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

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший бакалаврський
(рівень вищої освіти)

на тему *Розробка мережевого фільтру для захисту електронних пристроїв від дестабілізуючих факторів*

Виконав: студент (ка) *IV* курсу, групи *6.1763-с2*

Спеціальності *176 (153) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)

освітньої програми *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва освітньої програми)
О. Б. Белянський
(ініціали та прізвище)

Керівник *доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н.*
Верьовкін Л. Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *профксор кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем, професор, д.т.н.*
Коваленко В. Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
20*26*

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

Кафедра *електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*
Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)*
Спеціальність *176 (153) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва)

Освітня програма *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ЕІСПЗ*
Критська Т. В.
"*12*" *червня* 20*26* року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Белянському Олексію Богдановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка мережевого фільтру для захисту електронних пристроїв від дестабілізуючих факторів*

керівник роботи *Верьовкін Леонід Леонідович, доцент, к.т.н.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від *"23" грудня 2025 року №1830-с*

2. Строк подання студентом роботи *12 червня 2026 року*

3. Вихідні дані до роботи *Обрати систему контролю та захисту мережевої апаратури*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *Дослідження пристроїв мережевого захисту від дестабілізуючих факторів. Розробка пристрою стабілізації напруги мережі живлення електронних пристроїв. Охорона праці та техногенна безпека.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Структурна схема пристрою стабілізації мережі живлення електричних приладів. Моделювання випадку зменшення напруги у мережі живлення менше 130 В або збільшення напруги більше 270В. Логічний контролер на елементах «Виняткове АБО Схема пристрою стабілізації напруги мережі живлення від дестабілізуючих факторів*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Верьовкін Л. Л., доцент*	
II	*Верьовкін Л. Л., доцент*	
III	*Верьовкін Л. Л., доцент*	

7. Дата видачі завдання _____*09.02.2026 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Дослідження конструктивних особливостей мережевих фільтрів*	*28.02.2026*	
2	*Аналітичний огляд схемних рішень мережевих фільтрів*	*21.03.2026*	
3	*Аналіз схем стабілізаторів для мережевої апаратури живлення*	*04.04.2026*	
4	*Розрахунок електричного випрямляча і фільтру*	*25.04.2026*	
5	*Розробка схеми пристрою стабілізації напруги мережі живлення електронних пристроїв*	*08.05.2026*	
6	*Моделювання печатної плати пристрою стабілізації напруги мережі живлення електричних приладів*	*20.05.2026*	
8	*Охорона праці та техногенна безпека*	*23.05.2025*	
9	*Оформлення пояснювальної записки*	*10.06.2025*	
10	*Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи*	*12.06.2025*	
11	*Оприлюднений захист магістерської роботи*	*19.06.2025*	

Студент _____ _____*Белянський О. Б.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ _____*Верьовкін Л. Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ _____*Верьовкін Л. Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 71 сторінку, 45 рисунків, 6 таблиць, 12 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – пристрої захисту електронних пристроїв від дестабілізуючих факторів.

Мета роботи – розробка пристрою стабілізації напруги мережі живлення електронних пристроїв, для захисту від дестабілізуючих факторів.

Задачі роботи – розрахувати схему блока живлення стабілізатора напруги; розробити схему компаратора сигналів з блока живлення; розробити схему логічного контролера; розробити схему стабілізатора мережі живлення; розробити топологію печатної плати пристрою.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Electronics Workbench 5.12, SPlan 5.0, Layout 4.0.

Короткий виклад результатів досліджень – розрахований блок живлення стабілізатора напруги ефективно використовується в схемі контролю та управління мережевою напругою, результати аналізу показують правильність спрацювання компаратора при появі різниці напруги на входах.

Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується подальша модернізація схеми.

МЕРЕЖА, ФІЛЬТР, СТАБІЛІЗАТОР, НАПРУГА, КОМПАРАТОР, РЕГІСТР. КОНТРОЛЕР

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, з 09.02.2026 по 10.06.2026.

Зміст

Стор.

Вступ …….. 6

1 Дослідження пристроїв мережевого захисту від дестабілізуючих факторів …… 8

1.1 Конструктивні особливості мережевих фільтрів ……. 9

1.2 Функціональні особливості мережевих фільтрів ……. 10

1.3 Аналітичний огляд схемних рішень мережевих фільтрів …….. 13

1.3.1 Основні електронні компоненти схеми мережевого фільтра …….. 14

1.3.2 Схеми LC та RLC фільтрів …….. 17

1.4 Фільтри для трьохпровідної системи живлення …….. 18

1.5 Аналіз схем стабілізаторів для мережевої апаратури живлення 19

1.5.1 Лінійні стабілізатори напруги з високим коефіцієнтом корисної дії …… 20

1.6 Стаціонарне універсальне джерело стабілізованої постійної напруги ……. 24

1.7 Потужні стабілізатори напруги із захистом по струму ……... 25

2 Розробка пристрою стабілізації напруги мережі живлення електронних пристроїв …….. 32

2.1 Блок живлення схеми пристрою стабілізації ……... 33

2.1.2 Розрахунок електричного випрямляча і фільтру …….. 35

2.1.3 Компаратор напруги …… 41

2.2 Вузол затримки підключення споживачів …… 48

2.6.1 Моделювання регістра зсуву ……..

2.4 Схема пристрою стабілізації напруги мережі живлення електронних пристроїв …….. 53

2.5 Моделювання печатної плати пристрою стабілізації напруги мережі живлення електричних приладів …… 55

3 Охорона праці та техногенна безпека ……. 59
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів …….. 59
3.2 Виробнича санітарія …… 61
3.3 Електробезпека ……... 63
3.5 Пожежна та техногенна безпека …… 64
3.6 Розрахунок середнього рівня шуму на робочому місці оператора … 66
Висновки та рекомендації …… 69
Перелік посилань …….. 70

Вступ

Основна функція мережевих фільтрів – згладжування тимчасових збільшень напруги. Вони можуть допомогти техніці впоратися зі зміною частоти струму, а також захистити пристрій від електромагнітних перешкод в мережі і шумового компоненту. Останній момент дуже актуальний для сучасних електроприладів і персональних комп’ютерів (ПК), тому що значна частина виробників закладає деякі допуски в коливанні параметрів електричної мережі. Наприклад, робочою напругою струму, як правило, є проміжок від 200-240 В.

Найскладніше скачки напруги переживають блоки живлення ноутбуків і ПК, мікросхеми пам'яті і графічні процесори, двигуни пральних і посудомийних машин і інші пристрої, чутливі до перепадів в електромережі. За допомогою мережевого фільтра можна захистити всю електроніку в будинку.

Не дивлячись на широке поширення у телевізорах, комп'ютерах і іншій радіоапаратурі імпульсних джерел живлення, вони не можуть витіснити лінійні компенсаційні стабілізатори.

Імпульсні джерела, як правило, використовуються спільно з лінійними стабілізаторами. Пояснюється це тим, що лінійні стабілізатори забезпечують менший рівень пульсацій на виході, а також допускають зміну струму навантаження в ширшому діапазоні (імпульсні джерела погано працюють у режимі холостого ходу).

Деякі з побутових електроприладів (електронагрівачі, лампи освітлення, холодильники та ін.) не боїться зниження в мережі напруги. Для них актуальна розробка схем, що спрацьовують лише при зростанні напруги живлення вище заданого порогу і відрізняються по своєї швидкодії, а значить і сфері застосування.

Мережева радіоапаратура повинна зберігати працездатність при зміні живлячої напруги в діапазоні 187 В...242 В (220 В +10…15%). У міській ме-

режі напруга у продовж дня може сильно відрізнятися від номіналу 220 В. Це часто буває в зимовий період, коли підключаються потужні споживачі енергії, наприклад електронагрівачі, і напруга в мережі “просаджується” до межі нижнього допуску. Особливо не люблять зниження напруги нижче за допустиму величину (187 В) імпульсні джерела живлення телевізорів, відеомагнітофонів, персональних комп'ютерів.

Актуальність роботи полягає в розробці пристроїв автоматичного захисту мережевої апаратури від перевищення та пониження напруги в мережі, які усувають недоліки існуючого обладнання.

1. Дослідження пристроїв мережевого захисту від дестабілізуючих факторів

В побутовій мережі використовується синусоїдальний змінний струм. Зміна напруги і струму, відбуваються по синусоїді, тобто по плавній дузі, яка симетрично коливається довкола осі часу. За одну секунду напруга в мережі хмінює своє значення від +310 В до –310 В п'ятдесят разів. Так працює мережа змінного струму 220 В 50 Гц [1].

Реальна осцилограма напруги в мережі відрізняється від чистої синусоїди. Спостерігаються безперервні піки, імпульси, спотворення форми, зміни амплітуди, кидки і скачки.

Спотворення синусоїди напруги живлячої мережі виникають за рахунок включення-виключення потужних електроприймачів, атмосферних перенапружень, коротких замикань по високій стороні трансформаторної підстанції, а також різних складних перехідних процесів.

Будь-яку складну функцію можна представити у вигляді тригонометричного ряду Фур'є, який сходиться. Це означає, що спотворена синусоїда – це сума інших, самих різних гармонік, кожна з яких має свою частоту і амплітуду. Для безпечної і надійної роботи техніки потрібна лише одна синусоїда – з амплітудою в 310 В і частотою 50 Гц. Всі останні гармоніки необхідно подавити, розрядити і не пропустити до електроспоживачів.

Короткочасні імпульсні кидки напруги можуть бути значними по величині. Вони можуть виникнути у будь-який момент часу і порушити роботу техніки. Тому імпульсні перешкоди теж необхідно подавити.

Для вирішення цих двох проблем використовуються мережеві фільтри. Вони захищають устаткування від високочастотних, низькочастотних і імпульсних перешкод в мережі [1].

1.1 Конструктивні особливості мережевих фільтрів

Мережевий фільтр – електротехнічний пристрій, яке згладжує скачки напруги в електричній мережі. Його конструкція складається з наступних елементів: фільтр перешкод, кнопка включення живлення, варистор, розетки, мережевий кабель .

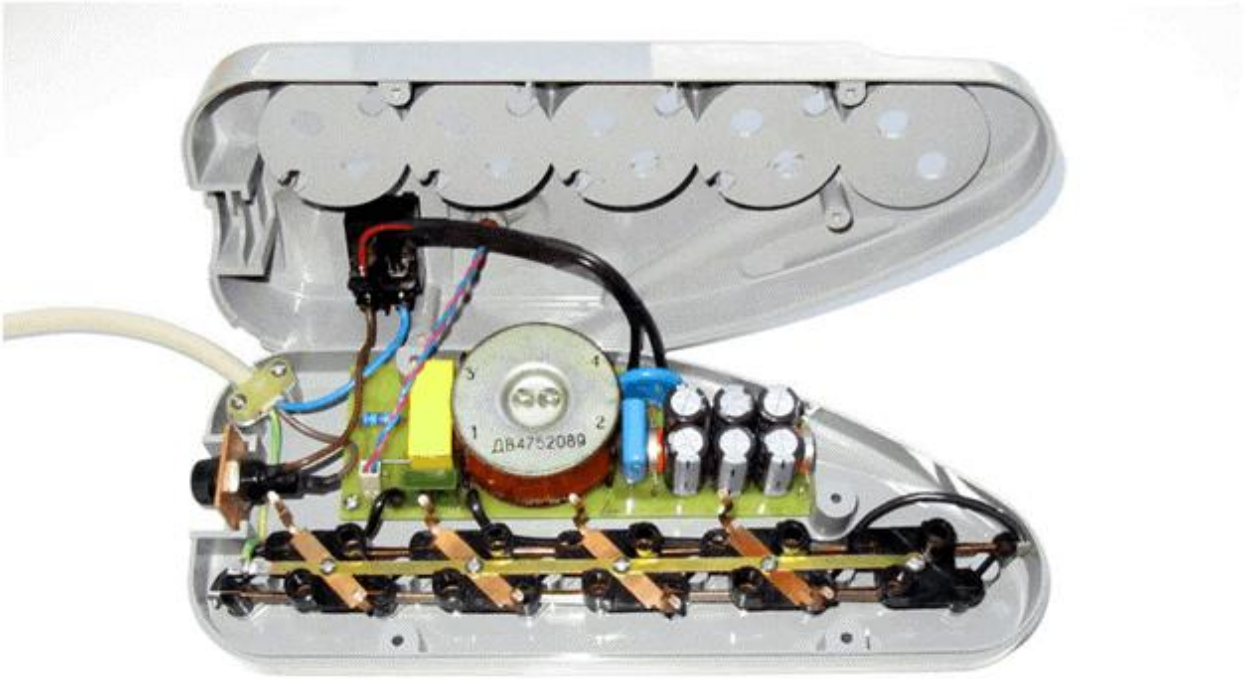


Рисунок 1.1 – Конструкція мережевого фільтра

Конструкція використовує LC-фільтр. Нульовий і фазні кабелі з розетки приєднуються до котушки індуктивності, а між ними розташовані конденсаторів. До стандартних показників елементів відносяться: індуктивність окремої котушки – 50-200 мкГн; конденсатори 0.22-1 мкФ.

Варистором називається нелінійний резистор, який застосовується в радіоелектронних колах і гарантує захист підключених до мережі пристроїв від короткочасного замикання. У більшості випадків використовується варістор на 470 В.

Мережевий фільтр відрізняється від подовжувача тим, що здійснює захисну функцію від короткого замикання і перепадів напруги. Його призначення полягає не тільки в передачі струму, як у подовжувача. Також у мере-

жевого фільтра є здатність захищати користувача від ударів струму, а побутові пристрої – від наслідків перепадів напруги.

Подовжувач – простий пристрій, який проводить електричний струм від розетки до приладу. Він не має захисних функцій ні для техніки, ні для людей, які його використовують.

1.2 Функціональні особливості мережевих фільтрів

Залежно від типу, виду або рівня захисту мережеві фільтри діляться на кілька видів. Ці характеристики в більшості випадків впливають на вибір пристрою для різних потреб. Розрізняють три види мережевих фільтрів:

Базовий (Essential). У них найпростіший пристрій спрацьовування. Якщо виникне коротке замикання або інша поломка електричної мережі, мережевий фільтр візьме удар на себе і тим самим врятує дорогу техніку. Проте прилади з таким рівнем захисту можуть витримати тільки невеликі перепади напруги.

Пристрої з набором елементів, здатних захистити техніку. Такі фільтри здатні захистити практично всю техніку від значних стрибків напруги. Їх можна використовувати вдома і в офісах з великою кількістю ПК і комп'ютерної периферії (Home/Office).

Мережеві фільтри для професійної техніки з захистом найвищого класу. Вони можуть гасити будь-які імпульсні мережеві перешкоди, тому до них можна підключати будь-яку техніку, в тому числі і промисловий тип апаратури (Performance). Такі пристрої в більшості випадків виробляються із заземленням (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 - Мережевий фільтр для професійної техніки

Мережевий фільтр можуть мати спеціальні опції, які корисні як під час використання фільтра, так і для роботи підключеного обладнання. Наприклад, для комп'ютерної техніки дуже актуально, якщо пристрій має захист ліній локальної мережі і телефону. Особливо це важливо в будинках, де є небезпека наведень в лініях передач, обумовлених розрядами під час грози. Наявність USB порту в мережевому фільтрі дасть можливість підключати телефон для зарядки або інший пристрій, якому необхідно таке живлення (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Додаткові функції мережевих фільтрів

Стрибки напруги в ту чи іншу сторону шкідливі для будь-якої техніки. При виборі мережного фільтра для використання необхідно врахувати деякі нюанси:

Для ПК і ноутбука необхідно використовувати пристрій, у якого є варистори і конденсатори. Останні прибирають надлишок енергії під час збільшення напруги, і повертають її назад при його зменшенні. Такі пристрої здатні захистити техніку для комп'ютера від імпульсних і високочастотних перешкод.

Щоб захистити телевізійну техніку потужністю 130 В, достатньо мережевого фільтра на 250 В, але краще використовувати фільтр з найбільшим захистом. Для побутової техніки підійдуть звичайні базові моделі пристроїв.

Дія LC фільтрів безпосередньо пов'язана з двома законами комутації: котушка L подавлює різкі зміни струму, а конденсатор С гасить високочастотні коливання напруги.

Імпульсні короткочасні перешкоди усувають за допомогою варистора – напівпровідникового елементу, що має нелінійну вольт-амперну характеристику. На низькій напрузі варистор поводиться як резистор дуже великого опору і струм практично не пропускає. Але якщо напруга зростає до рівня номінального для варистора, то його опір різко знижується і він пропускає через себе імпульс струму.

Якщо варистор включити в паралель навантаженню, то він «братиме на себе» імпульси високої напруги, шунтуючи навантаження на час їх дії. Номінальна напруга варистора при цьому має бути близько 470 В.

Таким чином, мережевий фільтр для успішної роботи повинен містити в собі: дві котушки індуктивності 60…200 мкГн, включені послідовно навантаженню, що захищається, а також варистор на 470 вольт і конденсатор на 0,22…1,0 мкФ, включені паралельно. При необхідності в коло можна включити і резистори на 1 Ом для подавлення перешкод низької частоти. Струмовий номінал елементів кола потрібно підбирати залежно від потужності навантаження [2].

Переважна більшість дешевих мережевих фільтрів містять в своєму складі лише варистор і біметалічний контакт для максимально-струмового захисту.

Потужність більшості мережевих фільтрів невелика. Це пов'язано з тим, що котушки індуктивності і інші елементи фільтру для великого навантаження будуть дуже громіздкі і дорогі. Для електроприймачів великої потужності взагалі можна використовувати лише фільтри, що являються напівпровідниковими перетворювачами.

1.3 Аналітичний огляд схемних рішень мережевих фільтрів

Важливо розуміти, як працюють схеми мережевого фільтра та на основі цих знань вибрати оптимальну конструкцію під конкретні завдання.

В останній час з’явилося багато побутових приладів з імпульсними блоками живлення. Це не тільки комп’ютерні пристрої, а і мікрохвильові печі, світлодіодні та енергозберігаючі лампи, інша техніка з електронним керуванням.

Все це генерує високочастотні імпульси перешкод у мережу, хоча виробники намагаються обмежити їх. У бюджетних моделей така функція здійснюється не повністю і становить небезпеку для всіх споживачів.

Електромагнітні перешкоди в мережі з’являються спонтанно, передбачити їхню появу неможливо. Навіть просте включення лампи розжарювання формує початковий кидок струму, що створює зону перехідних процесів (рис. 1.4).

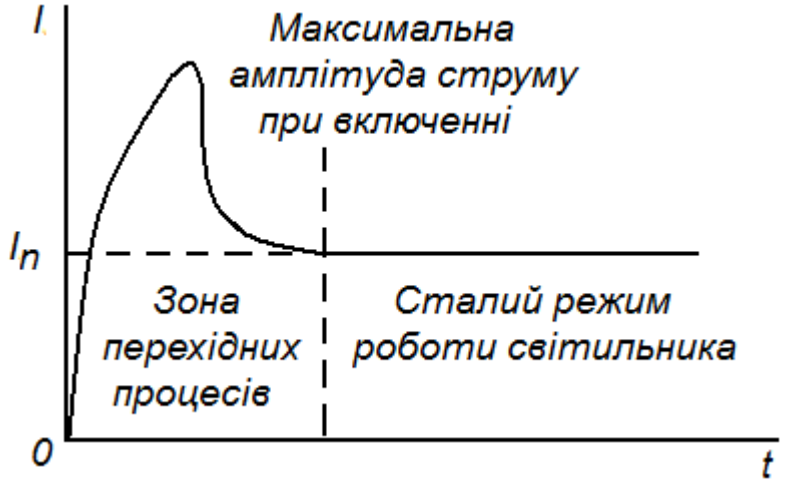


Рисунок 1.4 – Кидок струму при включенні лампи розжарювання

Підключення електродвигунів холодильника, пральної чи посудомийної машини пов’язане із зміною індуктивного опору. Струм такого включення може перевищувати десятки і більше разів номінальну величину навантаження [3].

При цьому в мережі створюється значна «просідання» напруги. А далі слідує його сплеск, що формує високовольтні перешкоди (рис. 1.5).

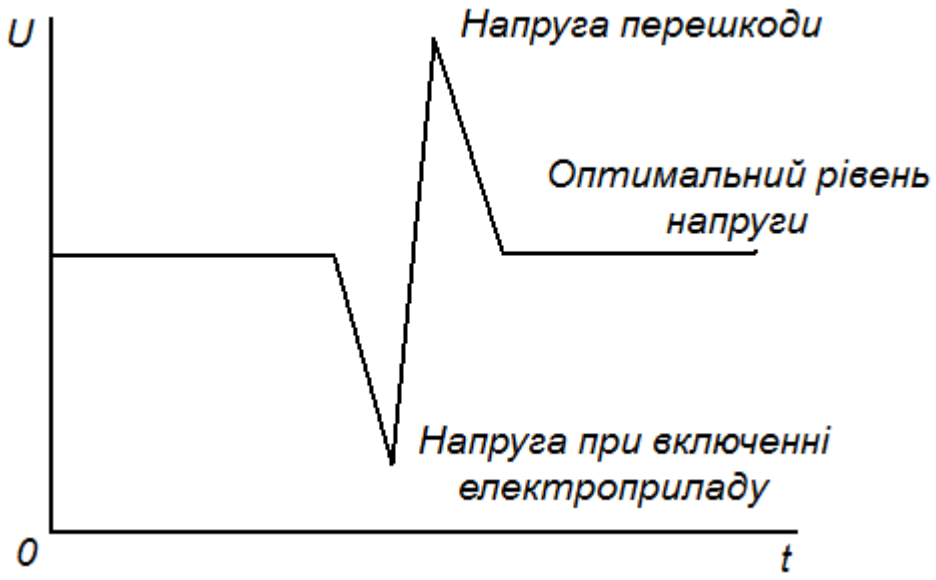


Рисунок 1.5 – «Просідання» напруги при включенні електроприладу

Ці процеси протікають короткочасно. За часів користування аналоговою побутовою технікою вони особливої шкоди не завдавали, а в аудіо та відео апаратуру вбудовували найпростіші фільтри, які виконують свої функції. Вони надійно згладжували всі ці швидкі провали та піки напруги своєю конструкцією, запобігаючи їх попаданню до чутливої електронної схеми.

Фільтр працює виключно з короткочасними провалами та піками вхідного сигналу. Якщо ж подібний процес трохи затягнеться, то тут потрібний інший пристрій – стабілізатор напруги.

1.3.1 Основні електронні компоненти схеми мережевого фільтра

В простих конструкціях використовується один варістор. Він стоїть на вході між потенціалами фази та нуля. При нормальній напрузі мережі варистор має дуже високий електричний опір і нічим не заважає роботі схеми [3].

Коли з мережі приходить залишковий імпульс перенапруги, не до кінця погашений пристроями УЗІП , то внутрішній опір варистора різко знижується. За рахунок цього через нього за законом Ома починає протікати великий

струм, який перетворюється на теплову енергію, а в схему надходить лише допустимий рівень напруги (рис. 1.6).

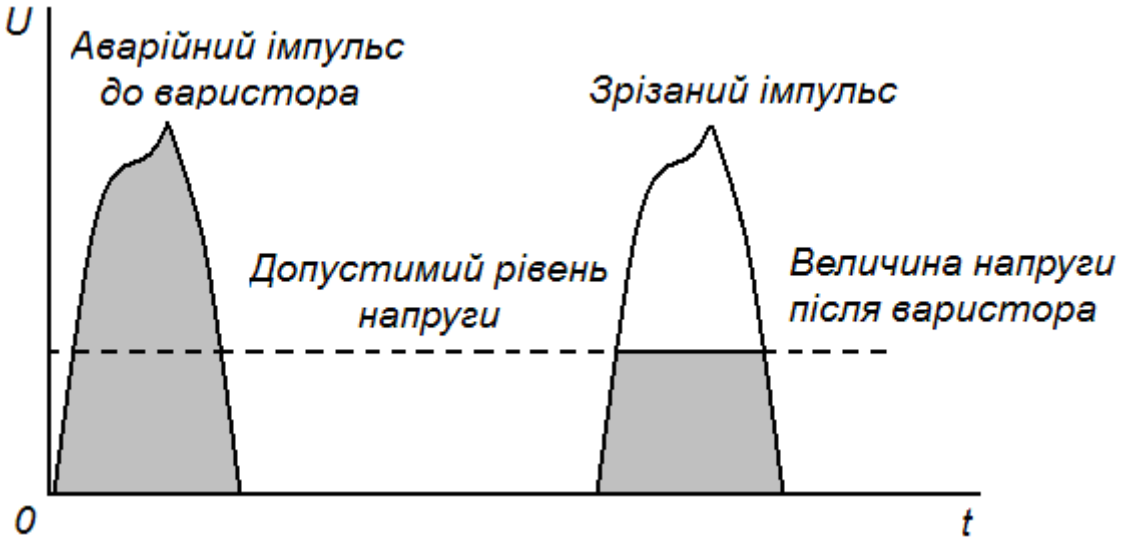


Рисунок 1.6 – Обмеження рівня напруги варистором

Для трьохпровідної проводки використовуються три варистора. Вони включаються для усунення диференціальних та синфазних перешкод напруги (рис. 1.7).

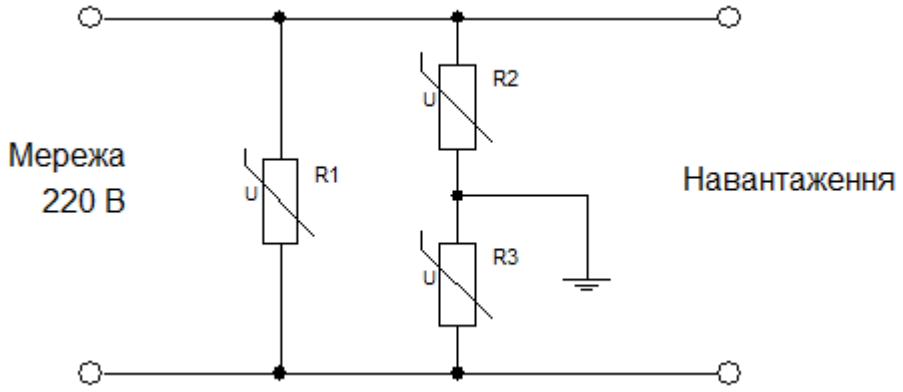


Рисунок 1.7 – Варисторний фільтр

В конструкції високочастотного фільтра використовується залежність ємнісного та індуктивного опору від частоти сигналу (рис. 1.8) [4].

$$X_C = \frac{1}{\omega C};$$

$$X_L = 2\pi f;$$

$$\omega = 2\pi.$$

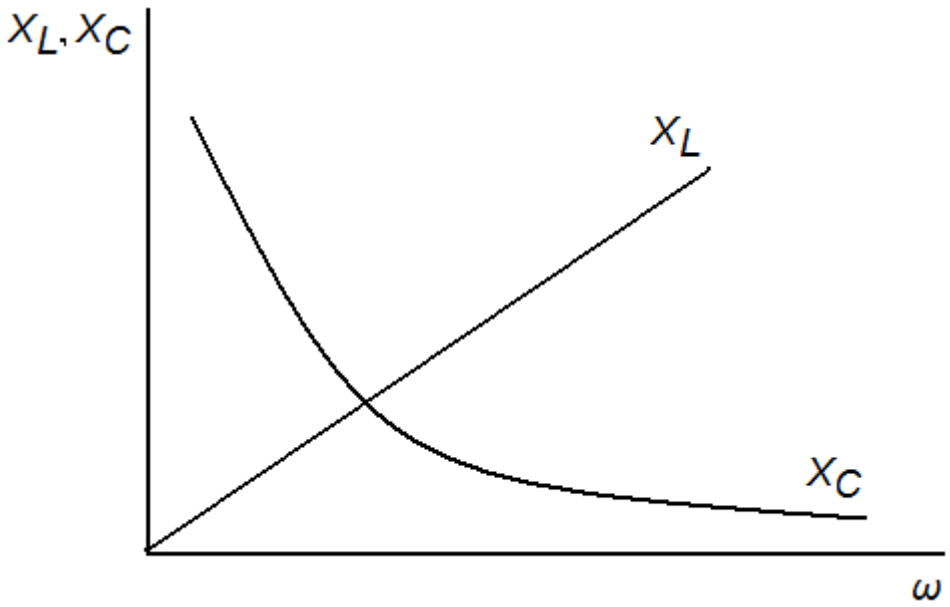


Рисунок 1.7 – Залежність індуктивного та ємнісного опору від частоти

Звичайні 50 герц легко проходять через індуктивність. Для перешкоди високої частоти тут створюється великий опір. Тому обмотки котушок включають послідовно з провідниками. Їх роблять таким самим перетином, як основний провід.

Конденсатори підключають паралельно диференціальним і синфазним перешкодам. Ємнісний опір має зворотну залежність від частоти сигналу. Вони шунтують високочастотну напругу.

На кінцях кабелю за кілька сантиметрів від роз'єму корисно розмістити феритовий фільтр, як це робиться на блоці живлення ноутбука.

Такий пасивний елемент у вигляді цільного або складового циліндрика подавляє перешкоди, які проходять по високочастотному кабелю своїм індуктивним опором. При цьому, залежно від складу матеріалу та марки феритового кільця відбувається:

- відображення частини високочастотної перешкоди індуктивністю у мережу;

- часткове поглинання високочастотної хвилі матеріалом фериту (ефективніше);

- поєднання обох функцій.

Якість подавлення перешкод феритом можна збільшити. Достатньо пропустити кабель кілька разів навколо його кільця. Однак не завжди це вдається виконати на практиці.

На багатожильних дротах слабкострумових кіл цифрової передачі даних, аудіосигналів або відеосигналів, ферити, які подавляють перешкоди, не використовують. Вони працюють як синфазний трансформатор, який пропускає аналогічні сигнали.

1.3.2 Схеми LC та RLC фільтрів

Струмовий ключ SA1 забезпечує захист підключених споживачів від перевантажень та струмів коротких замикань [5].

Високоомний резистор R2 на 1 МОм практично ніяк не впливає на проходження сигналів. Його роль – розряд конденсатора С1 при вимкненні живлення для підвищення безпечної експлуатаці (рис. 1.8).

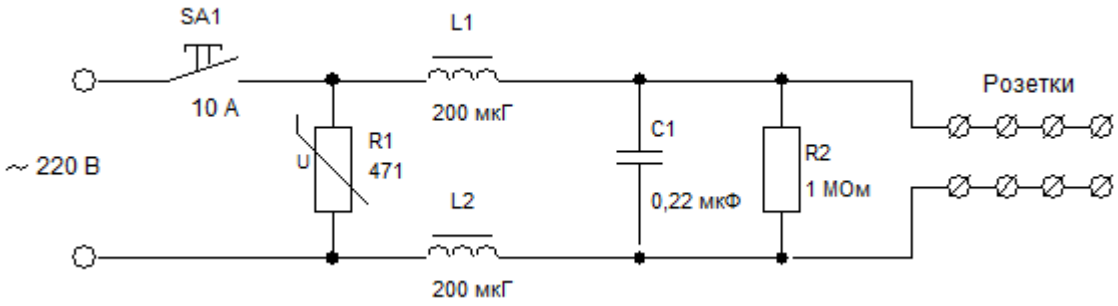


Рисунок 1.8 – Схема мережевого LC-фільтра

Ізоляція обкладок конденсаторів повинна витримувати робочу напругу мережі, збільшену імпульсом перешкоди. Їх підбирають мінімум на 300 вольт, а краще більше (рис. 1.9).

Обидві схеми гасять вхідні високочастотні перешкоди індуктивними опорами дроселів та ємнісними конденсаторів. Ліквідацію високовольтних імпульсів покладено на варистор.

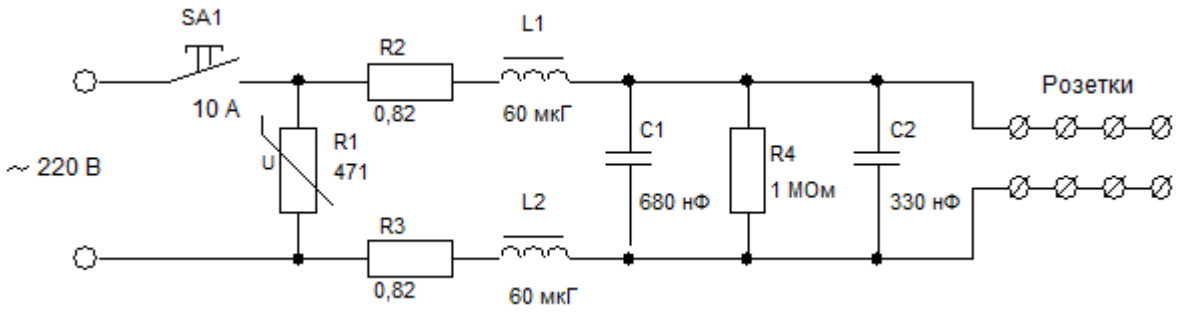


Рисунок 1.9 – Схема мережевого RLC –фільтра

1.4 Фільтри для трьохпровідної системи живлення

Однією з популярних розробок, яка широко представлена на ринку, вважається серія фільтрів Pilot різних конструкцій (рис. 1.10)

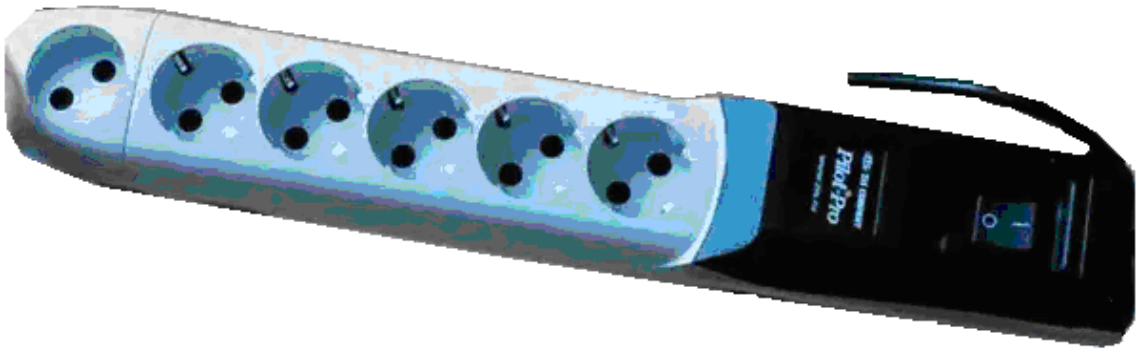


Рисунок 1.9 – Мережевий фільтр Pilot XPro

Принципова електрична схема мережного фільтра Pilot XPro полегшує розуміння його можливостей (рис. 1.10).

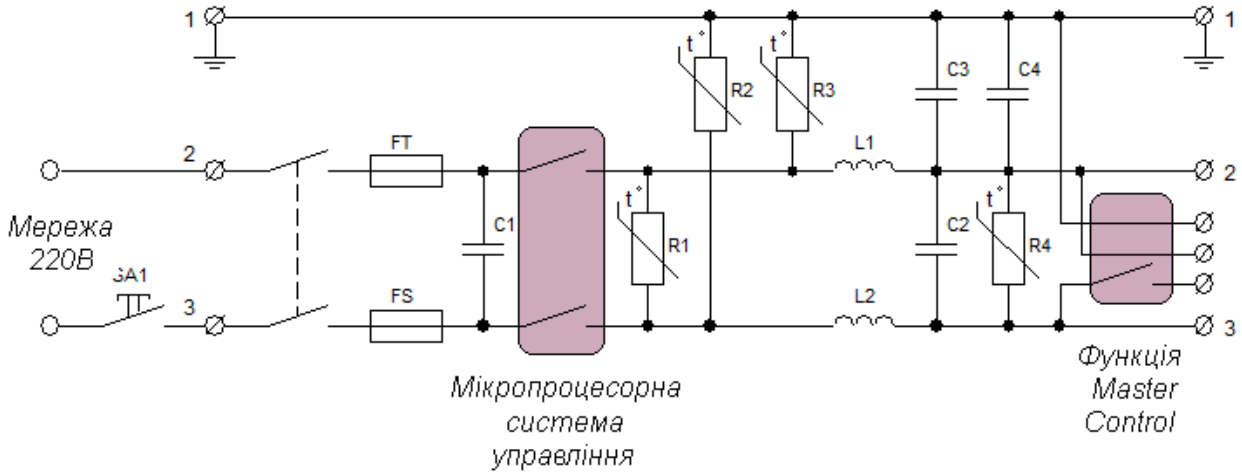


Рисунок 1.10 - Схема мережного фільтра Pilot XPro

Завданнях, які має вирішувати Pilot XPro для комфортної роботи, продовження ресурсу підключених споживачів та зниження витрати електрики:

- захист варисторами від імпульсних перенапруг;

- запобігання дії високочастотних перешкод індуктивно-ємнісними опорами;

- управління електроживленням за рахунок введення функції Master Control;

- захист від перенапруг, пов’язаних з розривом нуля;

- плавне відключення та включення обладнання під навантаження функцією Zero Start, за рахунок виключення кидків струму вбудованою схемою;

- автоматика включення споживачів після усунення аварійного зникнення живлення;

- два рівні захисту від струмових перевантажень або коротких замикань за рахунок плавкого запобіжника та біметалічного роз’єднувача;

- індикація підключення до мережі та рівня напруги живлення;

- контроль температури та автоматичне відключення при перегріві.

Функція Master Control визначає одну основну розетку (як master-розетка). На неї підключають основний споживач потужністю понад 50 Вт, наприклад, системний блок комп’ютера.

При його включенні автоматика одночасно запитує три інші розетки з периферійним обладнанням. Вона ж відключає їх під час зняття живлення з основного блоку.

На корпусі є розетки, які не керуються мікропроцесорною автоматикою. Їх використовують для освітлення, телефону, іншого обладнання

1.5 Аналіз схем стабілізаторів для мережевої апаратури живлення

Стабілізатор напруги (Voltage regulator) – електромеханічний або електричний (електронний) пристрій, що має вхід і вихід по напрузі, призначений

для підтримки вихідної напруги у вузьких межах, при істотній зміні вхідної напруги і вихідного струму навантаження.

Джерело стабілізованого живлення (Power conditioner) – устаткування, що вживається для перетворення електричної енергії у форму, придатну для подальшого використання.

За типом вихідної напруги стабілізатори діляться на стабілізатори постійної напруги і змінної напруги. Як правило, вигляд напруги на вході стабілізатора і на його виході збігаються (постійне або змінне), але в деяких типах стабілізаторів їх види різні.

1.5.1 Лінійні стабілізатори напруги з високим коефіцієнтом корисної дії

Основнім недоліком лінійних стабілізаторів середньої і великої потужності є їх низький коефіцієнтом корисної дії (ККД). Чим менше вихідна напруга джерела живлення, тим менше стає його ККД. Це пояснюється тим, що в режимі стабілізації силовий транзистор джерела живлення зазвичай включень послідовно з навантаженням, а для нормальної роботи такого стабілізатора на регулюючому транзисторі повинна діяти напруга колектор-емітер ($U_{ке}$) не менше 3...5 В. При струмах більше 1 А це дає значні втрати потужності за рахунок виділення теплової енергії, що розсіюється на силовому транзисторі. Необхідності збільшувати площу тепло-відвідного радіатора або застосовувати вентилятор для примусового охолоджування.

Широко поширені завдяки низької вартості інтегральні лінійні стабілізатори напруги на мікросхемах з серії 142ЕН(5...14) володіють таким же недоліком.

Останнім часом з'явилися імпортні мікросхеми з серії “LOW DROP” (SD, DV, LT1083/1084/1085). Ці мікросхеми можуть працювати при зниженій напрузі між входом і виходом (до 1... 1,3 В) і забезпечують на виході стабілізовану напругу в діапазоні 1,25...30 В при струмі у навантаженні 7,5/5/3 А ві-

дповідно. Найближчий за параметрами вітчизняний аналог типу КР142ЕН22 має максимальний струм стабілізації 5 А.

При максимальному вихідному струмі режим стабілізації гарантується виробником при напрузі вхід-вихід не менше 1,5 В. Мікросхеми мають вбудований захист від перевищення струму у навантаженні допустимої величини і тепловий захист від перегрівання корпусу.

Стабілізатори забезпечують нестабільність вихідної напруги 0,05%/В, нестабільність вихідної напруги при зміні вихідного струму від 10 мА до максимального значення, не гірше 0,1 %/В.

Типова схема включення таких стабілізаторів напруги приведена на рисунку 1.11.

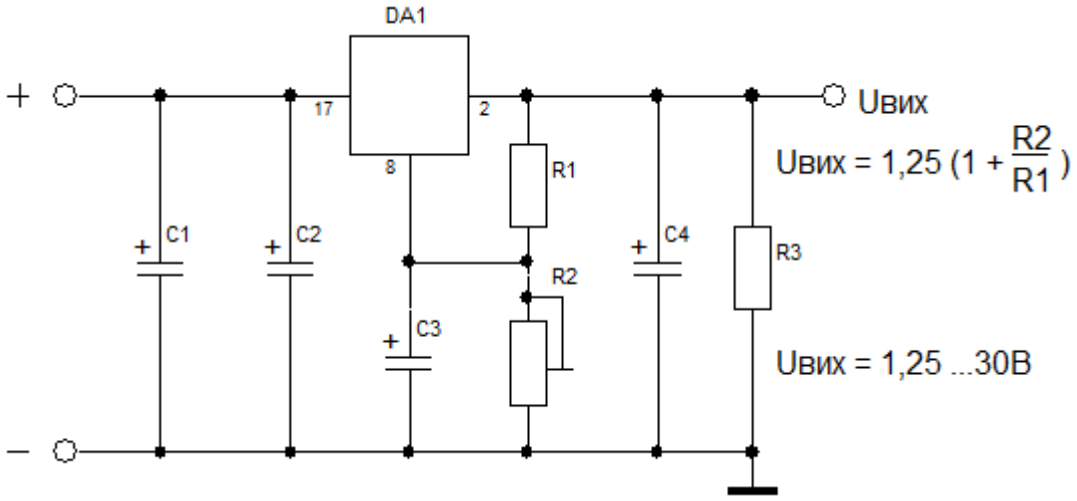


Рисунок 1.11 - Схема включення стабілізаторів з серії “LOW DROP”

Конденсатори С2...С4 танталові і розташовуються поблизу від мікросхеми. Ємкість конденсатора С1 вибирається з умови 2000 мкФ на 1 А струму.

Мікросхеми випускаються трьох типів конструктивного виконання корпусу (рис. 1.12). Вигляд корпусу задається останніми буквами в позначенні [5].

Такі стабілізатори напруги економічно вигідно застосовувати при струмі у навантаженні більше 1 А, а також у разі малої кількості місця в конструкції.

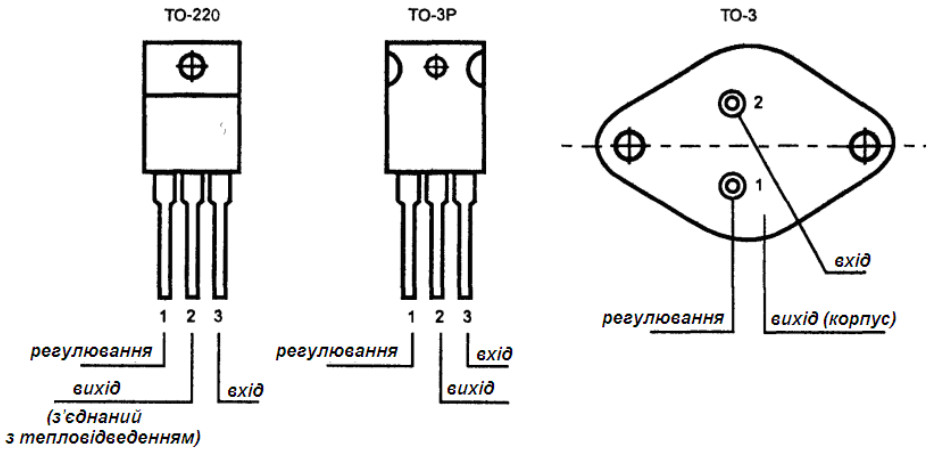


Рисунок 1.12 - Вигляд корпусу та розташування виводів у стабілізаторів

На дискретних елементах також можна виконати економічне джерело живлення [4]. Приведена на рисунку 1.13 схема розрахована для вихідної напруги 5 В і струму навантаження до 1 А. Вона забезпечує нормальну роботу при мінімальній напрузі на силовому транзисторі (0,7... 1,3 В).

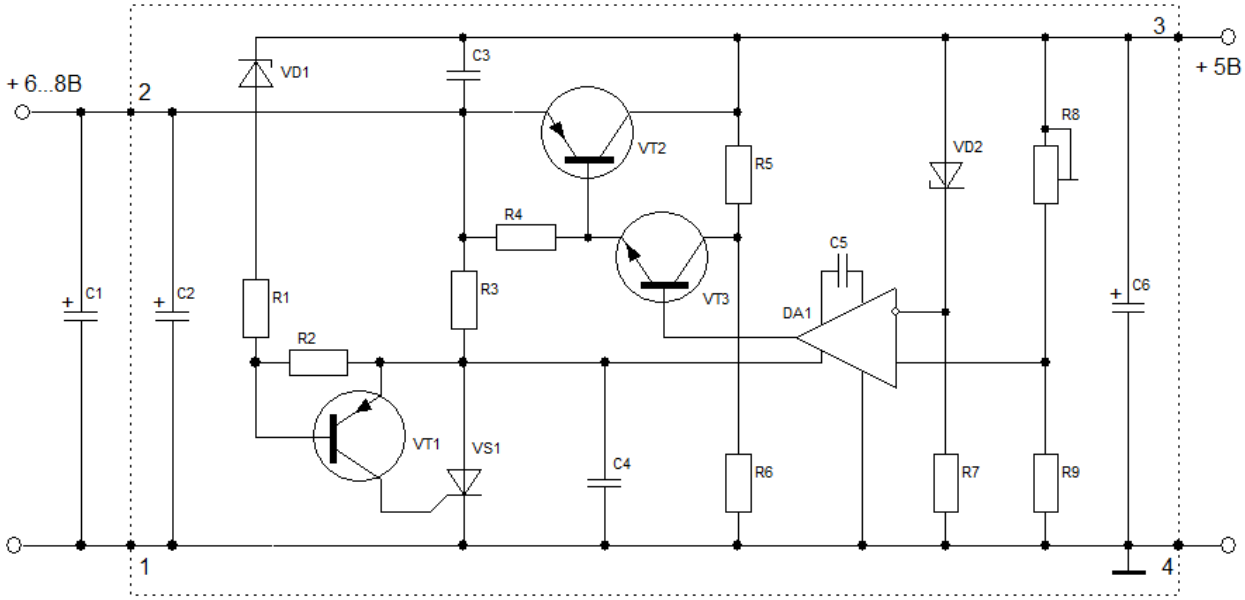


Рисунок 1.13 - Схема стабілізатора, який працює при зниженій напрузі вхід-вихід

Це досягається за рахунок використання у якості силового регулятора транзистора VT2 з малою напругою $U_{ке}$ у відкритому стані, що дозволяє забезпечити роботу схеми стабілізатора при меншій напрузі вхід-вихід.

Схема має захист (тригерного типу) у разі перевищення струму в навантаженні допустимої величини, а також перевищення напруги на вході стабілізатора величиною 10,8 В.

Вузол захисту виконаний на транзисторі VT1 і тиристорі VS1. При спрацьовуванні тиристора він відключає живлення мікросхеми DA1 (вивід 7 закорочується на загальний дріт). У цьому випадку транзистор VT3, а значить і VT2 закриються і на виході буде нульова напруга. Повернути схему у вихідний стан після усунення причини, що викликала перевантаження, можна лише виключенням і повторним включенням блоку живлення. Конденсатор С3 призначений для полегшення запуску схеми в момент включення [6].

Схему можна доповнити світлодіодним індикатором спрацювання захисту (HL1). Для цього потрібно встановити додаткові елементи: діод VD3 і резистор R10, як показано на рисунку 1.14.

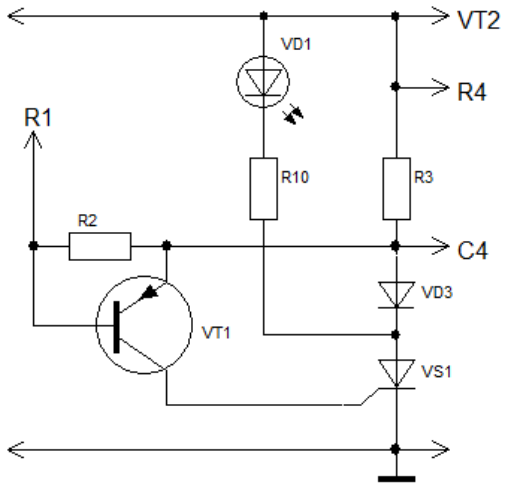


Рисунок 1.14 - Підключення індикатора спрацьовування захисту

Топологія печатної плати для монтажу елементів показана на рисунку 1.5 (вона містить одну об'ємну перемичку). Транзистор VT2 встановлюється на радіатор.

1.6 Стаціонарне універсальне джерело стабілізованої постійної напруги

Для живлення багатьох переносних побутових пристроїв або ремонту радіоапаратури зручно мати стаціонарне універсальне джерело стабілізованої постійної напруги. Зазвичай для такого джерела досить регулювання вихідної напруги від 1,5...30 В при максимальному струмі в навантаженні до 1 А. Таке джерело можна виконати на інтегральній мікросхемі з серії К142ЕН12А (рис. 1.15). Її схема включення являється типовою. Мікросхема усередині має захист від перевантаження по струму і дозволяє розсіювати на радіаторі потужність до 10 Вт.

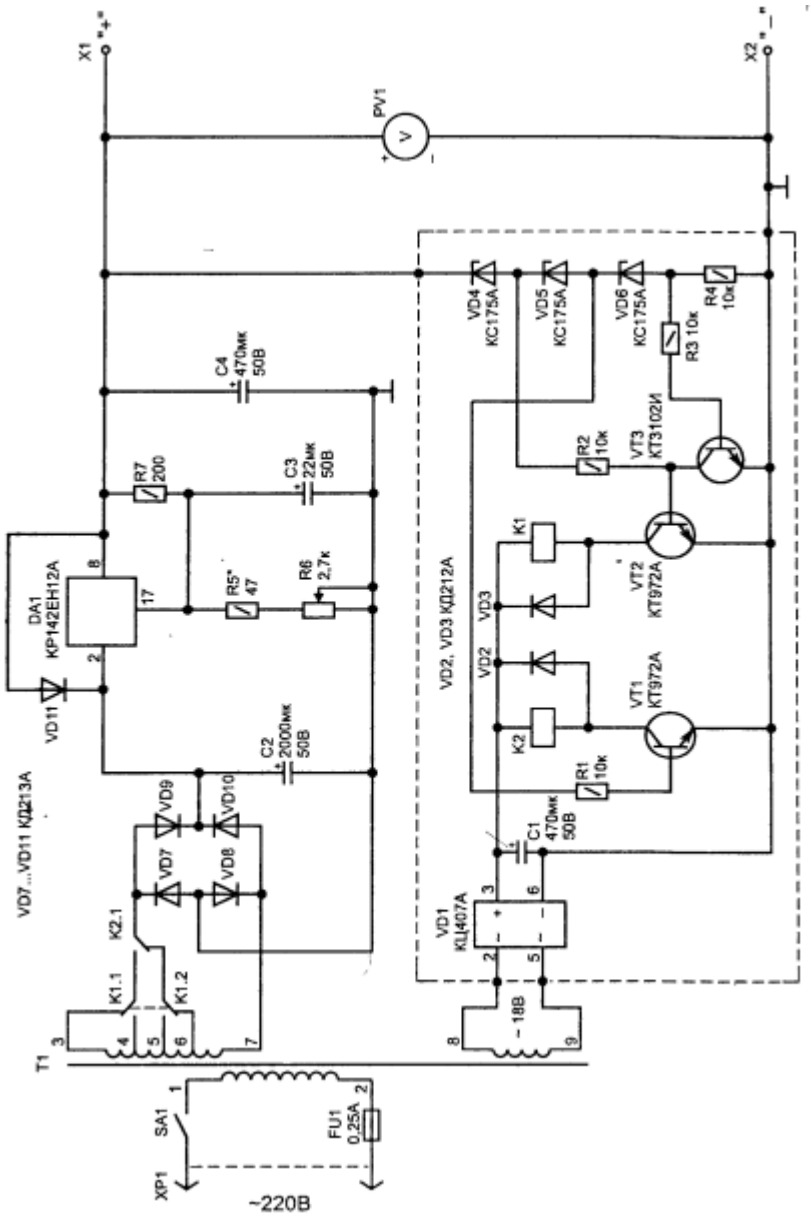


Рисунок 1.15 – Електрична схема джерела живлення

При виготовленні універсального джерела живлення з регулюванням вихідної напруги в широкому діапазоні, аби забезпечити для силового транзистора полегшений режим, часто використовується мережевий трансформатор з секціонованою вторинною обмоткою. У цьому випадку відведення трансформатора з'єднуються уручну за допомогою перемикача, залежно від рівня вихідної напруги так, щоб різниця між входом і виходом не була дуже великою. Замість перемикача це завдання може виконувати автоматичний пристрій, виділений на рисунку пунктиром.

Для перемикання чотирьох відведень вторинної обмотки трансформатора Т1 досить всього двох реле, що мають по дві групи контактів. Реле включаються у певній послідовності. На схемі показано вихідне положення контактів К1 і К2, коли жоден з них не включений.

Комутатор має три пороги перемикання і управління роботою реле виконується таким чином:

– як тільки напруга на виході перевищить 7,5 В – включиться реле К1;

– при перевищенні рівня 15 В – спрацює реле К2;

– при перевищенні рівня 22,5 В – відключиться реле К1.

При цьому напруга, яка знімається з вторинних обмоток трансформатора Т1, ступінчасто зростатиме.

Рівень порогу перемикання визначається робочою напругою використаних стабілітронів (VD4...VD6). У даному варіанті схеми для стабілітронів КС175А він складає 7,5 В. Це дозволяє на виході джерела живлення змінювати напругу від 1,5 до 30 В лише одним регулятором (R6).

1.7 Потужні стабілізатори напруги із захистом по струму

Для живлення деяких радіотехнічних пристроїв потрібне джерело живлення з підвищеними вимогами до рівня мінімальних вихідних пульсацій і стабільності напруги. Аби їх забезпечити, блок живлення доводиться виконувати на дискретних елементах.

Приведена на рисунку 1.16 схема є універсальною і на її основі можна зробити високоякісне джерело живлення на любу напругу і струм в навантаженні.

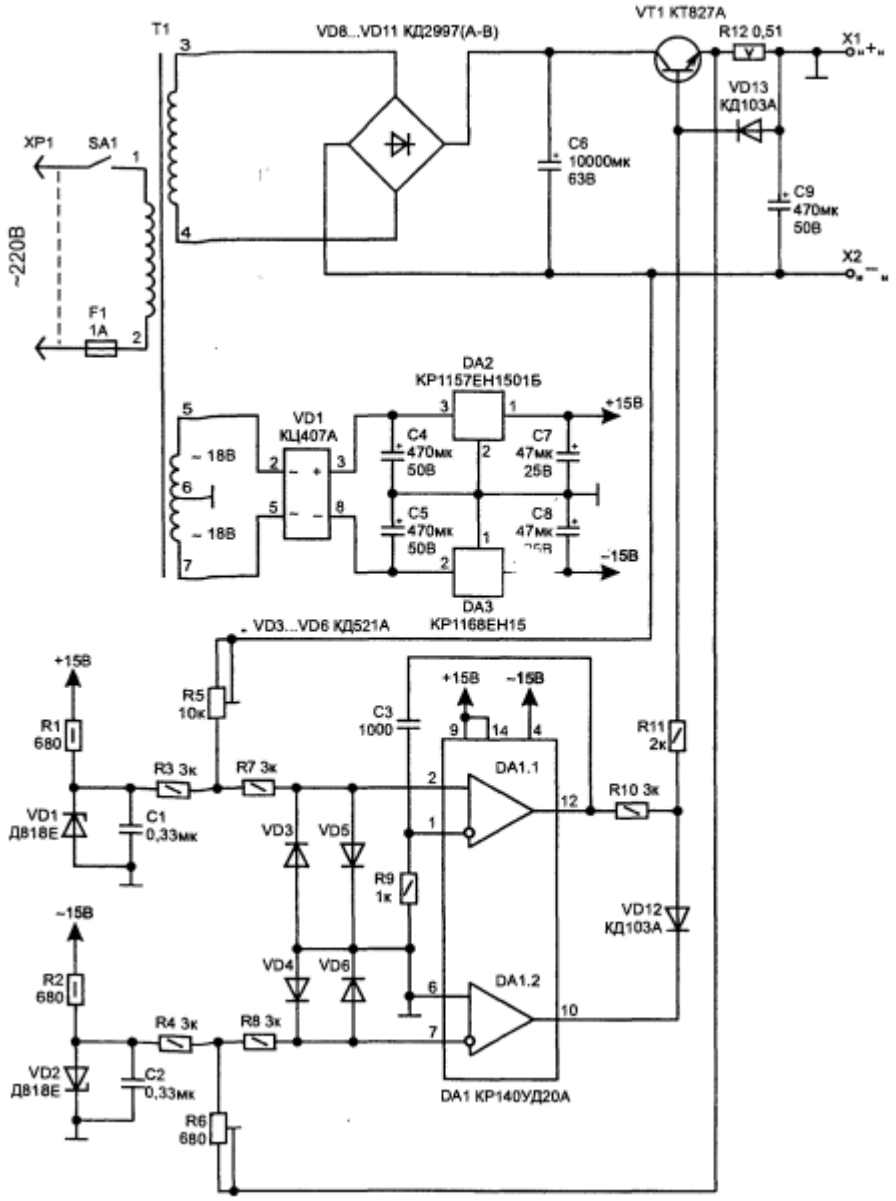


Рисунок 1.16 – Схема стабілізації напруги

Блок живлення зібраний на широко поширеному здвоєному операційному підсилювачі (ОП) КР140УД20А і одному силовому транзисторі VT1 КТ827А. При цьому схема має захист по струму, який можна регулювати в широких межах.

На операційному підсилювачі DA1.1 виконано стабілізатор напруги, а DA1.2 використовується для забезпечення захисту по струму. Мікросхеми

DA2, DA3 стабілізують живлення схеми управління, яка зібрана на DA1, що дозволяє поліпшити параметри джерела живлення.

Працює схема стабілізації напруги наступним образом. З виходу джерела (X2) знімається зворотний зв'язок по напрузі. Цей сигнал порівнюється з опорною напругою, що поступає із стабілітрона VD1. На вхід ОП подається сигнал розузгодження (різниця цієї напруги), який посилюється і поступає через R10-R11 на управління транзистором VT1. Таким чином вихідна напруга підтримується на заданому рівні з точністю, яка визначається коефіцієнтом посилення ОП DA1.1.

Потрібна вихідна напруга встановлюється резистором R5.

Для того, щоб у джерела живлення була можливість встановити вихідну напругу більше 15 В, загальний дріт для схеми управління підключений до клеми “+" (X1). При цьому для повного відкриття силового транзистора (VT1) на виході ОП потрібна невелика напруга (на базі VT1 $U_{бе}$ = +1,2 В).

Така побудова схеми дозволяє виконувати джерела живлення на будь-яку напругу, обмежену лише допустимою величиною напруги колектор-емітер ($U_{ке}$) для конкретного типа силового транзистора (для КТ827А максимальне $U_{ке}$ = 80 В).

У даній схемі силовий транзистор являється складеним [7]. Складені транзистори це комбінація з декількох транзисторів, сполучених між собою так, що їх можна розглядати як єдине ціле. Схема Дарлінгтона (рис. 1.17) володіє виключно великою величиною коефіцієнта посилення базового струму.

$$I_{б} = I_{б1};$$

$$I_{б2} = I_{e1} = (\beta\beta + 1)I_{б};$$

$$I_{к} = \beta 1 I_{б} + \beta 2 I_{б2};$$

$$I_{к} = \beta 1 I_{б} + \beta 2(\beta 1 + 1)I_{б} = \beta 1 I_{б} + \beta 1\beta 2 I_{б} + \beta 2 I_{б}.$$

Розділимо обидві частини рівняння на $I_{б}$:

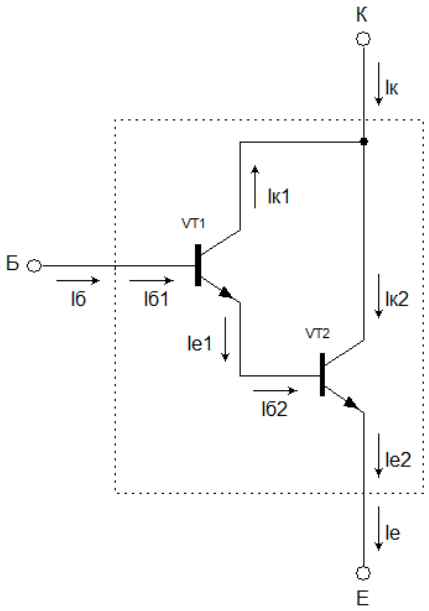


Рисунок 1.17 – Схема Дарлінгтона

$$\frac{I_к}{I_б} = \frac{I_б}{I_б}(\beta\beta + \beta1\beta2 + \beta2)$$

$$\beta = \beta1 + \beta1\beta2 + \beta2$$

Якщо β1 і β2 мають значення 100…200 то $\beta = (1...4) \cdot 10^4$.

Тому силовий транзистор у схемі може мати коефіцієнт посилення в діапазоні 750...1700, що дозволяє управляти ним невеликим струмом – безпосередньо з виходу ОП DA1.1. Це знижує число необхідних елементів і спрощує схему.

Схема захисту по струму зібрана на ОП DA1.2. При протіканні струму в навантаженні на резисторі R12 виділяється напруга. Вона через резистор R6 прикладається до точки з'єднання R4-R8, де порівнюється з опорним рівнем. Поки ця різниця негативна (що залежить від струму в навантаженні і величини опору резистора R12) – ця частина схеми не робить впливу на роботу стабілізатора напруги.

Як тільки напруга у вказаній точці стане позитивним, на виході ОП DA1.2 з'явиться негативна напруга, яка через діод VD12 зменшить напругу на базі силового транзистора VT1, обмежуючи вихідний струм. Рівень обмеження вихідного струму регулюється за допомогою резистора R6.

Паралельно включені діоди на входах операційних підсилювачів (VD3...VD7) забезпечують захист мікросхеми від пошкодження у разі включення її без зворотного зв'язку через транзистор VT1 або при пошкодженні силового транзистора. У робочому режимі напруга на входах ОП близька до нуля і діоди не роблять впливу на роботу пристрою.

Встановлений в колі негативного зворотного зв'язку конденсатор С3 обмежує смугу підсилюваних частот, що підвищує стійкість роботи схеми, запобігаючи самозбудженню.

Аналогічну схему потужного стабілізатора напруги із захистом по струму можна виконати на транзисторі з іншою провідністю КТ825А (рис. 1.18).

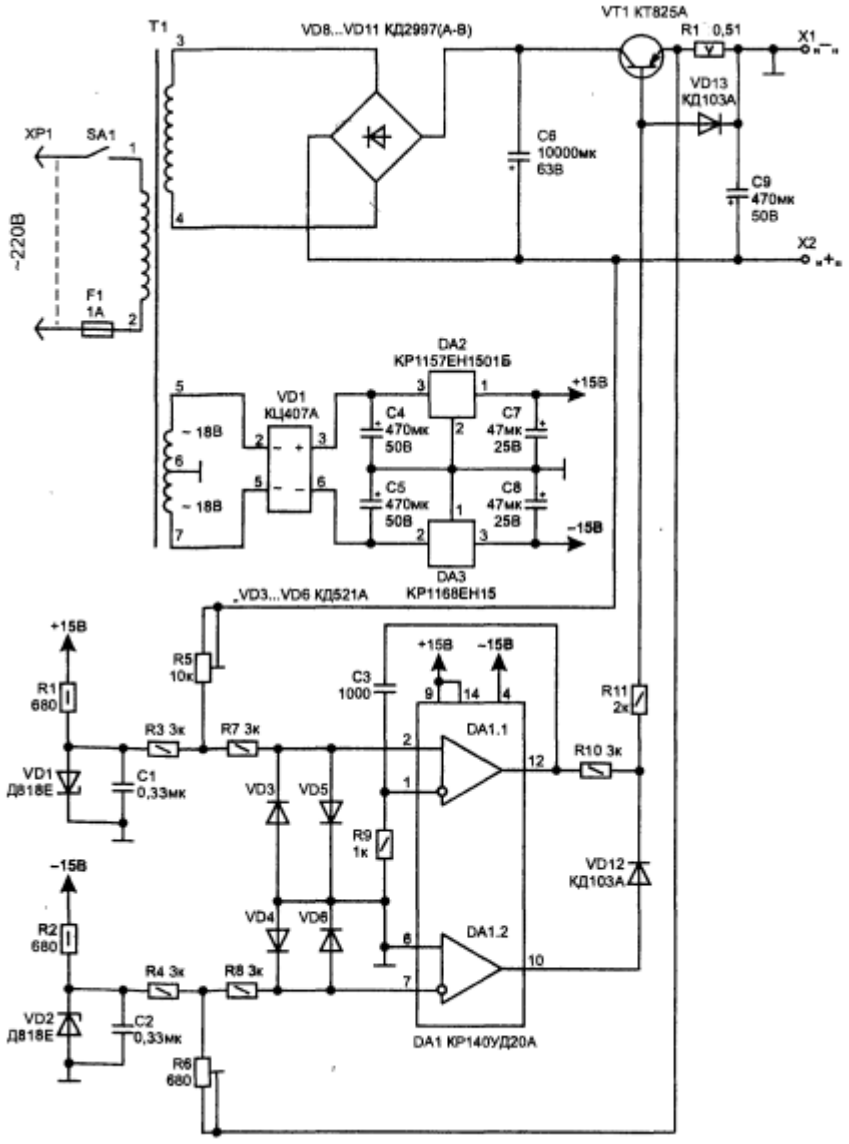


Рисунок 1.18 – Схема стабілізації напруги

При використанні вказаних на схемах елементів приведені джерела живлення дозволяють на виході отримувати стабілізовану напругу до 50В при струмі 1...5 А.

Технічні параметри стабілізованого джерела живлення отримуються не гірше за аналоги із складнішою схемотехнікою.

Силовий транзистор встановлюється на радіатор, площа якого залежить від струму в навантаженні і напруги $U_{кe}$. Для нормальної роботи стабілізатора ця напруга має бути не менше 3В.

Мікросхема операційного підсилювача DA1 може бути замінена імпортним аналогом pA747 або двома мікросхемами 140УД7; стабілізатори напруги: DA2 на 78L15, DA3 на 79L15.

Параметри мережевого трансформатора Т1 залежать від необхідної потужності, яка поступає в навантаження. У вторинній обмотці трансформатора після випрямлення на конденсаторі С6 повинна забезпечуватися напруга на 3...5В більше, ніж потрібно отримати на виході стабілізатора.

Якщо джерело живлення передбачається використовувати в широкому температурному діапазоні (-60...+100°С), то для здобуття хороших технічних характеристик необхідно застосовувати додаткові заходи. До їх числа відноситься підвищення стабільності опорної напруги. Це можна зробити за рахунок вибору стабілітронів VD1, VD2 з мінімальним ТКН, а також стабілізації струму через них. Зазвичай стабілізацію струму через стабілітрон виконують за допомогою польового транзистора або використанням додаткової мікросхеми, яка працює в режимі стабілізації струму через стабілітрон (рис. 1.19). Крім того, стабілітрони забезпечують найкращу термостабільність напруги в певній точці своєї характеристики. У паспорті на прецизійні стабілітрони це значення струму вказується і саме його треба встановлювати резисторами при налаштуванні вузла джерела опорної напруги, для чого в коло стабілітрона тимчасово включається міліамперметр.

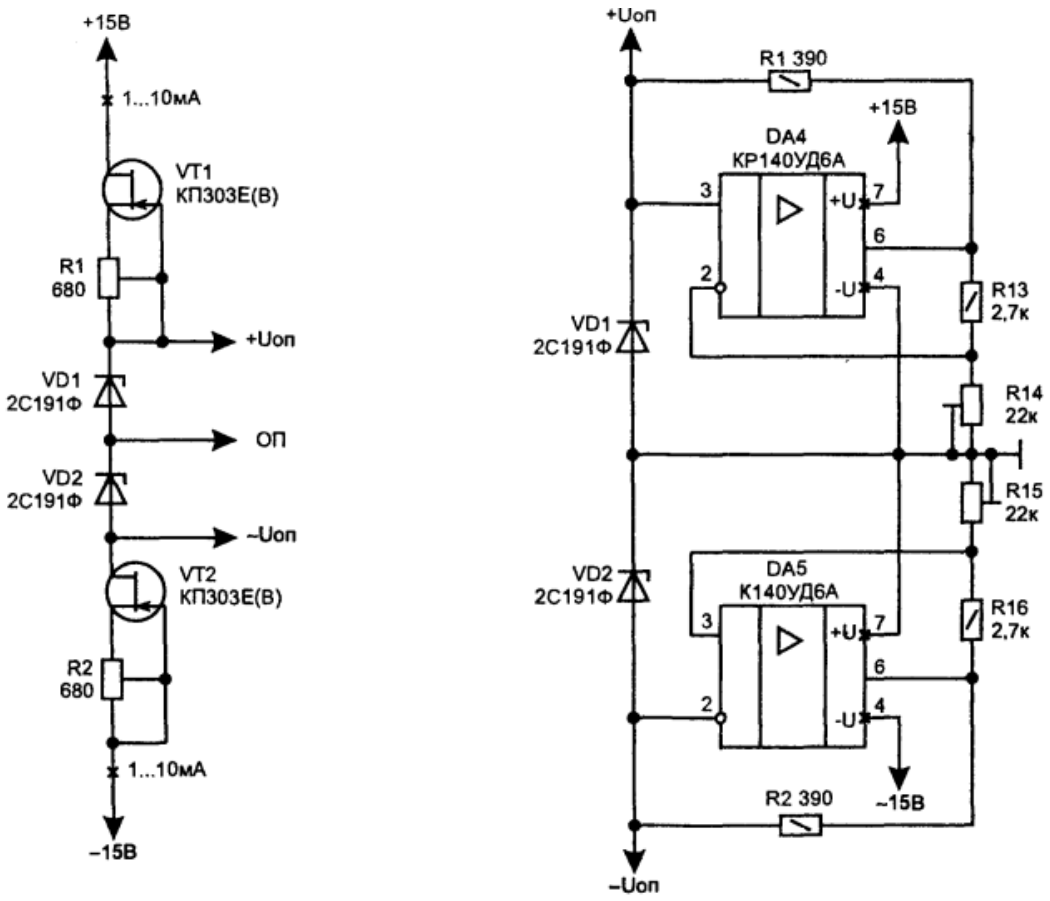


Рисунок 1.19 - Підвищення стабільності опорної напруги

Метою роботи являється розробка пристрою стабілізації напруги мережі живлення електронних пристроїв, для захисту від дестабілізуючих факторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розрахувати схему блока живлення стабілізатора напруги;
- розробити схему компаратора сигналів з блока живлення;
- розробити схему логічного контролера;
- розробити схему стабілізатора мережі живлення;
- розробити топологію печатної плати пристрою.

2 Розробка пристрою стабілізації напруги мережі живлення електронних пристроїв

Для підключення приладів до стійкого живлення застосовують стабілізатор напруги. Напруга на його виході володіє стабільними властивостями. Є допуски на зміну напруги не більше 10% від номінального значення (220 В). Це відхилення має бути дотримане як у більшу сторону, так і в меншу.

Пристрій стабілізації не має підвищену чутливість до змін напруги, яка подається по загальній лінії. Згладжування напруги виконується у тому випадку, якщо на вході напруга знаходитиметься у межах від 130 В до 270 В.

Включені в мережу пристрої живляться напругою, яка має величину від 205 В до 230 В. Від такого пристрою можна живити електричні прилади, сумарна потужність яких до 6 кВт. Стабілізатор виконує перемикання навантаження споживача за 10 мс.

Пристрій стабілізації мережі живлення за вказаною схемою має в своєму складі наступні частини (рис. 2.1).

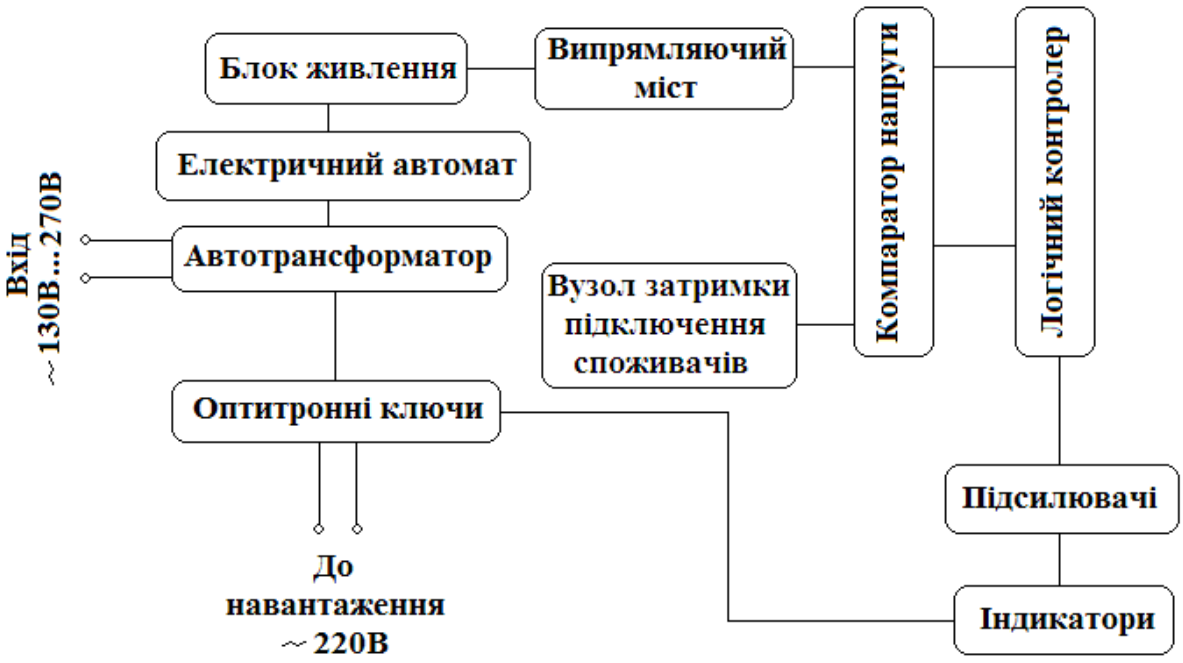


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою стабілізації мережі живлення електричних приладів

2.1 Блок живлення схеми пристрою стабілізації

Первинне джерело живлення призначене для гальванічної розв'язки від мережі живлення та пониження напруги. Джерело вторинного електроживлення виконує функції перетворення вигляду струму (змінний - постійний), стабілізації і регулювання напруги або струму, фільтрації різних перешкод, що виникають при перемиканні, стабілізації і регулюванні напруги і т.д. Перетворення змінного струму в постійний забезпечується випрямлячами. Блок живлення схеми пристрою стабілізації має структуру, яка приведена на рисунку 2.2 [1].

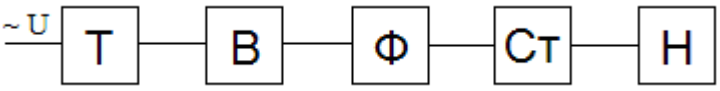


Рисунок 2.2 – Структурна схема джерела електроживлення

Потужний трансформатор Т, як правило, знижує напругу, потім вона перетвориться випрямлячем В в постійну напругу, пульсації якої згладжуються фільтром Ф, і при необхідності рівень цієї напруги за допомогою стабілізатора Ст підтримується незмінним, не залежним від зміні напруги мережі, температури, струму навантаження Н і інших дестабілізуючих чинників.

2.1.1 Розрахунок електричного стабілізатора напруги блоку живлення

Вихідні дані каналу стабілізації приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункові параметри стабілізатора напруги

$U_н$, В	$I_н$, А	Амп. $U_{пульс}$, %	$f_{мережі}$, Гц	Ном. $U_{мережі}$, В	$\Delta U_{мережі}$, %	$T_{окр}$, °С	$\Delta U_и$, %	Пред.рег $\Delta U_{вих}$, %.
5	1	0,05	50	220	+10/-15	-10+40	±2	±10

Розраховуємо мінімально вхідну напругу:

$$U_{вх.min} \geq U_н + \Delta U_н^+ + \Delta Umin + U\sim$$

де:

$$U\sim = \frac{U_{пульс}}{K_u} = \frac{0.05}{0.05} = 1\,В$$

$$\Delta U_{min} = U_{пд} + U_{беVT} = 3+1 = 4\,В$$

$$U_{вхmin} = 1+0.5+3+0.5 = 5\,В$$

Номінальна вхідна напруга:

$$U_{вхном} = \frac{U_{вхmin}}{1-\alpha_{min}} = \frac{5}{1-0.15} = 4.3\,В$$

Максимальна вхідна напруга:

$$U_{вхmax} = U_{вх.ном}(1+\alpha_{max}) = 4.3(1+0.1) = 5{,}5\,В$$

Визначимо максимально допустимий струм, мікросхеми стабілізатора з умови не перевищення допустимого $P_{рас}$ ІМС:

$$I_{вих.max} \leq \frac{P_{рас.max}}{U_{вх.max} - U_{н.min}} = \frac{6}{13.5-4.9} = 0.7\,А$$

Використаємо мікросхему стабілізатора напруги з фіксованою позитивною вихідною напругою 5 В (рис. 2.3).



Електричні параметри

Вихідна напруга ..... 5 В ± 2%

Вихідна напруга (поріг спрацьовування захисту) ..... ? 26 В

Падіння напруги між входом і виходом:

- при $I_н$ = 0,1 А ..... ? 0,3 В
- при $I_н$ = 0,4А ..... ? 0,6 В

Струм споживання:

- при $I_н$ = 10 мА ..... ? 3 мА
- при $I_н$ = 400 мА ..... ? 80 мА

Нестабільність по напрузі при $U_{вх}$ = 6...26 В ..... ? 0,05 %/В

Нестабільність по струму при $I_н$ = 5...400 мА ..... ? 0,01 %/мА

Гранично допустимі режими експлуатації

Вхідна напруга:

- постійна ..... ? 35 В
- імпульсна ..... ? 60 В

Вихідний струм:

КР1158ЕН5(А, Б)..... 0,5 А

Температура довкілля ..... -45...+85 °С

Рисунок 2.3 – Характеристики мікросхеми стабілізатора КР1158ЕН5А

Для схеми (рис. 2.4) струм навантаження має бути рівний:

$$I_{н.max} \le I_{вих \cdot max}^{IMM} \cdot h_{21minVT1} = 0.7 \cdot 2 = 1.4\ A > 1\ A$$

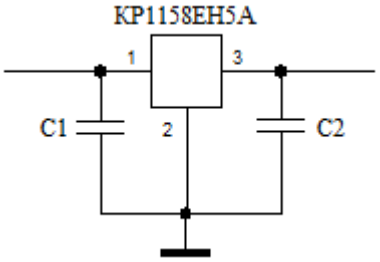


Рисунок 2.4 – Схема стабілізатора напруги

2.1.2 Розрахунок електричного випрямляча і фільтру

Випрямлячі служать для перетворення змінної (синусоїдальної) напруги в напругу постійного струму за допомогою напівпровідникових випрямляючих діодів.

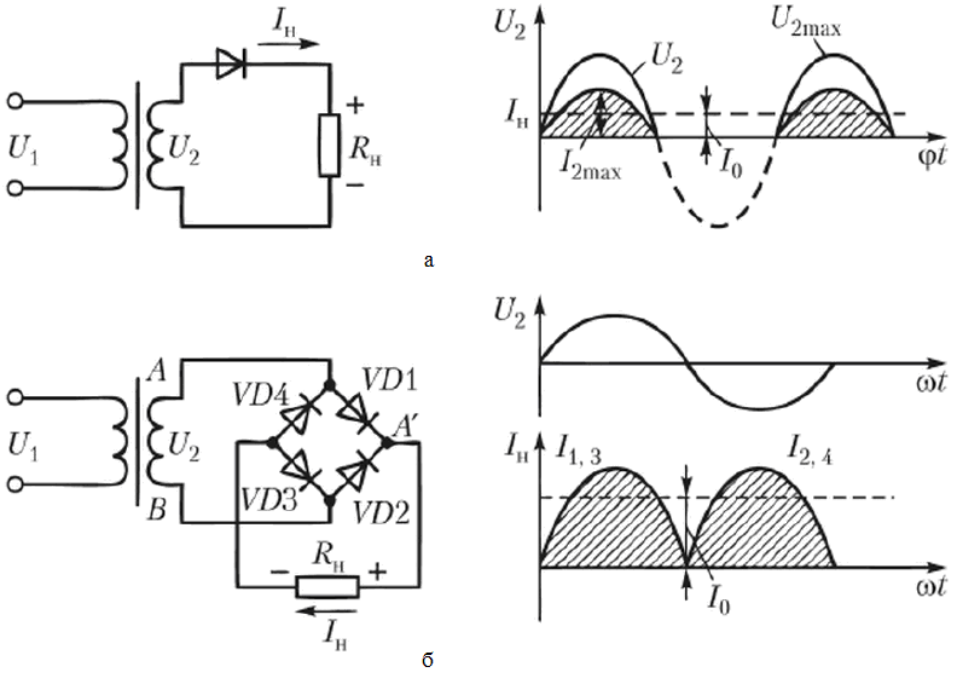
У схемі однонапівперіодного випрямляча (рис. 2.5, а) струм $I_н$ через діод проходить в навантаження $R_н$ лише в позитивні напівперіоди напруги U_2, оскільки в негативні напівперіоди вона замикає діод. Струм в навантаженні (заштрихований) має переривистий характер, а його постійна складова I_0 середнє значення струму, що протікає за період, і створює на навантаженні постійну складову напруги, рівну (згідно розкладанню функції в ряд Фур'є) [1]:

$$U_0 = I_0 R_н = \frac{I_{2max}}{\pi} R_н; \qquad \frac{I_{2max}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0{,}45 U_2, \qquad (2.1)$$

де U_{2max} і U_2 – амплітудне і діюче значення синусоїдальної напруги вторинної обмотки трансформатора. По заданому U_0 можна знайти U_2 і визначити необхідний коефіцієнт трансформації U_1/U_2 при заданій напрузі живлячої мережі змінного струму.

У негативний напівперіод до замкнутого діода прикладена зворотна напруга

$$U_{звор.} = U_{2max} = \pi U_0, \qquad (2.2)$$



а – однонапівперіодний випрямляч;

б – двонапівперіодний випрямляч

Рисунок 2.5 – Випрямні пристрої і графіки, що пояснюють їх роботу

тому діод вибирають так, щоб його допустима зворотна напруга задовольняла умові:

$$U_{звор.доп.} \geq \pi U_0, \qquad (2.3)$$

а допустимий прямий струм через діод умові:

$$I_{сер.доп.} \geq I_0 \qquad (2.4)$$

Схема двонапівперіодного випрямляча складається з чотирьох діодів, включених за так званою мостовою схемою (рис. 2.5, б).

Напруга U_2 в позитивний напівперіод відкриває діоди VD1 і VD3 і від точки А до точки В по колу «VD1 – $R_н$ – VD3» протікає струм навантаження $I_н = I_{1,3}$. При цьому діоди VD2 і VD4 замкнуті.

У негативний напівперіод напруга U_2 відкриває діоди VD2 і VD4 і струм $I_н = I_{2,4}$ тече від точки В до точки А по колу «VD2 – $R_н$ – VT».

У цій схемі постійні складові струму I_0 і напруги U_0 в два рази вище, ніж в однонапівперідній схемі:

$$I_0 = \frac{2}{\pi} I_{2max} \text{ і } U_0 = \frac{2}{\pi} U_{2max}, \quad \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0{,}9U_2 \qquad (2.5)$$

Оцінімо зворотну напругу, прикладену, наприклад, до діода VD2 в позитивний напівперіод напруги U2.

При відкритому діоді VD1 потенціал точки A' близький до позитивного потенціалу точки А обмотки трансформатора, а її негативний потенціал точки В прикладений до іншого виводу діода VD2. Значить, до діода VD2 прикладена зворотна напруга вторинної обмотки трансформатора $U_{звор.} = U_{2max}$, тобто таке ж, як і в однонапівперіодній схемі.

Струм, що протікає через кожен з діодів, $I_{сер.} = I_0 / 2$, тобто в два рази менше, ніж в однонапівперіодному випрямлячі.

Виходячи з енергетичних міркувань і зменшення коефіцієнта пульсацій, а також масогабаритних показників вибираємо мостову схему випрямлення для джерела первинного електроживлення основні співвідношення якої приведені в таблиці 2.2 [4].

Таблиця 2.2 - Основні співвідношення для розрахунку випрямляча і фільтру

U_2/U_0	$U_{звор}/U_0$	$I_{прср}/I_0$	$I_{прм}/I_0$	$I_{пр}/I_0$	I_2/I_0	I_1w_1/I_0w_2	S_2/P_0	S_1/P_0	$S_{тр}/P_0$	$k_п$	$f_п/f_с$	r
B	1,41	0,5	0,5F	D	0,707D	0,707D	0,707BD	0,707BD	0,707BD	н/rc	2	$2r_{пр}+r_{тр}$

Користуючись таблицею визначимо приблизні параметри $U_{звор.}$, $I_{прср}$, $I_{пр}$, $S_{тр}$. при цьому задамося D і B для мостової схеми B ~ 1, D ~ 2,15.

Тоді:

$$U_{звор.} = 1{,}41 \cdot B \cdot U_0 = 1{,}41 \cdot 1 \cdot 12{,}3 = 17{,}3 \text{ В}$$

$$I_{пр.сер} = 0{,}5 \cdot I_0 = 0{,}5 \cdot 10 = 5 \text{ А}$$

$$I_{пр} = D \cdot I_0 = 2{,}15 \cdot 10 = 21{,}5 \text{ А}$$

$$S_{тр} = 0{,}707 \cdot D \cdot B \cdot P_0 = 0{,}707 \cdot 1 \cdot 2{,}15 \cdot 123 = 187 \text{ ВА},$$

де $P_0 = U_0 \cdot I_0 = 12{,}3 \cdot 10 = 123$ Вт

Амплітуду $U_{звор.}$ на вентилі визначаємо по максимальному значенню випрямленої напруги

$$U_{звор.} = 5{,}5 \text{ В}$$

Визначимо типи вентилів. При цьому необхідно виконати умову:

$U_{звор.\ макс} > U_{звор.}$ $\qquad$ $U_{звор.\ макс}$=50 В

$I_{пр.сер\ макс} > I_{прср}$ $\qquad$ $I_{пр.сер\ макс}$= 10 А

$I_{пр} < 1{,}57 \times I_{пр.сер\ макс}$ $\qquad$ $U_{пр.\ сер}$=1 В

Знаходимо опір вентилів в прямому напрямі:

$$r_{пр} = U_{пр}/I_{пр.сер\ макс} = 1/10 = 0{,}1 \text{ Ом}$$

Активний опір обмоток трансформатора:

$$r_{тр} = \frac{k_r \cdot U_0}{I_0 \cdot f_c \cdot B_m} \cdot \sqrt[4]{\frac{S \cdot f_c \cdot B_m}{U_0 \cdot I_0}}$$

де $K_r = 3{,}5$ – для мостового випрямляча із С - фільтром.

$S = 1$ – кількість стержнів трансформатора (для броньового).

$B_т = 1{,}5$ – магнітна індукція в магнітопроводі при $f = 50$ Гц.

тоді:

$$r_{тр} = \frac{3{,}5 \cdot 14{,}8}{10 \cdot 50 \cdot 1{,}5} \cdot \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 50 \cdot 1{,}5}{14{,}8 \cdot 10}} = 0{,}06 \text{ Ом}$$

де U_0 приймаємо рівним $U_{0x} = 1{,}2 \cdot U_0 = 14{,}8$ В.

Знаходимо індуктивність розсіяння обмоток трансформатора:

$$L_S = \frac{K_L \cdot S \cdot U_0}{(p-1)^2 \cdot I_0 \cdot f_c \cdot B_m} \cdot \sqrt[4]{\frac{S \cdot f_c \cdot B_m}{U_0 \cdot I_0}} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 12{,}3}{(2-1)^2 \cdot 10 \cdot 50 \cdot 1{,}5} \cdot \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 50 \cdot 1{,}5}{12{,}3 \cdot 10}} =$$

$$= 73{,}5 \text{ мкГн}$$

де $K_L = 5 \cdot 10^{-3}$ – коефіцієнт для мостової схеми.

Активний опір випрямляча

$$r = 2r_{пр} + r'_{тр} = 0{,}1 \cdot 2 + 0{,}06 = 0{,}26 \text{ Ом}$$

Визначимо кут φ, що характеризує співвідношення між активним і індуктивним опором фази випрямляча

$$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{2\pi \cdot f_C \cdot L_S}{r}\right) = \text{arctg}\left(\frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 73 \cdot 10^{-6}}{0{,}26}\right) = 5°$$

Основний розрахунковий коефіцієнт

$$A_0 = \frac{I_0 \cdot r \cdot \pi}{m \cdot U_0} = \frac{10 \cdot 0{,}26 \cdot 3{,}14}{2 \cdot 12{,}3} = 0{,}33$$

По графіках [5] визначаємо допоміжні коефіцієнти.

$$B = 0{,}95; \quad D = 2{,}15; \quad F = 6{,}5; \quad H = 210.$$

Знаходимо параметри трансформатора і вентиля.

$$U_2 = BU_0 = 0{,}95 \cdot 12{,}3 = 11{,}7 \text{ В}$$

$$I_2 = 0{,}707DI_0 = 0{,}707 \cdot 2{,}3 \cdot 10 = 16{,}3 \text{ А}$$

$$I_{\text{пр. сер}} = DI_0 = 2{,}3 \cdot 10 = 23 \text{ А}$$

$$U_{\text{звор.}} = 1{,}41 \cdot B \cdot U_0 = 1{,}41 \cdot 0{,}95 \cdot 12{,}3 = 16{,}5 \text{ В}$$

$$I_{\text{пр т}} = 0{,}5FI_0 = 0{,}5 \cdot 6{,}5 \cdot 10 = 32{,}5 \text{ А}$$

$$S = S_{\text{тр}} = 0{,}707BDP_0 = 0{,}707 \cdot 0{,}95 \cdot 2{,}15 \cdot 123 = 187 \text{ ВА}$$

Розрахуємо ємкість згладжуючого конденсатора

$$C = \frac{H \cdot 100}{r \cdot f \cdot k_n} = \frac{210 \cdot 100}{0{,}26 \cdot 50 \cdot 0{,}1} = 1615 \text{ мкФ},$$

де k_n – коефіцієнт пульсації випрямленої напруги.

Найбільша випрямлена напруга визначається на виході випрямляча при $U_{\text{мережі макс}}$.

$$U_{0xx\ \text{макс}} = U_{0xx}(1 + \alpha_{\text{макс}}) = 17{,}3 \cdot (1 + 0{,}1) = 19 \text{ В}$$

де $U_{0xx} = U_2 \cdot \sqrt{2} = 12{,}3 \cdot 1{,}41 = 17{,}3$ В – напруга холостого ходу.

Знаходимо внутрішній опір випрямляча:

$$r_0 = (U_{0xx} - U_0) / I_0 = (17{,}3 - 12{,}3) / 10 = 0{,}5 \text{ Îì}$$

Струм короткого замикання

$$I_{0\hat{e}\c} = m\sqrt{2}U_2 / r = 2\sqrt{2} \cdot 12{,}3 / 0{,}26 = 133{,}4 \text{ А}$$

ККД випрямляча

$$\eta = \frac{P_0}{P_0 + P_{\text{тр}} + P_{\text{в}}}$$

де $P_{\text{тр}}$ – втрати в трансформаторі

$$P_{\text{тр}} = S_{\text{тр}} / (1 - \eta_{\text{тр}}) = 187 / (1 - 0{,}85) = 28 \text{ Вт}$$

$\eta_{\text{тр}}$ – ККД трансформатора, визначається з графіка [4].

$P_в$ – втрати потужності на вентилях

$$P_в = I_{пр\ ср} \cdot U_{пр} \cdot N = 23 \cdot 1 \cdot 4 = 92 \text{ Вт}$$

N = 4 – загальне число вентилів у випрямлячі.

Тоді:

$$\eta = \frac{123}{123 + 28 + 92} = 0{,}51$$

Схема розрахованого первинного джерела живлення представлена на рисунку 2.6.

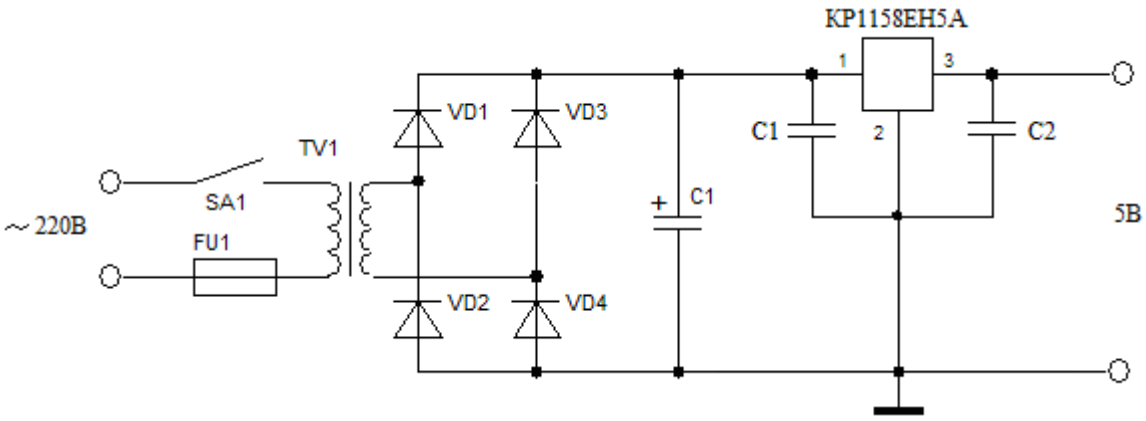


Рисунок 2.6 – Первинне джерело живлення

Згідно з міркувань функціонування схеми пристрою стабілізації мережі живлення використаємо мостовий випрямляч DF005M (рис. 2.7).



Корпус DIP4
Конфігурація з'єднання діодів 4Мост
Максимальна зворотня напруга діоду.. 50 В
Пряме падіння напруги ..... 1,1 В
Прямий струм діоду (середній) ..... 1 А
Робоча температура ..... -65 °С ... +150 °С

Рисунок 2.7 - Мостовий випрямляч DF005M

Напруга с блоку живлення контролюється компаратором для подальшого управління схемою стабілізатора мережі живлення.

2.1.3 Компаратор напруги

Компаратор – пристрій, який порівнює між собою два електричні сигнали і виводить цифровий сигнал, який указує на збільшення одного вхідного сигналу над іншим. Вони мають два входи. Один з входів призначений для подачі досліджуваного сигналу U_x, а інший для подачі опорної напруги $U_{оп}$ [6]. У момент часу, коли досліджуваний сигнал U_x порівнюється з пороговою напругою $U_{пор}$, який залежить від величини опорної напруги $U_{оп} = F(U_{пор})$, компаратор змінює свій стан. Стан компаратора визначається величиною вихідної напруги, яка може приймати два значення: $U_{вих} = U^0_{вих}$ або $U_{вих} = U^1_{вих}$.

Роботу компаратора зазвичай характеризують аналітично, у вигляді нерівностей або амплітудною характеристикою. Компаратор з такою характеристикою називається інвертуючим (рис. 2.8).

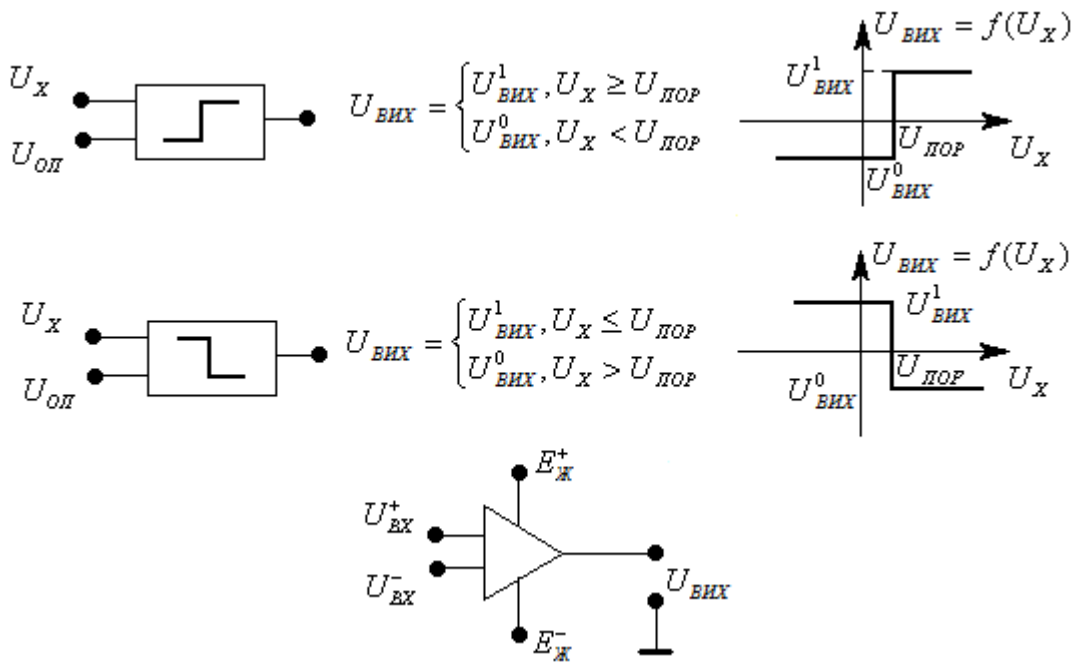


Рисунок 2.8 – Інвертуючий компаратор

У якості компаратора зазвичай використовують операційний підсилювач (ОП). Вхідна ($U_{вх+}$, $U_{вх-}$) и вихідна ($U_{вих}$) напруги ОП зв'язані співвідношенням

$$U_{вих} = K_{оп}(U_{вх+} - U_{вх-}), \qquad (2.1)$$

де $K_{оп}$ – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

У зв’язку з тим що $К_{оп}$ великий ($10^5 \ldots 10^6$) лінійний режим має місце лише при малих вхідних сигналах, коли їх діапазон не перевищує долів або одиниць мілівольта.

За відсутності негативного зворотного зв'язку або при введенні позитивного зворотного зв'язку схеми на ОП володіють нелінійними властивостями і виконують функції компараторів, генераторів сигналів і т. п.

При чималих значеннях вхідної диференціальної напруги має місце режим обмеження вихідної напруги:

$$U_{вих} = U^1_{вих} \approx E_ж^+ \text{ sign } U_{вх+}, \text{ при } U_{вх+} > U_{вх-}, \qquad (2.2)$$

$$U^0_{вих} \approx E_ж^- \text{ sign } U_{вх+}, \text{ при } U_{вх+} < U_{вх-},$$

Завдяки великому коефіцієнту посилення ОП мають амплітудну характеристику аналогічну характеристиці компаратора.

Недоліком ОП при використанні їх у якості компараторів являється невисока швидкодія перемикання (складність схеми та велике число активних компонентів). У тих випадках коли необхідна висока швидкодія використовують спеціальні схеми компараторів. По структурі вони аналогічні ОП, але мають більш просту схему з меншим числом активних компонентів.

Основні параметри компаратора аналогічні параметрам ОП, але є і специфічні: зона невизначеності $2\Delta E = E_ж / К_{оп}$ – це така зміна досліджуваної напруги поблизу порогу спрацьовування, при якому компаратор не приймає жодного зі своїх стаціонарних станів.

Параметри, що характеризують якість компараторів, можна розділити на три групи: точністні, динамічні і експлуатаційні.

Компаратор характеризується тими ж точністними параметрами, що і ОП [8].

Основним динамічним параметром компаратора являється час перемикання $t_п$. Це проміжок часу від початку порівняння до моменту, коли вихідна напруга компаратора досягає протилежного логічного рівня.

Час перемикання заміряється при постійній опорній напрузі, що подається на один з входів компаратора і скачку вхідної напруги $U_{вх}$, що подаєть-

ся на інший вхід. Цей час залежить від величини перевищення $U_{вх}$ над опорною напругою.

Вихідні каскади компараторів зазвичай володіють більшою гнучкістю, чим вихідні каскади операційних підсилювачів.

Вихідні транзистори деяких типів компараторів, наприклад 1101СА2 або LM339 мають відкриті, тобто непідключені колектор і емітер. Дві основні схеми включення компараторів такого типа приведено на рисунку 2.9 [8].

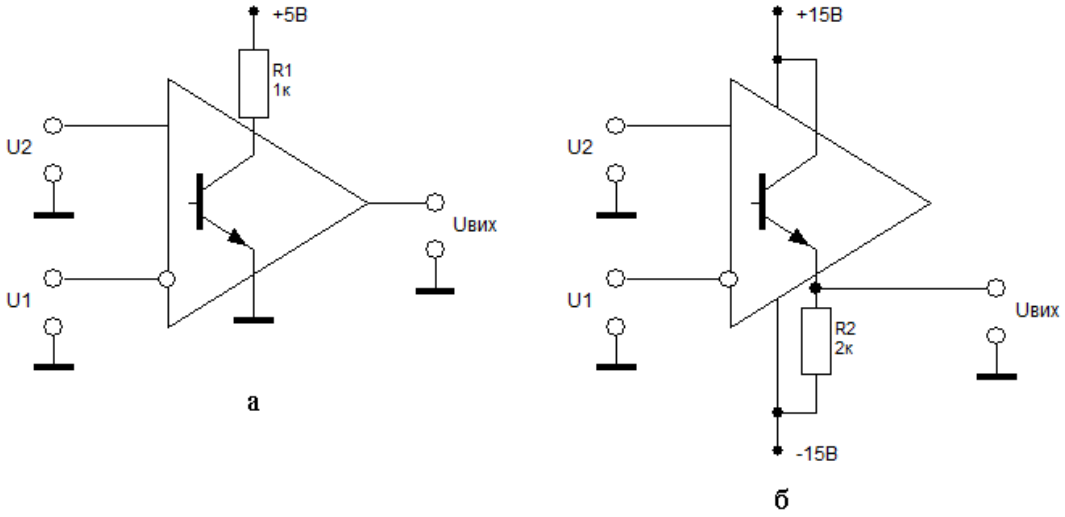


Рисунок 2.9 – Схеми включення вихідного каскаду компаратора 1101СА2

На рисунку 2.8 а вихідний транзистор компаратора включений за схемою із загальним емітером. При потенціалі на верхньому виведенні резистора рівному +5 В до виходу можна підключати входи ТТЛ, nMOH і КМОН-логіку з живленням від джерела 5 В. Для управління КМОН-логікою з більшою напругою живлення слід верхній вивід резистора підключити до джерела живлення даної цифрової мікросхеми.

Якщо необхідна зміна вихідної напруги компаратора у межах від $U^{+}_{ж}$ до $U^{-}_{ж}$, вихідний каскад вмикається по схемі емітерного повторювача (рис. 2.8 б). При цьому помітно знижується швидкодія компаратора.

Вихідний сигнал компаратора майже завжди діє на входи логічних кіл і тому узгоджується по рівню і потужності з їх входами. Таким чином, компа-

ратор - це елемент переходу від аналогових до цифрових сигналів, тому його інколи називають однобітовим аналого-цифровим перетворювачем.

Різновиди компараторів [9].

1. Компаратори без позитивного зворотного зв'язку:

- двохвходові (для порівняння однополярних вхідних сигналів)

- одновходові (для порівняння різнополярних вхідних сигналів)

2. Компаратори з позитивним зворотним зв'язком

Схема двохвходового інвертуючого компаратора приведена на рисунку 2.10.

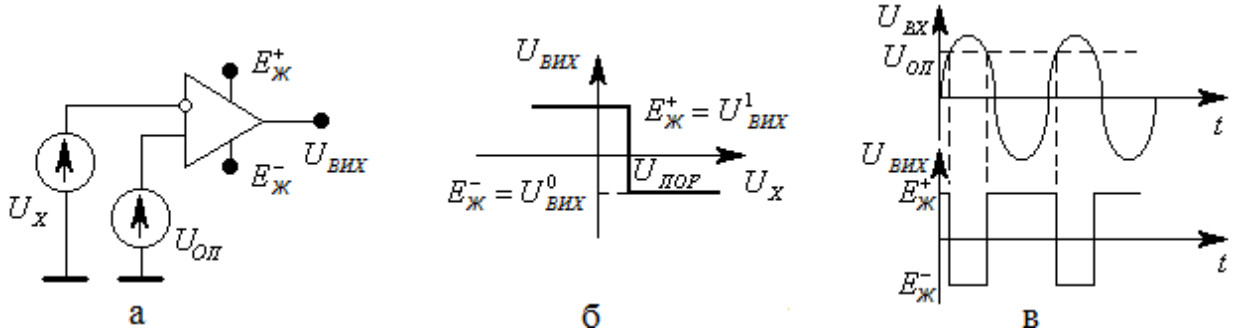


Рисунок 2.10 - Схема двохвходового інвертуючого компаратора

Визначимо величину порогової напруги компаратора $U_{пор}$.

$$U_x = U_{вх-} = U_{вх+} = U_{оп}$$

Звідси витікає, що $U_{пор} = U_{оп}$. На рисунку 2.9 б приведена амплітудна характеристика, а на рисунку 2.9 в часові діаграми роботи схеми, коли вхідний сигнал гармонійний.

Схема двохвходового неінвертуючого компаратора приведена на рисунку 2.10.

Визначимо величину порогової напруги компаратора $U_{пор}$.

$$U_x = U_{вх+} = U_{вх-} = U_{оп}.$$

Звідси витікає, що $U_{пор} = U_{оп}$. На рисунку 2.10 б приведена амплітудна характеристика, а на рисунку 2.11 в часові діаграми роботи схеми, коли вхідний сигнал гармонійний.

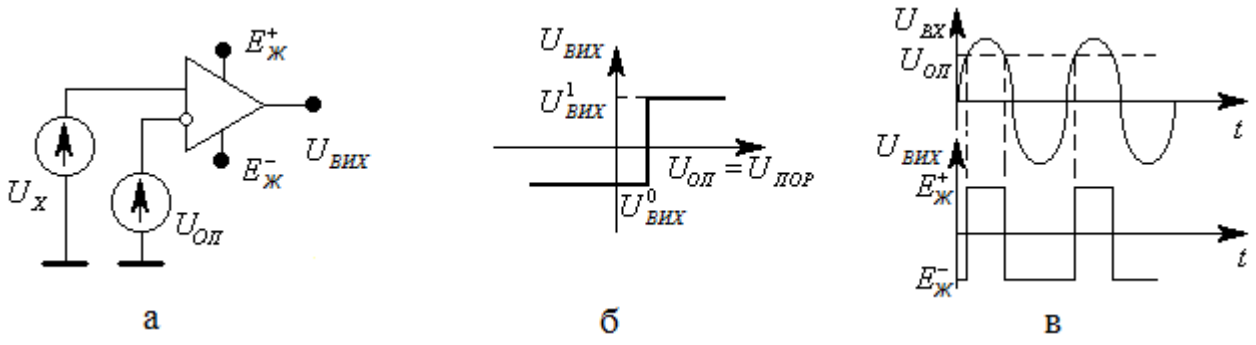


Рисунок 2.11 - Схема двохвходового неінвертуючого компаратора

Завдяки позитивному зворотному зв’язку підвищується швидкодія компараторів.

Швидкодія перемикання компараторів залежить від швидкості наростання вхідних сигналів, тобто від часу перебування вхідного сигналу в зоні невизначеності, а тому перемикання компаратора відбувається із затримкою. У компараторі з позитивним зворотним зв'язком сигнал, що перемикається складається з двох складових:

- вхідного (досліджуємого) сигналу;

- сигналу, що поступає з виходу по колу ПЗЗ.

Сигнал на виході компаратора посилений в $K_{оп}$ разів, в стільки ж раз збільшується його швидкість зміни. За рахунок цього перемикання компаратора з ПЗЗ відбувається значно швидше, ніж без неї.

Моделювання схеми двохвходового інвертуючого компаратора виконано в програмному застосуванні Electronics Workbench (рис. 2.12).

Схема компаратора контролю рівня напруги побудована на двох операційних підсилювачах, дільнику напруги та регуляторів рівня сигналів, що порівнюються (рис. 2.12) [6]. Результати аналізу показують правильність спрацювання компаратора при появі різниці напруги на входах.

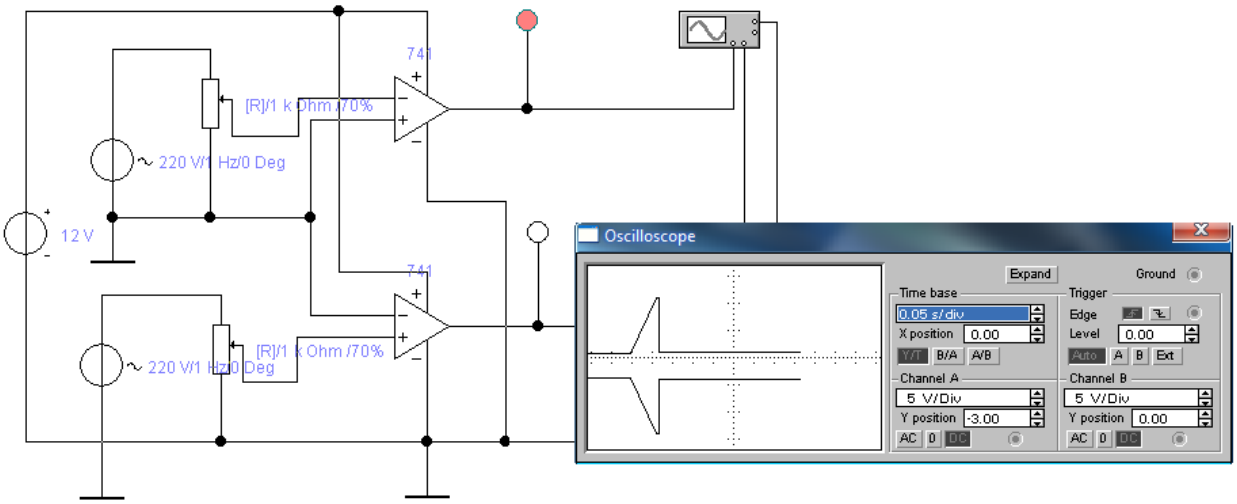


Рисунок 2.12 – Моделювання компаратора в EWB

Схема компаратора контролю рівня напруги побудована на двох операційних підсилювачах, дільнику напруги та регуляторів рівня сигналів, що порівнюються (рис. 2.13) [7].

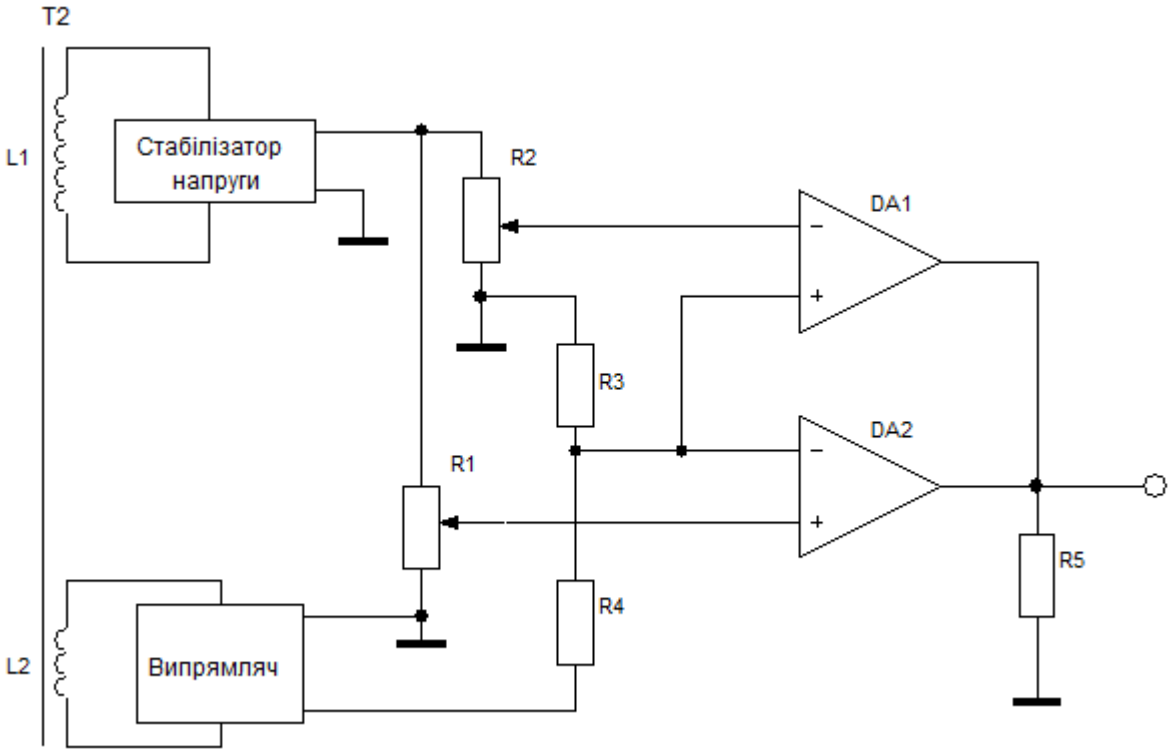


Рисунок 2.13 - Схема компаратора контролю рівня напруги

Змінна напруга, яка знімається з другої обмотки L2 трансформатора T2, використовується для контролю рівня напруги. Вона перетворюється в постійну випрямлячем і через дільник R3-R4 подається на входи компараторів

DA1, DA2. Їх пороги спрацьовування встановлюються: на перевищення допустимої напруги резистором R1, а на зниження – підстроюванням резистора R2.

У компараторах використовуються емітерні виходи внутрішніх транзисторів, що забезпечує їх спільну роботу на одне навантаження R5. На резисторі R5 з'являтимуться імпульси або позитивна напруга у момент знаходження мережевої напруги на рівні порогу або за його межами [9].

У блок живлення входять ємкості С1…С4, компаратор LM339M, трансформатор, теплоелектричний діод (рис. 2.14). Випрямляч складається з ємкості, діодного моста, стабілітрона і декількох дільників.

Напруга, що виходить з третьої обмотки VT1, вирівнюється діодним мостом VD3 і ємкістю С2. Далі струм поступає на дільник з опорами R1, R2. З опору R2, напруга, величина якої прямо залежить від величини напруги на обмотці, включена в кожен неінвертуючий вхід компаратора.

На інвертуючий вхід компараторів, поступає постійний струм, який подається за допомогою дільників R3, R4.

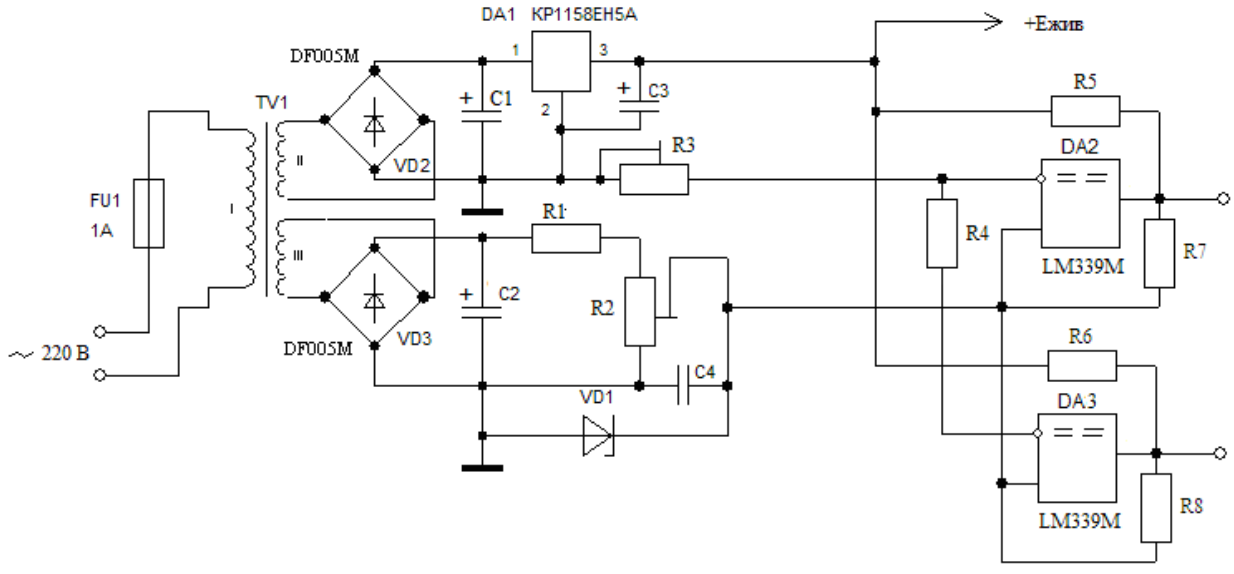


Рисунок 2.14 - Блок живлення схеми пристрою стабілізації

У схемі пристрою стабілізації мережі живлення застосовано вісім компараторів.

2.2 Вузол затримки підключення споживачів

Вузол, який затримує підключення навантаження споживача складається з опорів, транзисторів, ємкості (рис. 2.15). Після підключення живлення ємкість С1 знаходиться в стані розряду, транзистор VT1 відкритий, а VT2 закритий. VT3 транзистор також залишається закритим.

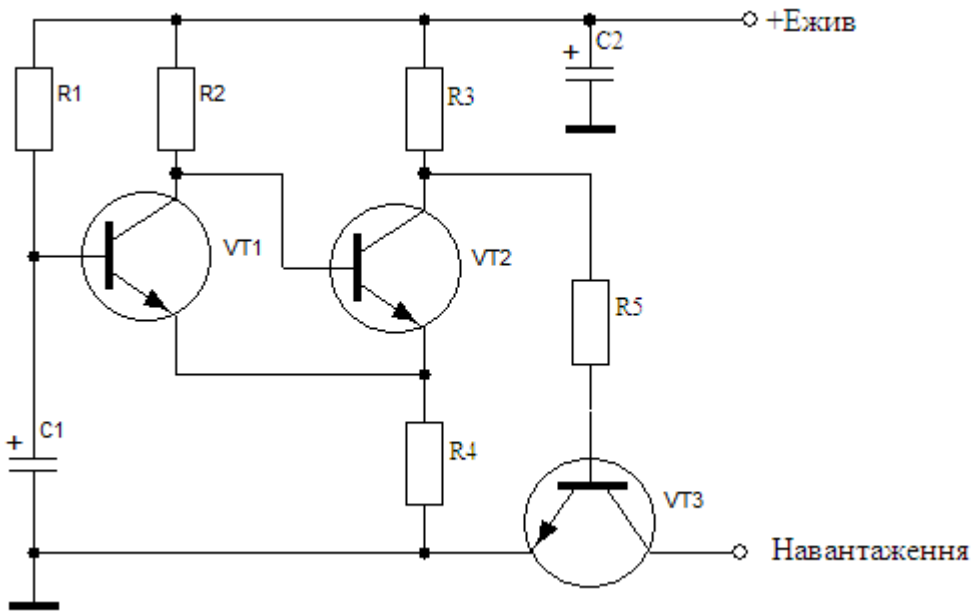


Рисунок 2.15 - Вузол затримки підключення споживачів

Через нього поступає струм на навантаження (світлодіоди і оптрон на основі симисторів). Оскільки цей транзистор перебуває в закритому стані, то світлодіоди не горять, а кожен симистор закритий, навантаження вимкнене. У цей момент струм поступає через опір R1 і приходить на С1. Далі конденсатор починає заряджатися. Після закінчення часового діапазону затримки спрацьовує тригер Шмітта на основі транзисторів VT1 і VT2. Після цього відкривається транзистор VT3 і підключається навантаження.

На рисунку 2.16 представлено моделювання роботи вузла затримки підключення споживачів в програмному забезпеченні Electronics Workbench. Діапазон затримки три секунди. За цей період виконуються усі процеси переходу.

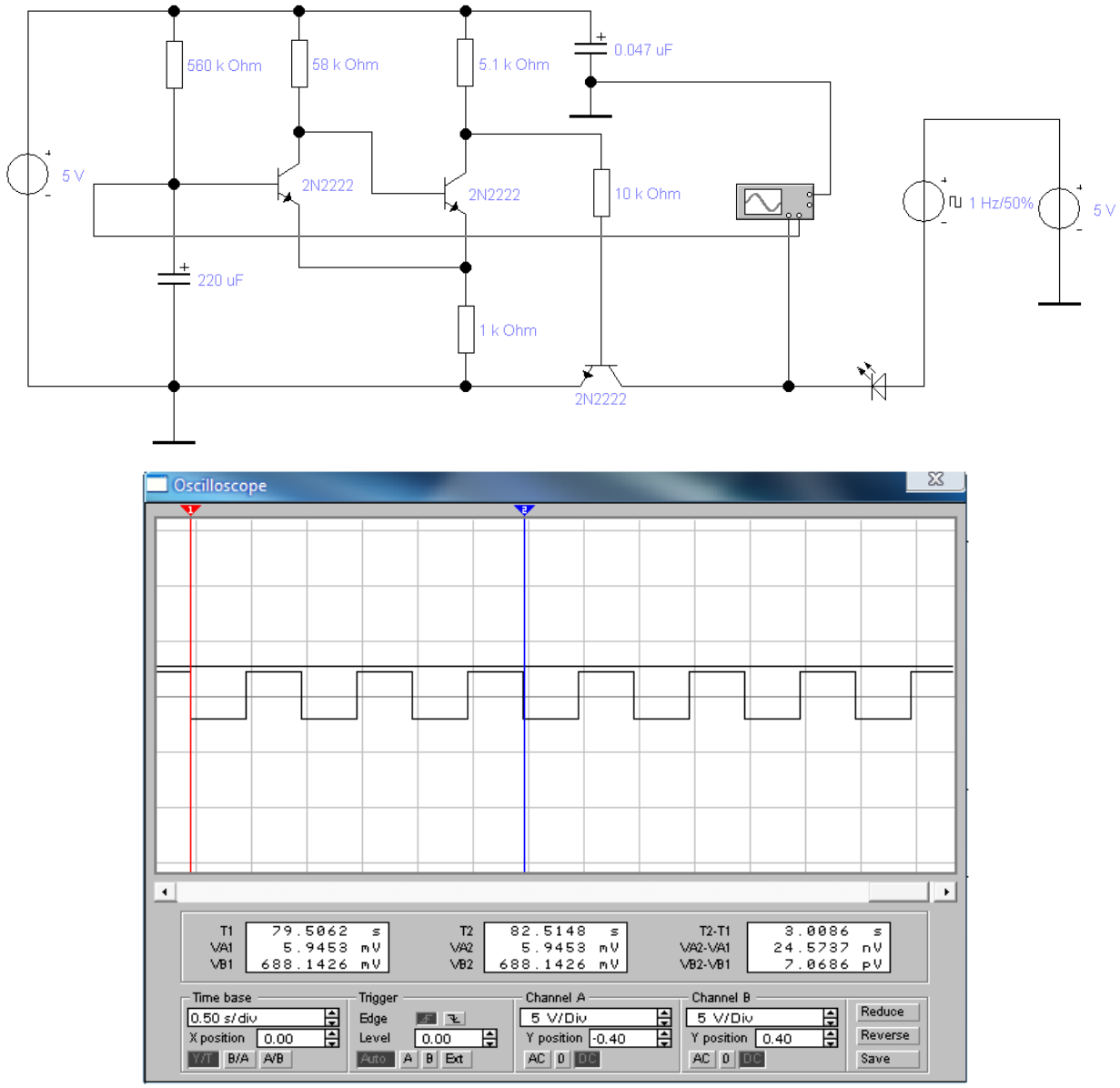


Рисунок 2.16 – Моделювання роботи вузла затримки підключення споживачів

2.3 Логічний контролер на мікросхемах «Виняткове АБО»

Контролер, здійснює прийом вхідного сигналу кожного компаратора.

Логічний елемент «Виняткове АБО» застосовується як суматор по модулю 2 [7]. На рисунку 2.17 приведений символ елементу без інверсії і його таблиця стану. Вихідний сигнал елементу відповідає логічному рівнянню:

$$F = A \oplus B = A\overline{B} + \overline{A}B$$

Тут "⊕" – символ складання по модулю 2. Нижній і верхній рядки таблиці відображають еквівалентність вхідних рівнів, тобто A = B = 0 (у верхньому рядку) і A = B = 0 (у нижньому). У випадку A = B = 0 вихідний сигнал F = 0 (це природний) тривіальний нуль. Коли A = B = 1 вихідний сигнал F також дорівнює нулю, хоча на двох входах A і B присутні одиниці.

Вхід		Вихід	Вихід
A	B	F	$\overline{F}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

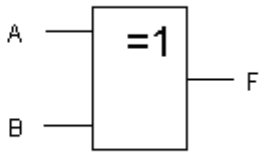


Рисунок 2.17 – Елемент «Виняткове АБО» і його таблиця функціонування

Проведемо аналітичний розрахунок схеми логічного контролера на елементах «Виняткове АБО». У разі критично низької напруги (< 130 В) у мережі живлення:

$$A = [[(D1 + \overline{D}0)\cdot\overline{C} + \overline{(D1 + \overline{D}0)}\cdot C]\cdot\overline{B} + \overline{[(D1 + \overline{D}0)\cdot\overline{C} + \overline{(D1 + \overline{D}0)}\cdot C]}\cdot B]\cdot\overline{X1} +$$

$$+ \overline{[[(D1 + \overline{D}0)\cdot\overline{C} + \overline{(D1 + \overline{D}0)}\cdot C]\cdot\overline{B} + \overline{[(D1 + \overline{D}0)\cdot\overline{C} + \overline{(D1 + \overline{D}0)}\cdot C]}\cdot B]}\cdot X1 =$$

$$= [[(D + 0)\cdot\overline{C} + \overline{(D + 0)}\cdot C]\cdot\overline{B} + \overline{[(D + 0)\cdot\overline{C} + \overline{(D + 0)}\cdot C]}\cdot B]]\cdot\overline{X1} +$$

$$+ \overline{[[(D + 0)\cdot\overline{C} + \overline{(D + 0)}\cdot\overline{C}]\cdot\overline{B} + \overline{[(D + 0)\cdot\overline{C} + \overline{(D + 0)}\cdot\overline{C}]}\cdot B]]}\cdot X1 =$$

$$= [[(\overline{C}D + C\overline{D})\cdot\overline{B}] + \overline{[(\overline{C}D + C\overline{D})\cdot B]]}\cdot\overline{X1} + \overline{[[(\overline{C}D + C\overline{D})\cdot\overline{B}] + [(\overline{C}D + C\overline{D})\cdot B]]}\cdot X1 =$$

$$= [[(C \oplus D)\cdot\overline{B}] + \overline{[(C \oplus D)\cdot B]]}\cdot\overline{X1} + \overline{[[(C \oplus D)\cdot\overline{B}] + [(C \oplus D)\cdot B]]}\cdot X1 =$$

$$= [(C \oplus D) \oplus B]\cdot\overline{X1} + \overline{[(C \oplus D) \oplus B]}\cdot X1 = [(C \oplus D) \oplus B] \oplus X1.$$

Режим контролю стабілізації напруги:

$$B = X2 \oplus [(D \oplus 0) \oplus C];$$

$$C = X3 \oplus (X4 \oplus D);$$

У разі критично високої напруги (> 270 В) у мережі живлення:

$$D = X4 \oplus 0.$$

Згідно з розрахунком на схемі (рис. 2.18), коли напруга входу стає менше 130 В, на виходах компараторів з'являється логічний рівень низького рівня. У цей момент транзистор в колі виходу А знаходиться у відкритому стані і перший світлодіод блимає. Ця індикація повідомляє про наявність низької напруги, що означає неможливість виконання керуємим стабілізатором своїх функцій.

Коли напруга входу стає більше 270 В, на виходах компараторів з'являється логічний рівень високого рівня. У цей момент транзистор в колі виходу D знаходиться у відкритому стані і четвертий світлодіод блимає. Ця індикація повідомляє про наявність високої напруги, що теж означає неможливість виконання керуємим стабілізатором своїх функцій.

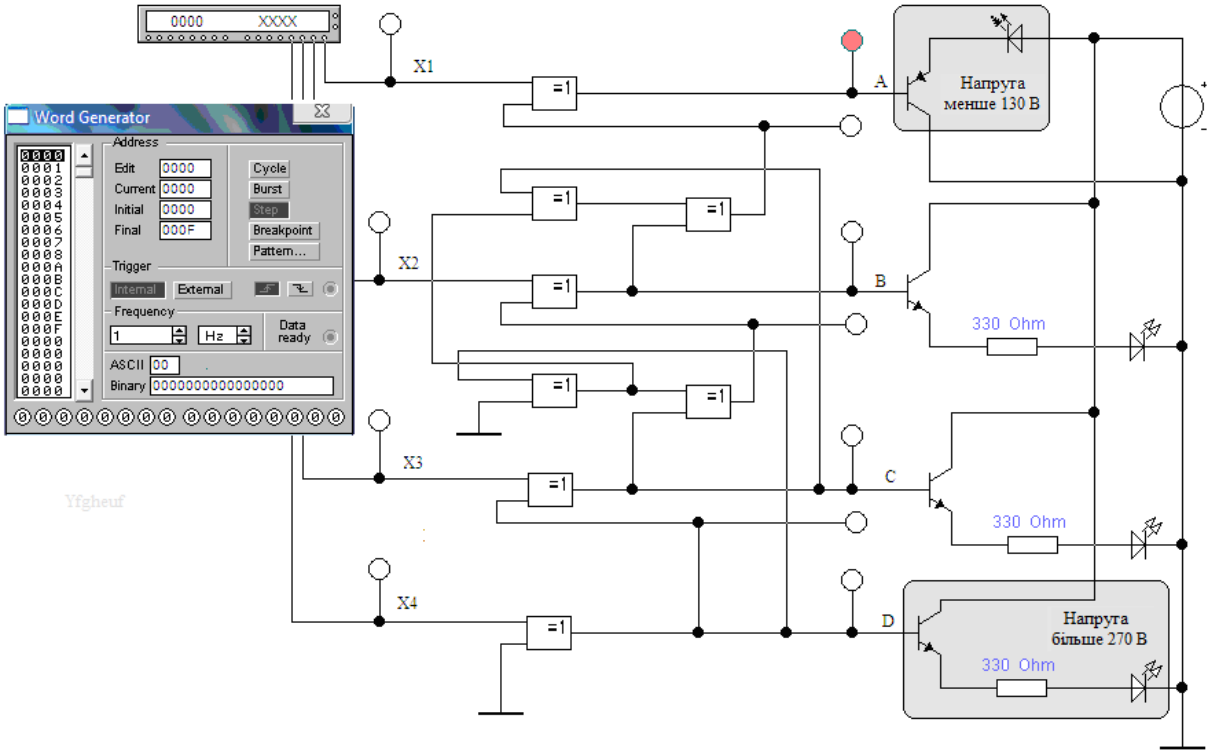


Рисунок 2.18 – Моделювання випадку зменшення напруги у мережі живлення менше 130 В або збільшення напруги більше 270В

Вісім компараторів забезпечують вхідні контрольні сигналі логічного контролера, який має вісім виходів управління індикаторами і силовою частиною пристрою стабілізації мережі живлення. Проведемо розрахунок схеми виходів логічного контролера (рис. 2.19).

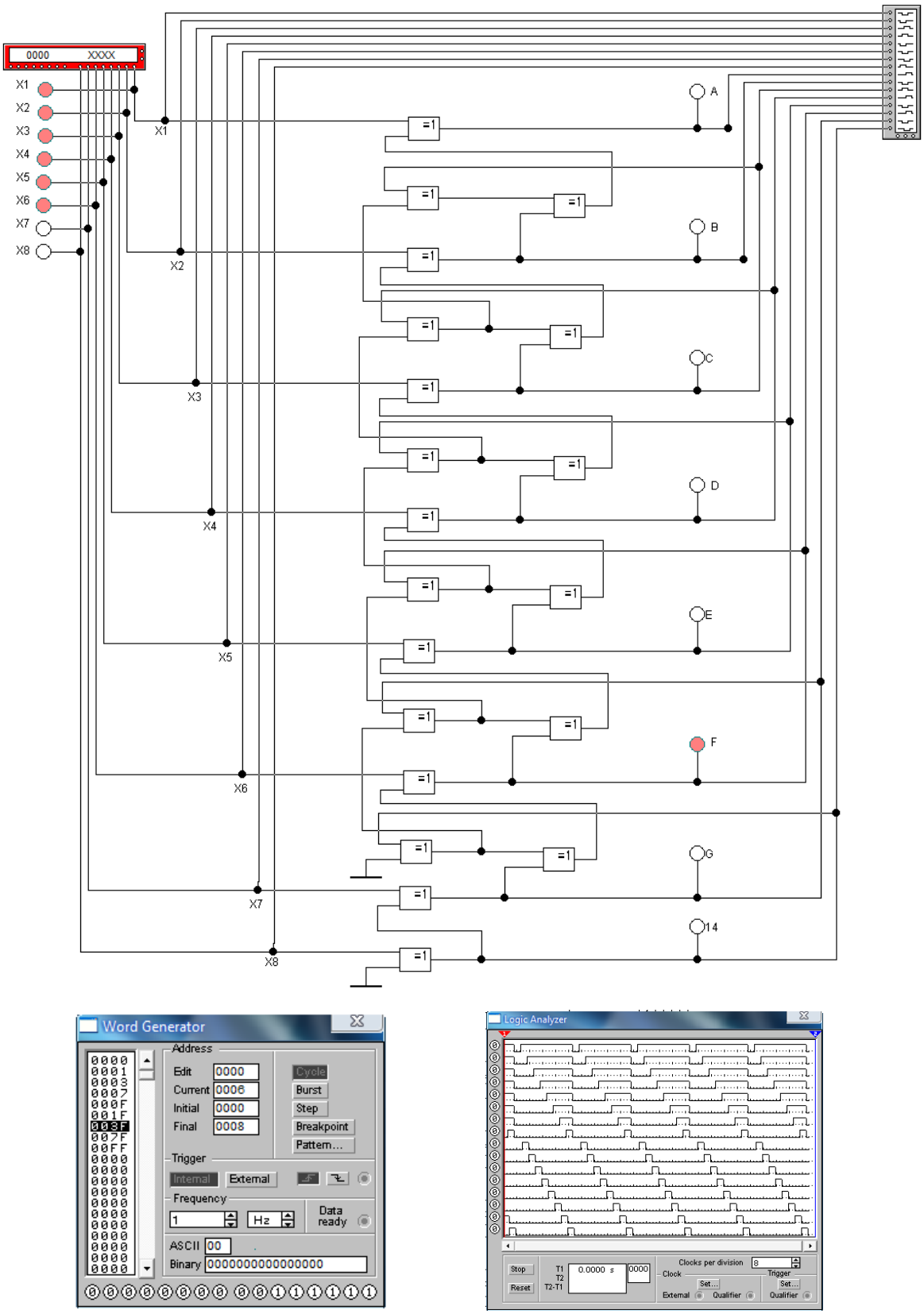


Рисунок 2.19 - Логічний контролер на елементах «Виняткове АБО»

Для виходу індикації максимального навантаження використаємо математичне перетворення для використання у схемі елемента «Виняткове АБО»:

$$X14 = X8 = X8 \cdot 1 + \overline{X8} \cdot 0 = (X8 \oplus 0).$$

Алгоритм розрахунку базується на підключенні усіх наступних рівнянь до попереднього через складання по модулю 2.

$$G = X7 \oplus (X8 \oplus 0);$$

$$F = X6 \oplus [G \oplus (X14 \oplus 0)];$$

$$E = X5 \oplus [F \oplus [G \oplus (X14 \oplus 0)]];$$

$$D = X4 \oplus [E \oplus [F \oplus [G \oplus (X14 \oplus 0)]]];$$

$$C = X3 \oplus [C \oplus [E \oplus [F \oplus [G \oplus (X14 \oplus 0)]]]];$$

$$B = X2 \oplus [C \oplus [C \oplus [E \oplus [F \oplus [G \oplus (X14 \oplus 0)]]]]];$$

$$A = X1 \oplus [B \oplus [C \oplus [C \oplus [E \oplus [F \oplus [G \oplus (X14 \oplus 0)]]]]]].$$

2.4 Схема пристрою стабілізації напруги мережі живлення електронних пристроїв

Схема пристрою стабілізації напруги мережі живлення від дестабілізуючих факторів (рис. 2.20) має в своєму складі наступні частини.

Блок живлення, у який входять випрямні мости, ємкості С2, С5, компаратори, трансформатор, теплоелектричний діод. Компаратори виконані на мікросхемах DA2 і DA3. З опору R6, напруга включена в кожен неінвертуючий вхід компаратора. Контролер DD1…DD5 здійснює прийом вхідного сигналу кожного компаратора. На інвертуючий вхід компараторів, поступає постійний струм, який подається за допомогою дільників R5, R10…R17.

Вузол, який затримує підключення навантаження споживачів і складається з опорів R1, R2, R6…R9, транзисторів VT1…VT3, ємкості С1.

Підсилювачі на транзисторах VT4…VT12, резисторах R34…R42, які обмежують струм світлодіодних індикаторів.

Оптітронні ключі U1…U7 виконані на симисторах VS1…VS7, резисторах R3, R49…R54 та оптосемісторах .

Автотрансформатор VT2.

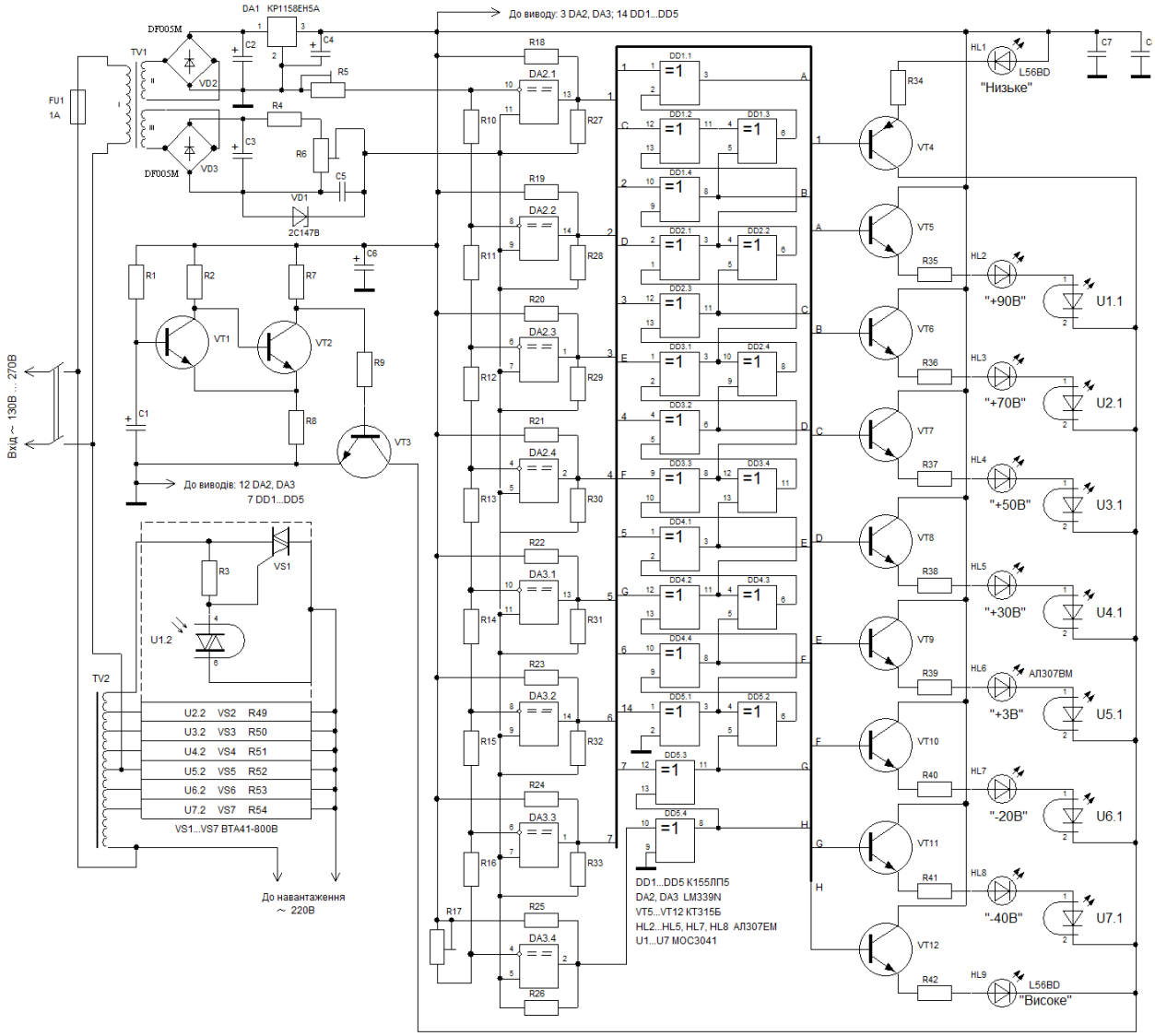


Рисунок 2.20 – Схема пристрою стабілізації напруги мережі живлення від дестабілізуючих факторів

Коли напруга входу стає менше 130 В, то на виходах компараторів з'являється логічний рівень низького рівня. У цей момент транзистор VT4 знаходиться у відкритому стані і світлодіод HL1 спалахує. Ця індикація повідомляє про наявність низької напруги, що означає неможливість виконання регульованим стабілізатором своїх функцій. Усі симистори закритті і навантаження відключене.

Коли напруга знаходиться в межах 130…150 В, то сигнали X2 і B мають високий логічний рівень. Транзистор VT5 відкривається, і починає сигналізувати світлодіод HL2. Оптосимистор U1.2 відкривається, так само, як і

симистор VS1. Струм навантаження протікатиме через симистор і далі через верхнє виведення котушки автотрансформатора TV2.

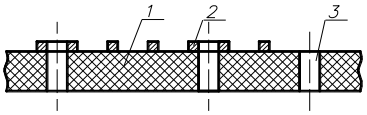
Якщо напруга входу 150…170 В, то сигнали X2, X1 і B мають високий логічний рівень. Інші сигнали мають низький логічний рівень. При такій напрузі входу транзистор VT6 відкривається, світлодіод HL3 спалахує. У цей момент симистор VS2 відкривається і струм поступає на друге зверху виведення котушки TV2.

Стабілізатор напруги на 220 В сполучатиме обмотки автотрансформатора TV2, якщо рівень напруги входу досягне відповідно: 190 В, 210 В, 230 В, 250 В.

2.5 Моделювання печатної плати пристрою стабілізації напруги мережі живлення електричних приладів

Конструктивно всі елементи схеми стабілізатора розташовані на печатній платі з однобічного склотекстоліту завтовшки 1...3 мм [10]. Однобічні печатні плати (рис. 2.21) характеризуються:

- низькою вартістю;
- підвищеною точністю виконання провідного рисунка;
- відсутністю металізованих отворів;
- установкою виробів електронної техніки на поверхню печатної плати з сторони, протилежної до сторони паяння, без додаткового ізоляційного покриття.



1 – матеріал підстави;

2 – провідний рисунок;

3 – крізний отвір

Рисунок 2.21 – Однобічна печатна плата

Печатна плата з габаритними розмірами 115×90 мм представлена на рисунку 2.22.

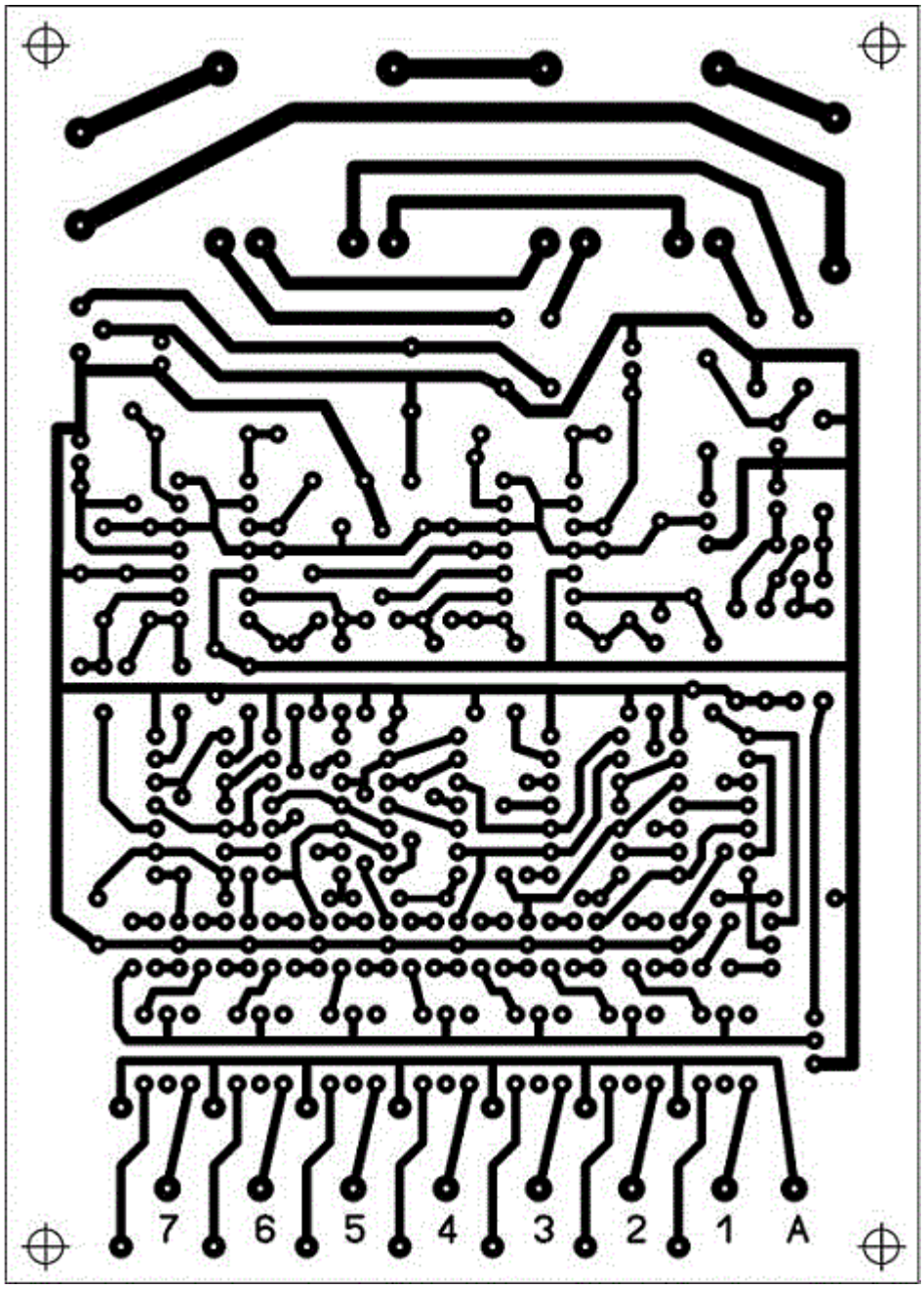


Рисунок 2.22 - Печатна плата стабілізатора

Вигляд печатного вузла з елементами монтажу представлений на рисунку 2.23.

Для трансформатора TV1, потужність якого 3 кВт, застосовано магнітопровід з поперечним перетином 1,87 см^2, і 3 дроти ПЕВ – 2. Перший дріт діаметром 0,064 мм. Їм намотана перша котушка, з кількістю витків 8669.

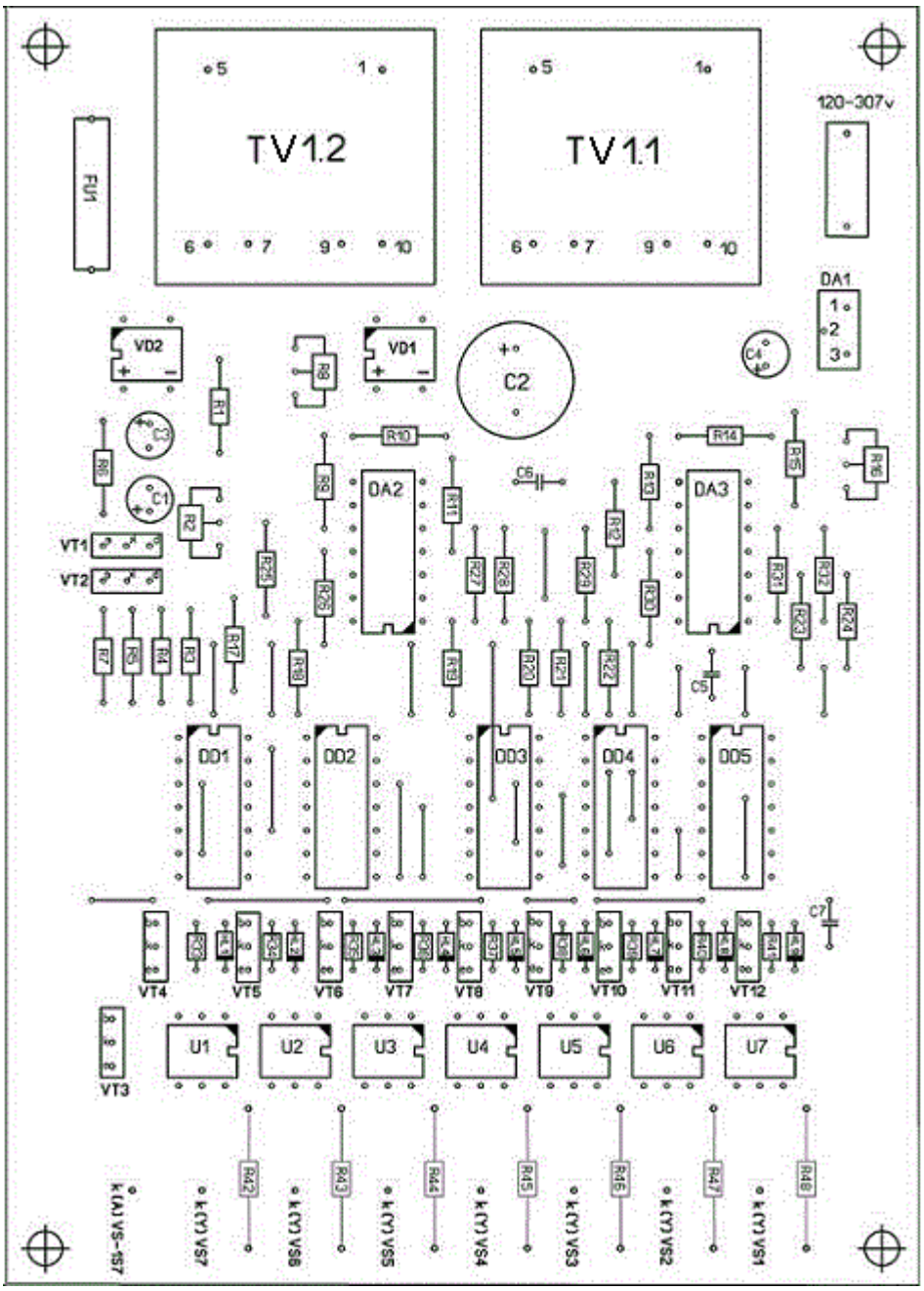


Рисунок 2.23 – Монтаж навісних елементів

Інші 2 дроти застосовані для утворення останніх обмоток. Дроти на них одного діаметру 0,185 мм, з числом витків 522. Можна застосувати варіанти ТПК – 2 – 2 × 12 В, сполучені послідовно (рис. 2.24).

У трансформаторі TV2 на 6 кВт застосовують магнітопровід тороїдальної форми. Обмотка намотана дротом ПЕВ-2 з числом витків 455. На трансформаторі виведено 7 відведень. Перші 3 з них намотані дротом 3 мм. Останні 4 відведення намотані шинами перетином 18 мм^2. З таким перетином дроту трансформатор не нагрівається [11-13].

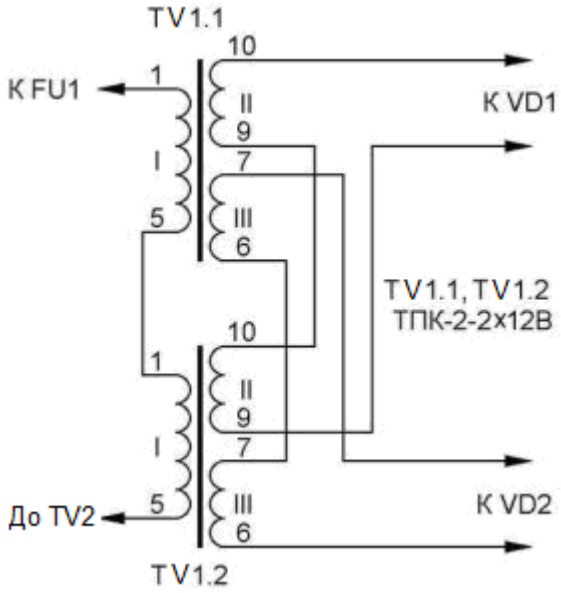


Рисунок 2.24 – Застосування у схемі трансформаторів ТПК-2-2×12В

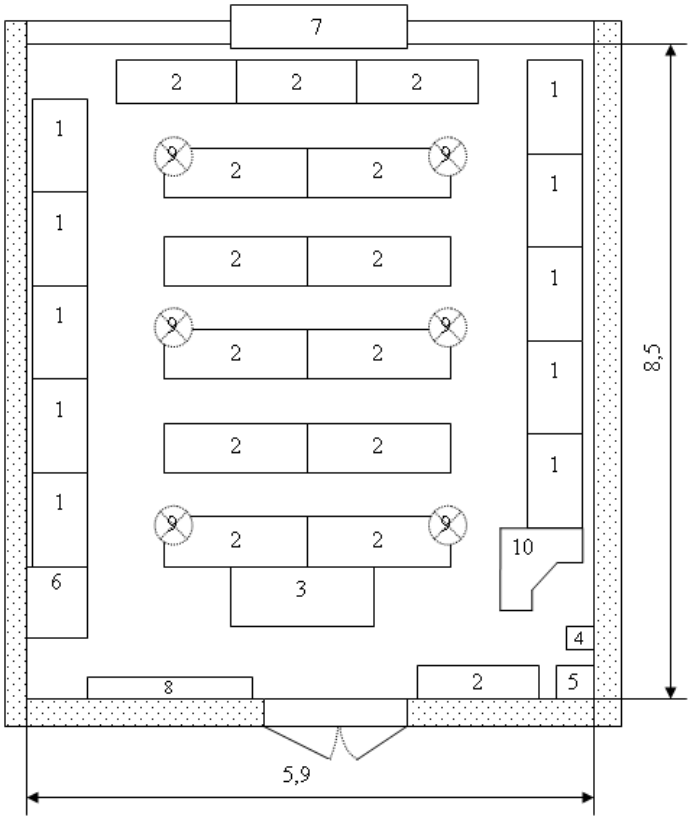
Відведення виконані на витках: 203, 232, 266, 305, 348 і 398. Витки рахуються з нижнього відведення. В цьому випадку електричний струм мережі повинен поступати по відведенню 266 витка.

Перевагою розробленого пристрою стабілізації напруги мережі живлення електричних приладів перед існуючими аналогами являється більш ефективна і проста ремонтоздатність.

3 Охорона праці та техногенна безпека

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При виконанні дипломної роботи комп’ютерне моделювання та макетування пристрою стабілізації напруги мережі живлення електричних приладів, проводилися в аудиторії 216 кафедри ЕІСПЗ, план якої представлено на рисунку 3.1.



1 - стіл комп'ютерний; 2 - стіл аудиторний; 3 - стіл викладача; 4 - автомат відключення електричного живлення; 5 - шафа силова; 6 - шафа універсальна; 7 - спліт система; 8 - дошка аудиторна; 9 - світильник 4-х ріжковий; 10 - стіл адміністратора мережі

Рисунок 3.1 – План аудиторії

Площа приміщення складає 50,15 м^2; об’єм 188,06 м^3; довжина приміщення 8,5 м; ширина приміщення 5,9 м; висота приміщення 3,5 м; число вікон 1; число робочих місць 2; освітлення: природне (через бічне вікно) і загальне штучне. Параметри приміщення задовольняють нормативним значенням: площа 6м^2, об’єм 20м^3 на одного працюючого.

Проте вживання електроустаткування може нести в собі ряд шкідливих і небезпечних для життя і здоров'я людей чинників, що працюють з ним. Основну небезпеку дослідницької лабораторії представляють використання електроприладів, які працюють при напрузі тих, що є небезпечними для життя [10].

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [11].

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, дороги струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища.

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення безпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирко-психічні захворювання. Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних доріг і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

3.2 Виробнича санітарія

При дослідженні пристрою стабілізації мережі живлення електричних приладів якість багато в чому залежить від освітлення, тому в лабораторії має бути передбачене штучне освітлення. Незадовільне освітлення може спотворити інформацію, крім того, викликає стомлення організму в цілому. Неправильне освітлення може з'явитися причиною травматизму [12].

Зорова робота характеризується найвищою точністю, що відповідає першому розряду. Для загального штучного освітлення норма освітленості складе 400 лк; при природному бічному освітленні КЕОен = 3,5. Оскільки виробництво не є пожежо- вибухонебезпечним в лабораторії застосовують люмінесцентні лампи з робочою напругою 220 В, а також індивідуальне освітлення на робочому столі. Це дає можливість рівномірно освітити всю лабораторію.

При монтажі компонентів на плату і формуванні топологічного рисунка струмопровідного шару виникає потенційна небезпека небажаної дії на організм речовин, що обертаються в технологічному процесі, і матеріалів. Всі речовини, що забруднюють повітря, надають шкідливу дію, якщо вони потрапляють в організм в кількостях, що перевищують деяку порогову величину (ГДК). У виробництві плат застосовують певні речовини, які шкідливі для організму. Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюється залежно від гранично допустимої концентрації речовин в повітрі робочої зони. Це та концентрація яка переноситься без яких або відхилень від нормального поляганння в перебігу робочого дня при щоденному диханні. Згідно ДСП 173-96 [12] встановлюють чотири класи шкідливих речовин: 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні; 2-й клас – речовини високо небезпечні; 3-й клас – речовини помірно небезпечні; 4-й клас – речовини мало небезпечні. Дія токсичних речовин виявляється в гострих і хронічних отруєннях.

При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

У таблиці 3.1 [12] приведені гранично допустимі концентрації небезпечних речовин, вживаних у печатній платі.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні з підвищеним ГДК можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нервово-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних доріг і на шкіру, що призводить до дерматитів.

Таблиця 3.1 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Речовини	Речовині ПДК, мг/м^3
Олов'яний припій ПОС-60	90
Спирт етиловий ректифікований ДОСТ 4221-2003	1000
Ацетон технічний	30
Каніфоль соснова	150

Основні засоби техніки безпеки – герметизація апаратури і устаткування, наявність припливно-витяжної вентиляції в приміщенні проведення робіт і витяжна шафа. Робоче місце для виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням обладнано витяжною шафою, рекомендованою і використаною для цих цілей на заводі «Перетворювач», яка має параметри представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Параметри витяжної шафи

Розміри, мм	850×850×650
Освітлення (лампа), Вт	60
Вентиляція, м^3/г,	250
Вага, кг	110

Шафа обладнана:

- димопоглинальним активізованим вуглецевим фільтром;

- кислотостійкою керамічною плиткою;

- столиком, що обертається, для паяння з азбестовим верхом;

- тримачем для паяльника.

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відео терміналах і персональних комп'ютерах є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робочих місцях повинні відповідати діючим санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень [12].

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відео терміналах і персональних комп'ютерах є основною, повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Оптимальні норми мікроклімату для приміщень з відеотерміналами і персональними комп'ютерами

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більше)	Відносна вологість повітря %	Швидкість руху повітря м/с
Холодний	Легка – 1б	21-23	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1б	22-24	40-60	0.2

До категорії 1б відносяться роботи, які виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводжуються деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/г.

У приміщенні проведення експерименту підтримується мікроклімат відповідний нормативам, для категорії робіт «Легка – 1б».

3.3 Електробезпека

Оскільки на ділянці проведення роботи в лабораторії застосовується електроустаткування до 1000 В, той опір заземлення має бути не вище 4 Ом [11]. Приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки.

Основні роботи при виконанні дипломної роботи виконувалися з використанням обчислювальної техніки. Оскільки персональний комп'ютер є електроустаткуванням, то при його експлуатації застосовують такі ж вимоги як і до звичайного електроустаткуванням.

Дія електричного струму на організм людини може бути теплове, хімічне і біологічне. При дії електричного струму на організм людини можуть бути два види ураження: електричні удари і електричні травми.

Захистом від дотику до струмоведучих частин електроустановок є ізоляція дротів, обгороджування, блокування і захисні засоби. Захистом від напруги, що з'явилася на корпусах електроустановок в результаті порушення ізоляції, є захисне заземлення, занулення і захисне відключення.

Захисне заземлення влаштовується в мережах з ізольованою нейраллю. Воно є навмисним з'єднанням із землею не струмоведучих металевих частин електроустановок.

Захисне заземлення необхідне для зниження напруги відносно землі до безпечної величини на металевих корпусах електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою, але що виявилися під таким в результаті пошкодження ізоляції. При зниженні напруги на корпусах відносно землі струм, що проходить через людину, що торкається корпусу, знижується до безпечної величини (10 мА).

На ділянці проведення моделювання печатних плат застосовується електроустаткування до 220 В. Електроживлення здійснюється від розподільних щитів за допомогою комутуючих автоматів, що виробляють захист того або іншого об'єкту.

3.4 Протипожежна та техногенна безпека

Виробництво печатних плат, згідно вимогам ДБН В.1.1-7-2002, відноситься до категорії Б, оскільки це виробництво зв'язане із застосуванням легкозаймистих речовин зокрема спирту та ацетону.

Пожежна безпека в лабораторії забезпечується за рахунок строгого дотримання безпечного режиму процесу, в приміщенні підтримується зразковий порядок і чистота, строго дотримується режим роботи установок. Особлива увага приділятися контролю і перевірці справності всього обладнання.

Основні будівельні конструкції будівлі, в якій знаходиться ділянка, виконані з матеріалів, що не згорають і важко згорають, цегельних і виштукатурених. Вогнестійкість будівлі має 2 рівень. Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно вимогам ДБН В.1.1-7-2002, в лабораторії є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях приміщення ділянки. Ширина дверей і сходів рівна 6 м, що відповідає нормі.

По вимогах ПВЕ будівля, в якій знаходиться ділянка по заходах захисту від блискавки, відноситься до категорії III і захищається від прямих ударів блискавок, і від замету високих потенціалів через землю, тобто підземні металеві комунікації, їх приєднують при введенні в об'єкт, що захищається, до заземлювача електроустаткування. Захист від блискавки заснований на стержневих громовідводах [12].

Для попередження пожеж на ділянці створений строгий протипожежний режим. Створена загально об'єктова і лабораторна інструкція по ПБ, проводиться первинний протипожежний інструктаж на робочому місці; створений план протипожежних заходів і евакуації людей на випадок пожежі.

Для гасіння вогнищ усередині будівлі на майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлені пожежні крани, які розміщені в шафках, де знаходиться і рукав з протипожежним стволом. Для гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислотний вогнегасник ОУ-5, в кількості трьох вогнегасників в даному приміщені, оскільки вуглекислота не електропровідна. Існують пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі.

Для евакуації людей на випадок пожежі на поверсі є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях будівлі. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники лабораторії № 216 організовано без паніки покидають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідують або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Добролюбова, або управо для виходу на вулицю Незалежної України (рис. 3.2). Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі. Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість просування людей при евакуації – 16 м/хв.

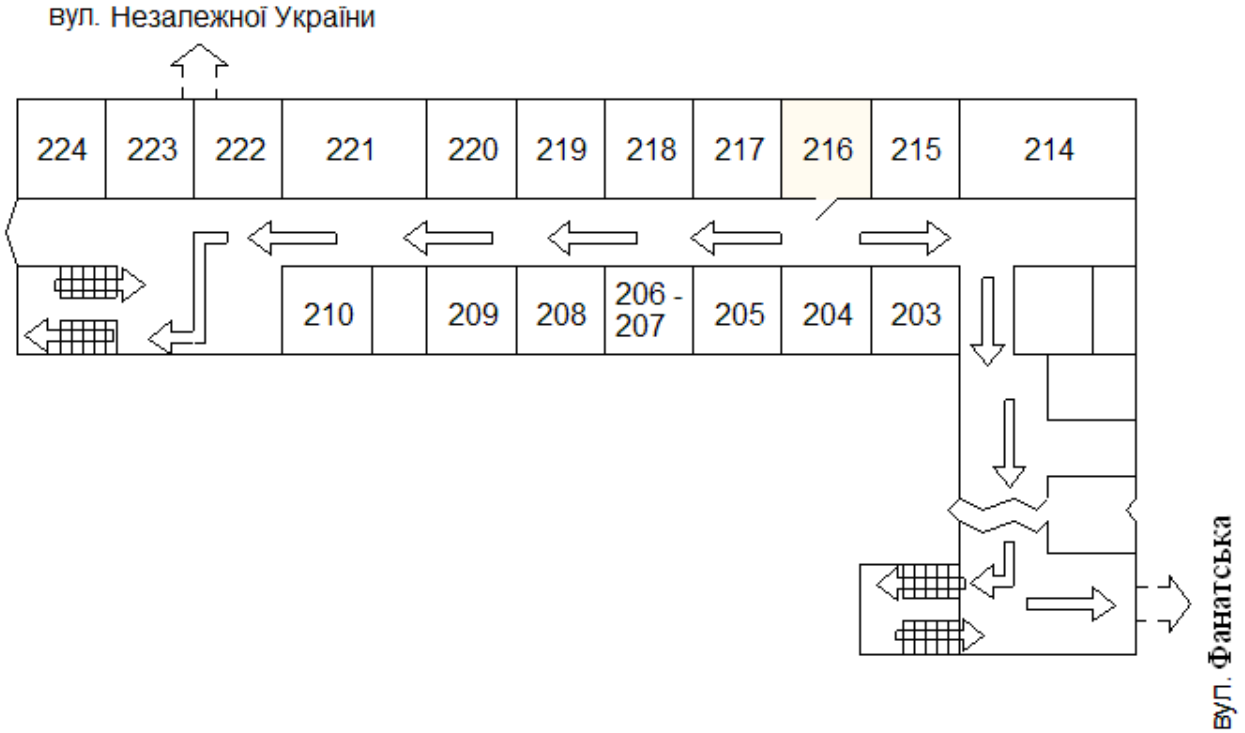


Рисунок 3.2 – План евакуації при пожежі із аудиторії № 216

3.5 Розрахунок середнього рівня шуму на робочому місці оператора

Як було вище зазначено, в приміщенні знаходиться чотири робочих місця операторів ЕОМ, кожне з яких устатковане монітором, вінчестером в

системному блоці, трьома вентиляторами системи охолоджування ПК та клавіатурою. Крім того поряд працює периферійна техніка.

Допустимий еквівалентний рівень шуму для робочого місця оператора складає 65 дБА [12].

Орієнтовні еквівалентні рівні звукового тиску джерел шуму, що діють на оператора ЕОМ на його робочому місці, представлені в табл. 3.4.

Розрахуємо середній рівень шуму на робочому місці оператора при роботі всієї вказаної техніки

Таблиця 3.4 - Рівні звукового тиску від різних джерел.

Джерело шуму	Рівень шуму, дБА
Жорсткий диск	45
Вентилятор	45
Принтер	55
Сканер	50

Рівень шуму, що виникає від декількох некогерентних джерел, що працюють одночасно, підраховується на підставі принципу енергетичного підсумовування рівня інтенсивності окремих джерел:

$$L_{\sum} = 10\lg \sum 10^{0,1L_i}, \qquad (3.1)$$

де L_i - рівень звукового тиску і-го джерела шуму; n - кількість джерел шуму.

Підставивши значення рівня звукового тиску для кожного виду устаткування у формулу, отримаємо:

$$L_{\sum} = 10\lg(104{,}5 + 104{,}5 + 105{,}5 + 105) = 44{,}2 \text{ дБ}$$

За наявності декількох джерел шуму з однаковим рівнем інтенсивності Li загальний рівень шуму визначають за формулою:

$$L = L_i + 10\lg n, \qquad (3.2)$$

У нашому випадку таких джерел сім, отже загальний рівень шуму буде визначатися так:

$$L = 44{,}2 + 10\lg 5 = 51{,}19 \text{ дБ}.$$

Отримані результати розрахунку порівнюється з допустимим значенням рівня шуму для даного робочого місця [11]. Розраховане значення середнього рівня шуму не перевищує гранично допустимого рівня шуму для робочого місця оператора, тобто спеціальні заходи по зниженню рівня шуму не потребуються.

Висновки та рекомендації

1. Розрахований блок живлення стабілізатора напруги ефективно використовується в схемі контролю та управління мережевою напругою.

2. Результати аналізу показують правильність спрацювання компаратора при появі різниці напруги на входах.

3. Логічний контролер сполучає відповідні кола управління обмоткою автотрансформатора, якщо рівень напруги входу досягне відповідно: 190 В, 210 В, 230 В, 250 В.

4. На печатній платі компактно розміщена елементна база схеми контролю та управління мережевою напругою.

Рекомендовано подальша модернізація схеми.

Перелік посилань

1. Воробйова. О. М., Іванченко В. Д.. Основи схемотехніки: підручник. [2-е вид.]. Одеса : Фенікс, 2009. 388 с.

2. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. Схемотехніка електронних систем: Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник. Київ : Вища шк., 2004. 366 с.

3. Сєдов С. О. Аналогове оброблення сигналів. Схемотехніка. Розрахунки : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. 298 с.

4. Pedroni V., Circuit Design and Simulation with VHDL, 2nd ed., MIT Press, 2010. 345 p.

5. Лавриненко В. Ю. Довідник по напівпровідниковим приладам. Київ :Техніка, 1984. 424 с.

6. Бойко В.І. Гуржій А.М., Жуйков В.Я. Основи схемотехніки електронних систем : підручник. Київ : Вища шк., 2004. 527 с. 5. Schustow M.A., Schustow A.M. Energie-Ausschalt-Indikator II Funkamateur. Bd. 47. H. 2., 1998. 173 p.

7. Верьовкін Л.Л. Світанько М.В., Кісельов Є.М. Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя, 2016. 214 с.

8. Дудикевич В. Б., Кеньо Г. В., Петрович І. В. Електроніка та мікросхемотехніка. Частина І: Електроніка: навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 204 с.

9. Воєца А. С. Резервні та автономні джерела електроживлення постійним струмом: метод. посіб. Львів: ЛК ДУІКТ, 2004. 51 с.

10. Кожемякін Г.Б., Рижков В.Г., Бєлоконь К.В. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.

11. Ткачук К.Н. Охорона праці і довкілля в радіоелектронній промисловості. Київ : Вища шк., 1988. 240 с.

12. Горобець А.І. Степаненко А.І. Охорона праці в радіоелектронній промисловості. Київ : Техніка, 1987. 345 с.