \sum N_i \cdot \lambda_{0i} \cdot a \quad (2.25)$$

де  $a$  - експлуатаційний коефіцієнт відмов, що враховує вплив електричного навантаження і робочої температури, що враховує критичність ЕРЕ даного виду до дії механічних навантажень. Рівень механічних навантажень, що діють на ЕВА, для лабораторних умов  $a = 2$ .

$$\lambda_{0C} = 17.85 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 35.70 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч} \quad (2.26)$$

Знайдемо час безвідмовної роботи джерела живлення:

$$T_{\text{сп}} = \frac{1}{\lambda_{0C}} = \frac{1}{35.70 \cdot 10^{-6}} = 2.801 \times 10^4 \quad (2.27)$$

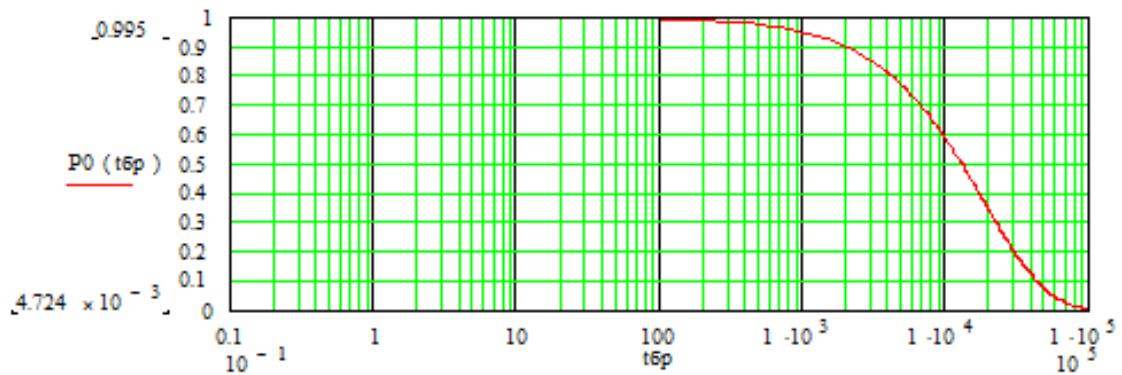


Рис.2.6 Залежність ймовірності безвідмовної роботи від часу [20]

Знайдемо час напрацювання на відмовуджерела живлення, при ймовірності безвідмовної роботи 0,85

$$T_e = \frac{-\ln(0.85)}{\lambda_{0c}} = \frac{-\ln(0.85)}{(35.7 \cdot 10^{-6})} = 4.552 \times 10^3 \text{ ч} \quad (2.28)$$

Отримані характеристики дозволяють визначити коефіцієнт готовності виробу до негайної роботи в сталому режимі експлуатації і коефіцієнт ремонтпридатності:

$$K_r = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_e} = \frac{2.8 \cdot 10^4}{2.8 \cdot 10^4 + 4.55 \cdot 10^3} = 0.86 \quad (2.29)$$

$$K_p = \frac{T_e}{T_{cp} + T_e} = \frac{4.55 \cdot 10^3}{2.8 \cdot 10^4 + 4.55 \cdot 10^3} = 0.14 \quad (2.30)$$

Як видно з розрахунку джерело живлення повністю задовольняє технічним завданням.

## РОЗДІЛ 3

### ЗАСТОСУВАННЯ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ

#### 3.1. Високовольтні блоки живлення

Блоки живлення високої напруги є ключовим компонентом електростатичного застосування. Для вченого, інженера, спеціаліста та користувача електростатики представлені різноманітні промислові та наукові програми високовольтних джерел живлення. [21] Наприклад, промислові процеси вимагають суттєвого моніторингу експлуатаційних умов з метою максимізації випуску продукції, поліпшення якості та зниження собівартості. Нові досягнення в технології електропостачання забезпечують більш високий рівень моніторингу та управління процесами. На наукові експерименти впливають такі ефекти, як точність виходу, стабільність, пульсація та регулювання. Використання високої напруги в наукових та промислових цілях є звичним явищем. Зокрема, електростатику можна застосовувати для різних ефектів. Взагалі кажучи, електростатика - це вивчення ефектів, що створюються електричними зарядами або полями. [22] Застосування електростатики можуть бути використані для генерування руху матеріалу без фізичного контакту, для розділення матеріалів до елементарного рівня, для комбінування матеріалів для утворення однорідної суміші та інших практичних та наукових цілей. За визначенням, здатність електростатичних ефектів виконувати роботу вимагає різниці в електричному потенціалі між двома або більше матеріалами. У більшості випадків енергія, необхідна для змушення різниці потенціалів, отримується від джерела високої напруги. Це джерело високої напруги може бути джерелом живлення високої напруги. Сьогодні високовольтні джерела живлення є твердотільними, високочастотними конструкціями, які забезпечують продуктивність та управління, недосяжні лише кілька років тому.

Досягнуто значних покращень надійності, стабільності, контролю, зменшення розмірів, вартості та безпеки.

Ознайомившись із цими вдосконаленнями, користувач високовольтних джерел живлення для електростатичного застосування може отримати вигоду. Крім того, слід розуміти унікальні вимоги високовольтних джерел живлення, оскільки вони можуть впливати на обладнання, експерименти, процес або виріб, в якому вони використовуються. [23]

### **3.2. Інверторні топології джерел живлення**

Джерело вхідної напруги може мати широкий діапазон характеристик напруги. Часто зустрічаються джерела змінного струму від 50 Гц до 400 Гц при температурі менше 24 В до 480 В змінного струму. Також можна знайти джерела постійного струму від 5 до 300 В постійного струму. Користувачу дуже важливо зрозуміти вимогу до вхідної напруги, оскільки це вплине на загальне використання та дизайн системи. Такі регуляторні установи, як Лабораторія андеррайтерів, Канадська асоціація стандартів, ІЕС та інші, активно беруть участь у будь-яких ланцюгах, підключених до електромережі. Окрім живлення основних ланцюгів інвертора джерела живлення, джерело вхідної напруги також використовується для живлення допоміжних ланцюгів управління та інших допоміжних вимог до потужності. Каскад вхідного фільтра забезпечує кондиціонування джерела вхідної напруги. [24] Це кондиціонування зазвичай здійснюється у формі випрямлення та фільтрації у джерелах змінного струму та додаткової фільтрації у джерелах постійного струму. Захист від перевантаження, ЕМІ, ЕМС та схеми контролю також можна знайти.

Вихідний сигнал вхідного фільтра, як правило, є джерелом постійної напруги. Ця напруга постійного струму забезпечує джерелом енергії для інвертора. Каскад інвертора перетворює джерело постійного струму на

високочастотний сигнал змінного струму. Існує багато різних топологій інвертора для джерел живлення. Блок живлення високої напруги має унікальні фактори, які можуть диктувати найкращий підхід до інвертора. Інвертор генерує високочастотний сигнал змінного струму, який посилюється ВН-трансформатором. Причиною генерації високих частот є забезпечення високопродуктивної роботи зі зменшеними розмірами магнітних елементів і конденсаторами для зменшення пульсацій. Проблема створюється, коли трансформатор з високим коефіцієнтом збільшення збільшується до інвертора високої частоти. Високий коефіцієнт збільшення відображає паразитну ємність на первинній частині високовольтного трансформатора. Це відображається як функція  $(N_{sec}: N_{pri})^2$ . Цей великий паразитичний конденсатор, який проходить через первинну частину трансформатора, повинен бути ізольований від комутаційних пристроїв інвертора. Якщо ні, в інверторі будуть присутні аномально високі імпульсні струми. Іншим параметром, загальним для джерел живлення високої напруги, є широкий діапазон навантажувальних операцій. [25]

Через наявність високої напруги пробій ізоляції є звичним явищем. Характеристики надійності інвертора та контуру управління повинні враховувати практично будь-яку комбінацію обриву, короткого замикання та робочих навантажень. Ці проблеми, а також надійність та вартість повинні бути розглянуті в топології високовольтного інвертора джерела живлення. Високочастотний вихід інвертора подається на первинний елемент високовольтного підвищувального трансформатора. Розуміння конструкції магнетиків повинно застосовуватися разом із контролем матеріалу та процесу. Значна частина спеціальних знань включає управління великою кількістю вторинних витків та високими вторинними напругами. Через ці фактори геометрія сердечника, методи ізоляції та техніки намотування значно відрізняються від звичайних конструкцій трансформаторів. Деякі питання, що

викликають занепокоєння, це: вольт / номінал повороту вторинного дроту, показники ізоляції від шару до шару, коефіцієнт розсіювання ізоляційного матеріалу, геометрія обмотки, оскільки це стосується паразитичної вторинної ємності та потоку витоків, просочення ізоляційного лаку до шарів обмотки, рівень корони і практично всі інші загальновизнані проблеми, такі як теплові націнки та загальна вартість.

Схеми множників високої напруги відповідають за випрямлення і множення вторинної напруги трансформатора високої напруги. У цих схемах використовуються діоди та конденсатори високої напруги в з'єднанні з подвоєнням напруги "зарядний насос". Як і для трансформатора високої напруги, конструкція множника високої напруги вимагає спеціальних знань. Вихідний опір може бути навмисно доданий для захисту від струмів розряду з накопичувальних конденсаторів джерела живлення. [26] Ці компоненти високої напруги, як правило, ізолювані від рівня землі, щоб запобігти перегину дуги. Ізоляційні матеріали варіюються в широких межах, але типовими матеріалами є: повітря, SF<sub>6</sub>, ізоляційне масло, тверді капсулюючі речовини (RTV, епоксидна смола тощо).

Вибір ізоляційного матеріалу та контроль процесу можуть бути найважливішими аспектами надійної конструкції високої напруги. Схеми управління підтримують роботу всіх ступенів живлення разом. Однак основною вимогою, якій повинна відповідати кожна схема керування, є точне регулювання вихідної напруги та струму відповідно до вимог навантаження, вхідної потужності та команд. Це найкраще досягається за допомогою циклу управління зворотним зв'язком. Блок живлення високої напруги має проблеми, які відрізняють його від звичайних джерел живлення. Проектувальник високовольтних джерел живлення може стати ключовим ресурсом для користувача електростатики. Істотні функції управління можуть бути запропоновані джерелом живлення високої напруги. Крім того, важливу увагу

потребують аспекти безпеки використання високої напруги. Джерела високої напруги можуть бути летальними.

## ВИСНОВКИ

1) Основними перевагами імпульсних джерел живлення є поліпшення масогабаритних характеристики та підвищений коефіцієнт корисної дії. Для підвищення надійності такі перетворювачі забезпечуються різними пристроями захисту: тепловим захистом від підвищення температури силового ключа перетворювача, струмовим захистом від перевищення струму в силовому ключі, захистом від підвищення або зниження напруги живлення силової мережі, захистом від короткого замикання в навантаженні. Весь цей захист робить перетворювач більш надійним але при цьому ускладнює його.

2) Сучасний лабораторний блок живлення крім ручного регулювання струму навантаження і напруги на ньому, повинен мати можливість управління через персональний комп'ютер (ПК). Для проведення автоматизованих досліджень, з подальшою обробкою результатів на електронних обчислювальних машинах.

3) В результаті даного дипломного проекту був розроблений лабораторний імпульсний блок живлення так само був проведений розрахунок надійності і час напрацювання на відмову джерела при ймовірності безвідмовної роботи. Розроблений лабораторний блок живлення повністю задовольняє технічне завдання, володіє малими габаритами і вагою відносно недорогий має можливість підключення до послідовного порту ПК. Може експлуатуватися в лабораторіях і використовуватися для живлення низьковольтної радіоапаратури і для проведення студентами лабораторних досліджень з обробкою результатів за допомогою персонального комп'ютера.



4) Сьогодні високовольтні джерела живлення є твердотільними, високочастотними конструкціями, які забезпечують продуктивність та управління, недосяжні лише кілька років тому. Досягнуто значних покращень надійності, стабільності, контролю, зменшення розмірів, вартості та безпеки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А.С. Касаткин и М.В.Немцов // Курс Электротехники ФГУП – Высшая школа –2005г.
2. В.Г. Герасимов и О.М.Князьков // Основы промышленной электроники – Высшая школа –1988г.
3. Лазарев Г. Л. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода. Построение различных систем // Новости ЭлектроТехники. – 2005. – № 2(32).
4. Кумаков Ю.А. Инверторы напряжения со ступенчатой модуляцией и активная фильтрация высших гармоник // Новости ЭлектроТехники. – 2005. – № 6(36).
5. Кумаков Ю.А. Инвертор напряжения с модуляцией: Патент РФ на полезную модель: МПК8 Н 02 М 7/48 / Автор и заявитель Кумаков Ю.А.; заявка № 2006114517/17 от 27.04.2006.
6. Импульсные стабилизаторы // Электроника и микросхемотехника [Электронный ресурс]: Интернет-учебник / Винницкий гос. тех. ун-т, институт АЭКСУ, каф. МПА; под ред. к.т.н. Ю.В. Шабатуры. – [http://faksu.vstu.vinnica.ua/SiteNEV/rus/erectronic\\_inter/ew2/ch2-3/12\\_4.htm](http://faksu.vstu.vinnica.ua/SiteNEV/rus/erectronic_inter/ew2/ch2-3/12_4.htm).
7. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – Ч. 2 – С. 9–31.
8. Аналогова схемотехніка : навчальний посібник / О. М. Кобяков, М. М.Ляпа, В. М. Лисенко та ін. – Суми : СумДУ, 2007. – 209 с.

9. Жушков В.Я., Бойко В.І., Зорі А.А., Співак В.М., Багрій В.В. Схемотехніка електронних систем. Т. 2. Цифрова схемотехніка. Київ. Аверс. 2002. – 405 с.
10. Елифанов С. Н., Красных А. А. Электроизмерительные приборы. Справочно-методическое пособие — Киров: Изд. ВятГТУ, 2005
11. Сучков А.А. Аналоговые и цифровые измерительные устройства.: Семестровый курс лекций. – Ростов-на-Дону, 2008. – Электронное издание.
12. Бойко В. І., Гуржій А., Жушков В. Я. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої/ Бойко В. І., Гуржій А. Жушков В. Я.– Київ: Вища школа, 2004. – 510 с.
13. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Електроніка і мікросхемотехніка/ Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. – Київ: Каравела, 2009. – 416 с.
14. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка. Теорія і практикум: Навчальний посібник/ Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. – Київ: Каравела, 2003. – 362 с.
15. Квітка С.О., Яковлев В.Ф. Електроніка та мікросхемотехніка. – Суми: 2012. – 350с.
16. Гершунский,Б.С.Справочник по расчету электронных схем / Б. С. Гершунский. - М. : Высшая школа, 1983. - 240 с.
17. Щупляк Н.М. Основы електроніки і мікроелектроніки: Навчальний посібник. – м.Дрогобич, 2012. – 217 с.
18. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жушков В. Я. та ін.. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої. – К.: Вища школа, 2004. – 510 с.
19. Колпаков А. И. Особенности теплового расчета импульсных силовых каскадов. – М.: Компоненты и Технологии. 2002. № 1.
20. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей. Учебник – М.: Радио и связь, 2000. – 589 с.

21. Авторский коллектив издательства LDL. Электроника: электронный справочник – М.: Руссобит Пабблишинг, 2005 – 542 с., ил.
22. Раковций Ю. Блок питания для мощных светодиодных осветительных приборов. Журнал Chip News Україна с.18-с.20. – 2012.- №4.
23. Обод І.І., Стрельницький О. О., Андрусевич В. А. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору. Х.: ХНУРЕ. 2015.
24. Обод І. І., Стрельницький О. О., Андрусевич В. А. Структура та показники якості обробки інформації систем спостереження повітряного простору. Системи обробки інформації: науковий вісник ХНУПС ім. І Кожедуба. 2013.
25. Обод І. І., Свид І. В. Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів запитальними системами спостереження: Тематичний збірник «Системи обробки інформації». Вип. 9 (90). Х.: видавництво ХУПС. 2010.
- 26 Степаненко И.П. Основы микроэлектроники / И.П. Степаненко. – Москва:Лаборатория базовых знаний, 2003.–496 с.