НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ _____
(підпис) (ініціали, прізвище)
“___”_____2015 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності *6.050902 Радіоелектронні апарати*
(код і назва)

на тему: *Терморегулятор*

Виконав (-ла): студент (-ка) *IV* курсу, групи *РБ-11*
(шифр групи)

Пухтер Вадим Моонисович _____
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник *асистент Головня В. М.* _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант *Охорона праці* *к.б.н., доцент Гусєв А. М.* _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2015 року

В. М. Пухтер, КВРА 2015

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Інститут (факультет)_____*Радіотехнічний факультет*_____
(повна назва)

Кафедра___*Радіоконструювання та виробництва радіоапаратури*___
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність _____*6.050902 Радіоелектронні апарати*_____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____
(підпис) (ініціали, прізвище)
«___»_____2015 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
_____*Пухтер Вадим Моонисович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту _____*Терморегулятор*_____
_____
_____,
керівник проекту _____*асистент Головня В. М.*_____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___»_____ 2015 р. №_____

2. Термін подання студентом проекту _____*12 червня 2015 р.*_____

3. Вихідні дані до проекту _____*U = 220 В, I = 16 А, P = 3 кВт,*_____
*Δt = 10□22 °C, габарити 250×150×50 мм*_____
_____
_____

4. Зміст пояснювальної записки *Аналіз технічного завдання, аналіз аналогів, принцип роботи схеми, схемотехнічні розрахунки, проектування друкованого вузла, розрахунок працездатності, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.*_____
_____

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) *Функціональна схема, схема електрична принципова, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованого вузла.*

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	*доцент Гусєв А. М.*		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	*Узгодження ТЗ та його аналіз*	*04.05□10.05.2015 р.*	
2	*Опрацювання інформації про аналоги*	*11.05□17.05.2015 р.*	
3	*Схемотехнічні розрахунки*	*18.05□24.05.2015 р.*	
4	*Проектування друкованого вузла*	*25.05□31.05.2015 р.*	
5	*Розрахунки працездатності та ОП*	*01.06□07.06.2015 р.*	
6	*Оформлення додатків та документів*	*08.06□12.06.2015 р.*	

Студент _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

Керівник проекту _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

АНОТАЦІЯ

В наведеній дослідно-конструкторській роботі розроблено широкодоступний прилад для контролю температури приміщення, що дозволить раціоналізувати витрати енергоносіїв в зимовий період.

В ході виконання поставленого завдання були розглянуті існуючі аналоги терморегуляторів на ринку України та проаналізовані подібні прототипи минулих років. В процесі ознайомлення із запропонованими раніше схемотехнічними рішеннями симісторних регуляторів, глибоко опрацьовані всі важливі етапи розробки, виробництва дослідного зразка, практичного тестування на працездатність, а також простих функціональних трансформацій на схемному рівні.

Також був відслідкований процес вдосконалення та функціонального покращення властивостей пристрою на підставі еволюції елементної бази радіоелектронної апаратури. Можливості такого вдосконалення в проекті використані задля підвищення ергономічності й універсальності приладу та закріплені відповідними розрахунками.

В процесі були застосовані системи автоматизованого проектування згідно з рекомендаціями відповідного учбового курсу. Наведено результати роботи в програмах P-CAD, MathCad, AutoCad, MS Excel.

Загальний обсяг роботи складає 73 сторінки, кількість ілюстрацій — 34, таблиць — 4, бібліографічних найменувань — 16.

В. М. Пухтер, КВРА 2015

ANNOTATION

The purpose of experimental design is to develop a device widely available to control room temperature, which will rationalize energy consumption in the winter.

In the course of implementation of the task considered existing analogues of thermostats in Ukraine and analyzes these prototypes past years. During the review of previously proposed circuit solutions symistornyh regulators deeply processed all the important stages of development, production prototype, practical tests on the performance and functionality of simple transformations on circuit level.

Also monitored process improvement and improve functional properties of the device based on the evolution of the components of electronic equipment. Features such improvements in the project used to improve ergonomics and versatility of the device and fixed by the corresponding calculations.

In the process are using computer-aided design in accordance with recommendations of the relevant training course. There is results of the working in programs P-CAD, MathCad, AutoCad, MS Excel.

The total amount of work is 73 pages, number of illustrations — 34, tables — 4, bibliographic items — 16.

В. М. Пухтер. КВРА 2015

Пояснювальна записка
до дипломного проекту

на тему: *Терморегулятор*

В. М. Пухтер, КВРА 2015

Київ – 2015 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень 2

Вступ 5

1 Аналіз технічного завдання 7

1.1 Аналіз завдання з точки зору конструктора 7

1.1.1 Призначення і об'єкт установки електронного апарату 7

1.1.2 Умови експлуатації електронного апарату 7

1.2 Аналіз завдання з точки зору технолога 7

1.2.1 Обгрунтування методу виготовлення друкованої плати 7

1.2.2 Вибір матеріалу основи друкованого монтажу і провідників 9

1.2.3 Вибір класу точності плати та щільності монтажу 9

1.2.4 Попередній вигляду приладу 9

2 Аналіз аналогів 11

2.1 Подібні прилади на ринку України 11

2.2 Історія розробок симісторних регуляторів 14

2.2.1 Аналіз прототипу 1996-го року 14

2.2.2 Аналіз прототипу 1998-го року 19

3 Принцип роботи схеми 25

4 Схемотехнічні розрахунки 31

4.1 Розрахунок кнопкового керування 31

4.2 Встановлення індикаторів режиму 35

4.3 Підвищення пропускної потужності навантаження 36

4.4 Вибір елементної бази 36

4.5 Розрахунок геометрії радіатора 37

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

5 Проектування друкованого вузла 39
5.1 Аналіз електричної принципової схеми 39
5.2 Робота в програмному середовищі P-CAD 39
5.3 Розрахунок діаметра монтажних отворів та діаметра контактних майданчиків. 40
5.4 Варіанти встановлення елементів 41
5.5 Створення компонентів в Library Executive 42
5.6 Створення електричної принципової схеми 43
5.7 Визначення габаритів друкованої плати та параметрів друкованого монтажу 43
5.8 Розрахунок ширини друкованих провідників 44
5.9 Заміна діодного мосту 48
5.10 Вибір відстані від краю плати до елементів 48
5.11 Загальний вигляд друкованої плати 49
5.12 Створення допоміжного файлу з'єднань 49
5.13 Розстановка елементів та з'єднань на платі 50
6 Розрахунок працездатності 51
6.1 Розрахунок віброміцності друкованого вузла 51
6.1.1 Розрахунок частоти власних коливань друкованої плати 51
6.1.2 Перевірка вібростійкості плати 53
6.2 Розрахунок надійності за раптовими відмовами 55
7 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях 58
7.1 Аналіз небезпечних факторів 58
7.2 Психофізіологічні фактори 59
7.3 Оцінка санітарних норм умов праці в процесі паяння 59
7.4 Мікроклімат 62

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

7.5 Освітлення 62
7.5.1 Оцінка природного освітлення 63
7.5.2 Оцінка штучного освітлення 66
7.5.3 Місцеве освітлення 67
Висновки 69
Перелік посилань 72
Додатки 73

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ГДК — гранично допустима концентрація

ДП — друкована плата

ЕРЕ — електро-радіоелемент

ОП — операційий підсилювач

ПЕОМ — персональна електронно-обчислювальна машина

РЕА — радіоелектронний апарат (радіоелектронна апаратура)

ТКО — температурний крефіцієнт опору

SMD — surface mounted device (прилад, що монтується на поверхню)

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

ВСТУП

На сьогонішній день економіка країни загалом та добробут приватних домогосподарств окремо напряму залежать від економії енергоспоживання. Енергетична залежність та нераціональне використання природних ресурсів призводить до тяжких економічних, політичних, а також екологічних наслідків. В таких умовах вкрай необхідним є запровадження системи економії енергоресурсів на опалення приміщень серед широкого загалу. В умовах сучасної ринкової економіки єдиним засобом бездиректівного запровадження таких систем є створення таких привабливих умов для споживачів енергоресурсів, за яких кожне домогосподарство мало б і змогу, і бажання встановлення простої й доступної системи економії енергії.

Інакше кажучи, населення повинно мати змогу забезпечити автоматичний контроль рівня споживання ресурсів на опалення приміщень, ґрунтуючись на раціональності потреб. Одним з варіантів реалізації такої системи економії є встановлення нагрівальних приладів із автоматичною терморегуляцією в межах заданої користувачем температури повітря в приміщенні.

Задля широких можливостей вибору систем основного чи додаткового електрообігріву, без прив'язки до наявності інтегрованого в нагрівальні прилади терморегулятора, потрібен автономний дискретний пристрій, придатний до використання з будь-якими стандартними побутовими нагрівальними електроприладами.

У відповідності до результатів аналізу ринку була знайдена потреба в терморегулюючому пристрої, що поєднував би в собі естетичну привабливість, зручність задання температури, високу потужність керованих обігрівачів (до 3 кВт), точність та, головне, цінову доступність. Даний проект передбачає створення такого пристрою.

Важливою особливістю запропонованого терморегулятору також є те, що керований ним обігрівач завжди вмикається та вимикається тільки на ціле число періодів мережевої напруги. При цьому в мережі не утворюється постійна складова струму, яка може негативно вплинути на працездатність тран-

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

сформаторів та інших електромагнітних приладів, під'єднаних до тієї ж мережі.

Не менш важливим є особливість вибору температурних режимів приладу: потрібно передбачити на виробничому рівні налаштування зручного вибору 3-х режимів комфортного перебування людини в приміщенні, а також 1 режим максимальної економії енергоресурсів для обігріву без ризику пошкодження майна та елементів приміщення через дію низьких температур зовнішніх атмосферних чинників.

Проектом також передбачається використання пристрою в якості базового для виготовлення приладів різного функціонального застосування: від зовнішніх систем антиобледеніння автомобільних доріг до систем прогнозованого прогріву приміщень через погодні сайти (такі як «Український гідрометеорологічний центр. Офіційний інформаційний сервер», «Gismeteo.ua», «Sinoptik.ua»), GSM-модуль та блок обробки інтернет-сигналу й відповідної імітації опору терморезистора.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз завдання з точки зору конструктора

1.1.1 Призначення і об'єкт установки електронного апарату

Пристрій призначений для повсякденного побутового використання в житлових та нежитлових приміщеннях з нормальними кліматичними умовами без особливих механічних навантажень.

1.1.2 Умови експлуатації електронного апарату

Клас радіоелектронних апаратів (РЕА) за об'єктом установки: С1, кліматичне виконання УХЛ 4.2.

Група РЕА: побутова. Основні вимоги до побутової РЕА: підвищення технологічності конструкції з метою зниження вартості, зниження габаритів і маси, модульний принцип конструювання, простота експлуатації, масовий характер виробництва.

1.2 Аналіз завдання з точки зору технолога

1.2.1 Обгрунтування методу виготовлення друкованої плати

Метод виготовлення друкованої плати обираємо комбінований позитивний. Фоторезистом захищають прогалини. Потім на всю поверхню плати наносять лакову сорочку (оболонку), свердлять монтажні отвори і виконують хімічне міднення (вся плата покривається тонким шаром міді в декілька мікрон). Хімреактивом знімається лакова оболонка, а з нею — мідь, (крім того шару, що осів на стінках отворів, бо під ним немає лаку). Далі в гальванічній ванні (рис. 1.1 [1]) нарощують мідь в отворах, і на незахишених фоторезистом місцях фольги (місця провідників і контактних майданчиків). Потім на провідники та контактні майданчики наносять захисний шар металу і усувають фоторезист з незахищених місць (прогалин). Оголений шар фольги стравлюють.

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

Рисунок 1.1 — Універсальна гальванічна лінія «DYNA-190» дочірнього підприємства «Гальванотехніка», завод «Радар», м. Київ

Таким чином, метод поєднує хімічний метод отримання провідникового рисунку і гальванохімічний метод металізації отворів. Застосовують його для односторонніх друкованих плат (ДП) з підвищеними вимогами до надійності, а електро-радіоелементи (ЕРЕ) можна встановлювати з щілиною до поверхні плати. Такий метод добре реалізований на вітчизняних лініях виробництва (рис. 1.2 [1]) і створює можливості для досить економічного дрібносерійного виробництва розроблюваного приладу.

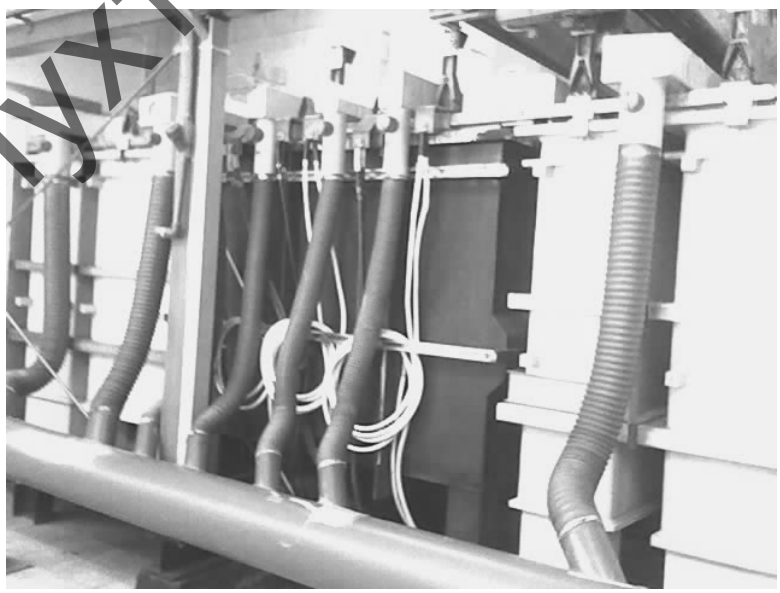


Рисунок 1.2 — Ділянка нарощування міді виробничої лінії «DYNA-TRON F» дочірнього підприємства «Гальванотехніка», завод «Радар», м. Київ

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

Інші методи мають більш суттєві недоліки, які не підходять для даного пристрою:

а) хімічний негативний — низька якість пайки і потрібно встановлювати елементи впритул до плати (з прокладками в деяких місцях);

б) гальванохімічний метод — дорогий;

в) адитивний метод — непридатний для дрібносерійного виробництва;

г) метод виступаючих виводів — застосовують тільки для попарних виводів ЕРЕ, дуже велика трудомісткість;

д) метод металізації наскрізних отворів — не призначений для коливань температур, а значить не підходить для терморегулятору;

е) методи на основі поліїмідної плівки — раціонально застосовувати для монтажу більш дрібних ЕРЕ (SMD).

1.2.2 Вибір матеріалу основи друкованого монтажу і провідників

Матеріалом основи друкованого монтажу обираємо фольгований склотекстоліт, а в якості провідникового матеріалу — мідь.

1.2.3 Вибір класу точності плати та щільності монтажу

Клас точності плати — 2. Щільність друкованого монтажу — 2.

1.2.4 Попередній вигляду приладу

Виходячи з даних технічного завдання та його аналізу можна попередньо сформувати приблизний вигляд розроблюваного терморегулятора, який показано на рис. 1.3.

Оскільки прилад матиме пропускну здатність за потужністю навантаження до 3 кВт, то на відповідних елементах буде розсіюватись досить значна кількість теплової енергії — така особливість буде забезпечена відповідно розрахованим радіатором, а в попередньому вигляді корпусу можна відразу передбачити достатню кількість вентиляційних отворів з метою запобігання місць перегріву.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

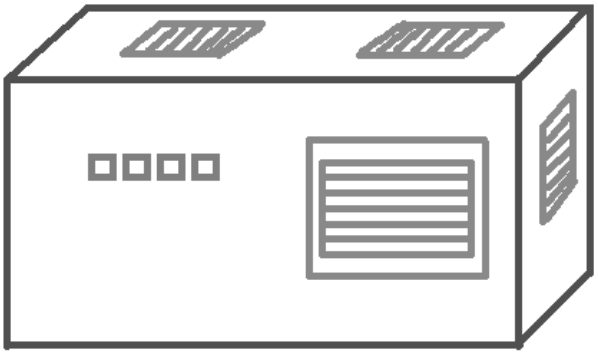


Рисунок 1.3 — Попередній вигляд розроблюваного приладу

Так само, з точки зору зручності керування відразу передбачаємо 4 кнопки зі світлодіодною індикацією, що відповідатимуть 4-м режимам роботи приладу: 22, 20, 18 та 10 °С — це режими найкомфортнішого перебування людини в приміщенні [2], а також режим мінімального обігріву за тривалої відсутності людини в приміщенні.

Якщо зовнішня температура повітря сягатиме, наприклад, -20 °С, то за режиму «10 °С» в приміщенні не псуватимуться речі, що розраховані на нормальні умови експлуатації [3], а також не суттєво зміщуватиметься в бік внутрішньої сторони зовнішньої огороджувальної конструкції «точка роси» [4] — а значить не буде прискорюватись поступова руйнація стінових конструкцій та елементів декоративно-захисного оздоблення всередині приміщення, як при повній відсутності обігріву.

В. М. Пухтєр, КІВРА 2015

2 АНАЛІЗ АНАЛОГІВ

2.1 Подібні прилади на ринку України

Аналіз сучасного ринку аналогів розроблюваного пристрою показав відсутність оптимального рішення для заданих потреб: дешеві прилади вирізняються відсутністю точності, ергономічності, пропускної потужності (рис. 2.1 [5], 2.2 [6]), а зручні й якісні терморегулятори не є доступними для широкого загалу черезвисоку вартість (рис. 2.3 [6]).

Рисунок 2.1 — Каталог інтернет-крамниці з недорогими терморегуляторами

В.М. Бухтер, КВРА 2015

Терморегулятор ZOOM - TA 2

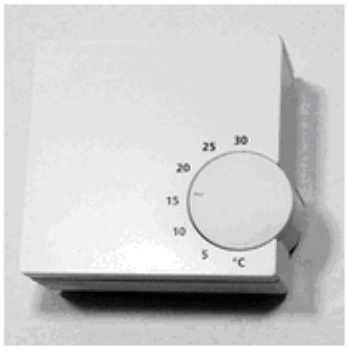
Комнатный термостат используется для контроля температуры нагрева и кондиционирования воздуха в зданиях с автономным отоплением или ...
Подробнее

PRO ★★★ Техника Киев

В наличии

240 грн.

Комнатный термостат (механический терморегулятор) Salus RT10



Минимальная температура регулирования: 10.0 (град.), **Максимальная температура регулирования:** 35.0 (град.), **Вид терморегулятора:** Механический, **Тип монтажа терморегулятора:** Накладной, **Область применения терморегулятора:** Электрические котлы,Инфракрасные обогреватели,Теплый пол, **Максимальная сила тока:** 10.0 (А)
Подробнее

В наличии

309 грн.

Комнатный термостат Cewal RQ-01

Минимальная температура регулирования: 10.0 (град.), **Максимальная температура регулирования:** 30.0 (град.), **Вид терморегулятора:** Механический, **Тип монтажа терморегулятора:** Накладной, **Область применения терморегулятора:** Радиаторы,Инфракрасные обогреватели,Электрические котлы, **Максимальная сила тока:** 16.0 (А)
Подробнее

В наличии

310 грн.

Цифровой терморегулятор Hoffmann HRT-176 WS

Минимальная температура регулирования: 5.0 (град.), **Максимальная температура регулирования:** 35.0 (град.), **Вид терморегулятора:** Электронный, **Тип монтажа терморегулятора:** Накладной, **Область применения терморегулятора:** Радиаторы,Инфракрасные обогреватели,Теплый пол, **Максимальная сила тока:** 0.25 (А)
Подробнее

В наличии

320 грн.

Рисунок 2.2 — Дешеві терморегулятори з торгівельного інтернет-порталу

В. М. Пухтер, КІВВА 2015

Севтермо термостат программируемый

Минимальная температура регулирования: 5.0 (град.), **Максимальная температура регулирования:** 35.0 (град.), **Вид терморегулятора:** Электронный, **Тип монтажа терморегулятора:** Накладной, **Область применения терморегулятора:** Радиаторы,Инфракрасные обогреватели, **Максимальная сила тока:** 6.0 (А)

Подробнее

Под заказ

375 грн.

Терморегулятор ТР-16ВУ белый

Минимальная температура регулирования: 0.0 (град.), **Максимальная температура регулирования:** 99.0 (град.), **Вид терморегулятора:** Программируемый, **Тип монтажа терморегулятора:** Встраиваемый, **Область применения терморегулятора:** Обогрев труб,Кондиционирование помещения,Системы снеготаяния и антиобледенения,Теплый пол, **Максимальная сила тока:** 16.0 (А)

В наличии

395 грн.

COMPUTHERM Q3

Вид терморегулятора: Электронный, **Тип монтажа терморегулятора:** Накладной, **Область применения терморегулятора:** Электрические котлы, **Напряжение сети:** 220~240 В, **Дисплей:** Да, **Минимальная температура регулирования:** 10

Описание | Цены (22) | Характеристики

442,44 грн.

Все предложения

AURATON 3013

Вид терморегулятора: Электронный, **Тип монтажа терморегулятора:** Накладной, **Напряжение сети:** 220~240 В, **Дисплей:** Да, **Минимальная температура регулирования:** 5, **Максимальная температура регулирования:** 35

Описание | Цены (4) | Характеристики

453,45 грн.

Все предложения

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

Рисунок 2.3 — Якісні моделі терморегуляторів з торгівельного інтернет-порталу

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що середня цінова ринкова ніша, на яку претендує розроблювальний в цій роботі пристрій, є вільною і що проектування й виробництво такого пристрою є доцільними.

2.2 Історія розробок симісторних регуляторів

Відповідно до проведенего аналізу також були знайдені подібні схемотехнічні рішення. Такі рішення були описані в статті Д. Приймака «Мініатюрний регулятор потужності для паяльника» 1985-го року [7], статті С. Лукашенко «Регулятор потужності, що не створює перешкод» 1987-го року [8] та статті І. Нечаєва «Простий регулятор потужності, що не створює перешкод» 1991-го року [9].

Вдосконалені моделі пристрою, що базувалися на принципі попередніх, були також висвітлені в статтях С. Бірюкова «Симісторні регулятори потужності» 1996-го року [10] та «Симісторний термостабілізатор» 1998-го року [11]. Остаточне, ще більш сучасне рішення подібного терморегулятора було запропоноване в статті К. Гаврилова «Терморегулятор на двох мікросхемах» 2014-го року [12].

2.2.1 Аналіз прототипу 1996-го року

У вищезгаданій статті 1996-го року значиться, що використання симісторів у регуляторах потужності й різних автоматичних комутаторах ускладнене через необхідність забезпечення порівняно великого струму керуючого електрода — 150 мА для симісторов серії КУ208. Керування симістором постійним струмом вимагає великої потужності, а при імпульсному керуванні необхідний формувач, що забезпечує короткі імпульси в момент проходження мережевої напруги через «нуль» та такий, що має загальний вивід з одним з мережевих дротів.

Відмінність запропонованого 1996-го року варіанта регулятора (рис. 2.4) від описаного 1991-го року полягає в основному в використанні в ньому симістора замість триністора, що дозволило виключити випрямний міст, складений з потужних діодів. У результаті кількість елементів, встановлюваних на тепловідвід за потужності на виході 1 кВт, скоротилась з п’яти до одного.

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

Регулювання потужності навантаження, як і в описаному в 1991-му році пристрої, здійснюється зміною числа напівперіодів мережевої напруги, що подається протягом деякого інтервалу часу, тому запропонований регулятор можна використовувати для роботи лише з такими навантаженнями, як, наприклад, електроплитка, камін, паяльник та іншими подібними електронагрівальними приладами.

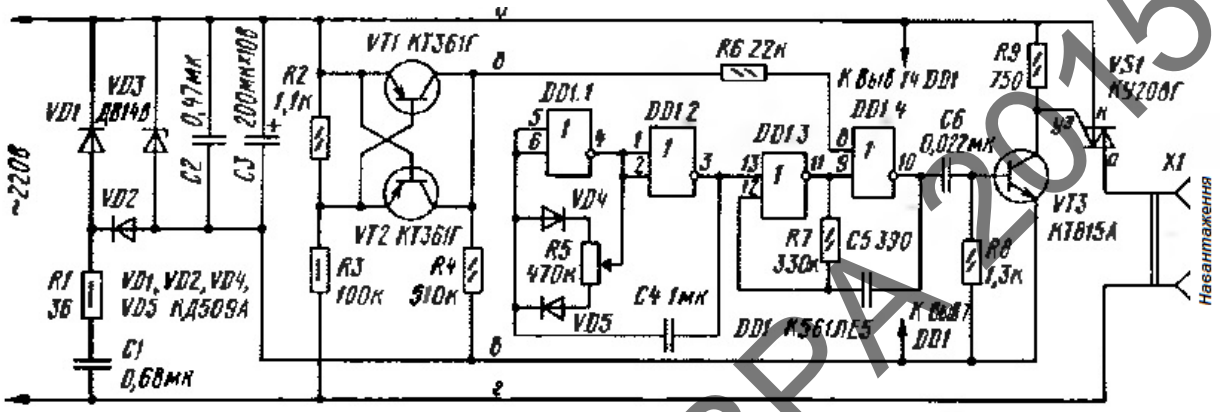


Рисунок 2.4 — Схема прототипу симісторного регулятора 1996-го року.

Ввімкнення симістора на схемі 1996-го року відбувається поблизу моменту переходу мережевої напруги через «нуль», що знижує рівень перешкод у порівнянні з регуляторами, у яких використаний фазоімпульсний метод регулювання. Діоди VD1–VD2, стабілітрон VD3, конденсатори C1–C3 і резистор R1 утворюють джерело живлення пристрою напругою близько 10 В (при максимальному вихідному струмі 18–20 мА), яке дає меншу споживану від мережі та, відповідно, меншу розсіювану потужність при вдвічі більшому вихідному струмі.

Оригінальним також є формувач імпульсів частотою 100 Гц, виконаний на транзисторах VT1, VT2 і резисторах R2–R4. За позитивного напівперіоду мережевої напруги на верхньому (за схемою) мережевому провіднику транзистор VT1, включений за схемою із загальним емітером, відкритий і насичений — напруга на його колекторі близька до емітерної (транзистор VT2 закритий). За негативного напівперіоду закритий транзистор VT1, але відкри-

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

тий і насичений транзистор VT2, ввімкнений за схемою із загальною базою, і напруга на його колекторі має той же знак і амплітуду.

Лише в моменти, коли мережева напруга за абсолютним значенням менше 40–50 В, обидва транзистори закриті й напруга на їхніх колекторах близька до напруги на виводі 7 мікросхеми DD1. При цьому дозволена робота генератора імпульсів на елементах DD1.3, DD1.4. Імпульси частотою близько 5 кГц з його виходу диференціюються ланцюгом C6R8, підсилюються транзистором VT3 і вмикають симістор VS1.

Однак роботою цього генератора керує й генератор, зібраний на елементах DD1.1 та DD1.2. Частота сформованих ним імпульсів — близько 2 Гц, а шпаруватість можна регулювати змінним резистором R5 від 1,01 до 100.

За напруги низького рівня на виході елемента DD1.2 дозволена робота генератора на елементах DD1.3 та DD1.4, а за високої — заборонена. В результаті при переміщенні повзунка резистора R5 з одного крайнього положення в інше змінюється співвідношення числа напівперіодів напруги мережі, що подаються й не подаються на навантаження, підключене до роз'єму X1. З огляду на те, що одному періоду роботи керуючого генератора відповідає близько 50 напівперіодів мережевої напруги, дискретність регулювання дорівнює приблизно 2%.

Попередньо в такому пристрої доцільно перевірити симістор на значення струму випрямлення, увімкнувши його за схемою, наведеною на рис. 2.5. Напруга живлення анодного ланцюга симістора повинна відповідати номінальній для лампи накалювання HL1, розрахованої на робочий струм не менше 150 мА. Плавно збільшуючи струм керуючого електрода симістора (резистором R1), вимірюють його значення безпосередньо перед ввімкненням лампи. Паспортне значення струму випрямлення при кімнатній температурі дорівнює 150 мА. Для регулятора варто підібрати симістор зі струмом випрямлення не більше 70 мА.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

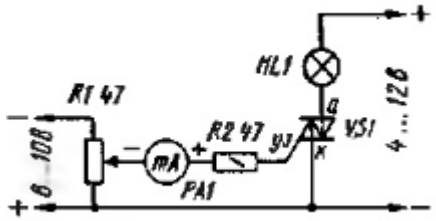


Рисунок 2.5 — Схема перевірки симістору

Налагоджують такий регулятор у такий спосіб: стабілітрон VD3 тимчасово вимикають, а зовнішнє джерело постійного струму напругою 9–10 В під'єднують до конденсатора С2. Встановивши повзунок резистора R5 у середнє положення, за допомогою осцилографа або навушників (що дуже зручно) контролюють на резисторі R9 наявність пачок імпульсів частотою близько 5 кГц і періодом повторення пачок, близьким до 0,5 с. При переміщенні повзунка змінного резистора тривалість пачок повинна змінюватися практично від нуля до безперервної послідовності імпульсів. Потім відновлюють увімкнення стабілітрона (при цьому встановлення симістора на тепловідвід не обов'язкове), до роз'єму X1 під'єднують настільну лампу, а на регулятор подають напругу мережі. При переміщенні повзунка резистора R5 лампа повинна спалахувати із частотою близько 2 Гц, а тривалість спалахів має змінюватись від нуля до безперервного світіння.

Пристрій можна спростити, якщо в ньому використати мікросхему К561ТЛ1 — чотирьох тригерів Шмітта, кожен з яких виконує функцію елемента 2І-НІ. Схема відповідної частини такого варіанту пристрою показана на рис. 2.6, а фрагмент аналогічної монтажної плати — на рис. 2.7. Джерело живлення й формувач імпульсів на транзисторах VT1, VT2 залишаються без змін.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

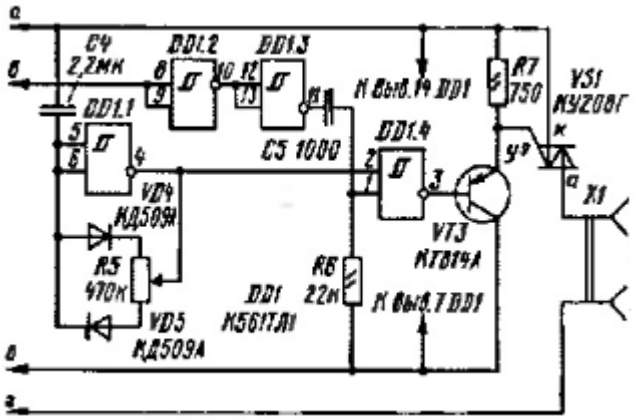


Рисунок 2.6 — Частина схеми пристрою на К561ТЛ1

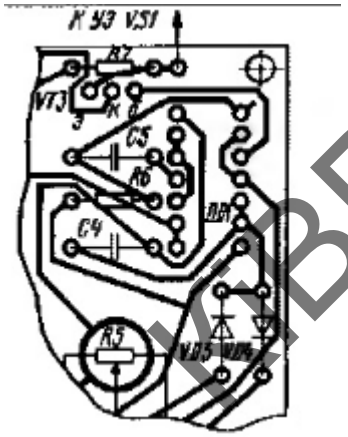


Рисунок 2.7 — Частина плати пристрою із К561ТЛ1

Послідовність прямокутних імпульсів низького рівня, що відповідають моментам нульової напруги мережі, надходить на нижній за схемою вхід елемента DD1.4 через диференціюючий ланцюг C5R6. Вхідні діоди елемента придушують негативні продиференційовані імпульси, а позитивні проходять на базу транзистора VT3 — підсилювача струму — і далі на керуючий електрод симістора VS1. Тривалість керуючих імпульсів — близько 12 мкс. Вони відкривають симістор VS1 на початку напівперіоду. Проходження імпульсів через елемент DD1.4 дозволяє вихідний сигнал генератора з регульованою шпаруватістю, зібраний на елементі DD1.1.

Далі в статті [10] зазначається, що подібний формувач керуючих імпульсів можна використати в різних автоматичних пристроях, наприклад, у термостабілізаторі або автоматі ввімкнення сходового освітлення (рис. 2.8). У

В.М. Пухтер, ЖВРА 2015

термостабилизаторі використання тригера Шмітта може призвести до занадто великої температурної різниці ввімкнення й вимикання нагрівача, тому тут доцільніша мікросхема К561ЛА7 або К176ЛА7. В автоматі ввімкнення освітлення гістерезіс необхідний, тому нам варто використати мікросхему К561ТЛ1.

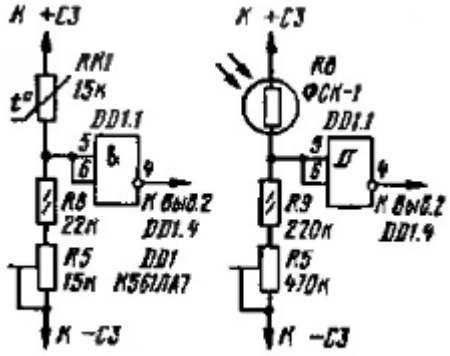


Рисунок 2.8 — Формувач імпульсів з термодатчику та з датчику руху

У такому варіанті пристрою відсутній опір, що обмежує вихідний струм елемента, що керує вихідним транзистором, і струм керуючого електрода симістора. Через малу тривалість імпульсів цього струму таке ввімкнення цілком безпечне для радіоелементів.

Також зазначено [10], що при налагодженні будь-якого варіанта регулятора і його практичному використанні варто пам'ятати, що всі його елементи, включаючи вал змінного резистора, перебувають під напругою мережі. Тому регулятор повинен бути поміщений у корпус з ізоляційного матеріалу, а змінний резистор має бути забезпечений ручкою з ізоляційного матеріалу із закритим стопорним гвинтом.

2.2.2 Аналіз прототипу 1998-го року

Відмінність варіанта термостабілізатора із статті 1998-го року від попереднього не суттєва, але використано більш сучасну елементну базу та деякі вдосконалення. Такий термостабілізатор, на думку автора статті, можна використати для підтримки температури в будиночку на садовій ділянці, у льосі, балконному «овочесховищі» й інших закритих просторах [11].

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

Стабілізація температури пропонованим електронним пристроєм, здійснюється, зазвичай, так само, вмиканням і вимиканням мережевої напруги, подаваної на навантаження-нагрівач, залежно від температури датчика — терморезистора. Включення самого симістора відбувається поблизу моменту переходу мережевої напруги через «нуль», що знижує рівень перешкод. Схема термостабілізатора наведена на рис. 2.9.

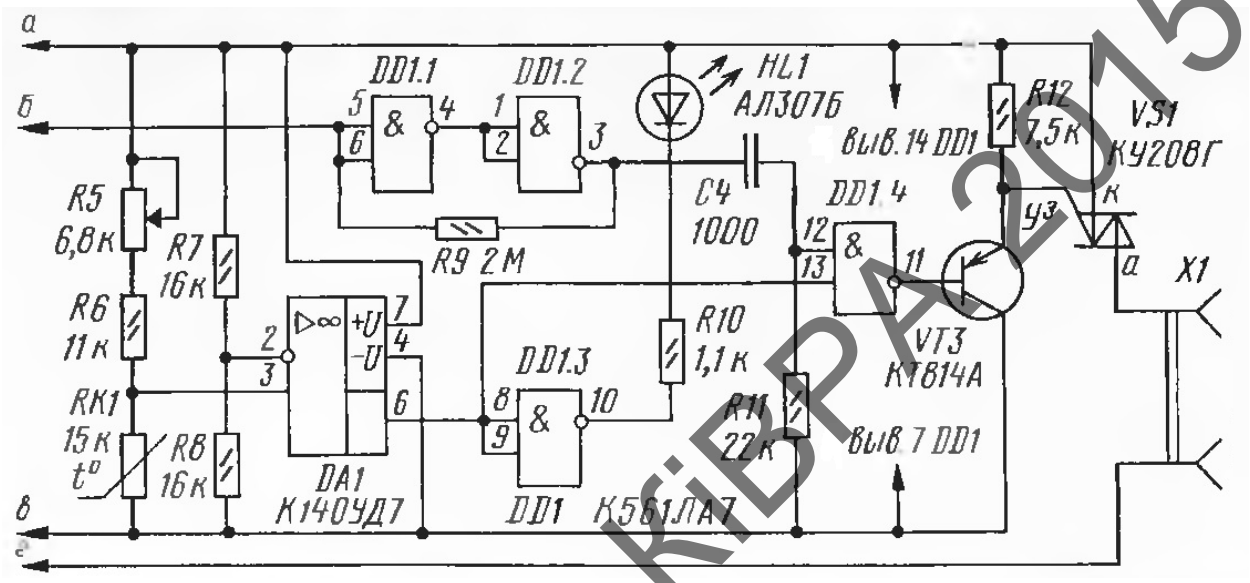


Рисунок 2.9 — Схема симісторного термостабілізатору

На провіднику в момент проходження мережевої напруги через «нуль» формується імпульс негативної полярності. Тригер Шмітта, зібраний на елементах DD1.1, DD1.2 і резисторі R9, формує круті фронти й спади цього імпульсу. Позитивний перепад напруги, що відповідає початку напівперіоду, диференціюється ланцюгом C4R11 й у вигляді короткого імпульсу позитивної полярності подається на вивід 12 елемента DD1.4.

Одночасно на другий вхід (вивід 13) елемента DD1.4 надходить сигнал з виходу операційного підсилювача (ОП) DA1, що виконує функцію компаратора. Його входи підключені до виходів термочутливого моста, утвореного резисторами R5–R8 і терморезистором RK1. Поки температура терморезистора вища за встановлену резистором R5, напруга на неінвертуючому вході ОП менше, ніж на інвертуючому, на виході компаратора формується сигнал

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

низького рівня. У цей час імпульси через елемент DD1.4 не проходять і світлодіод HL1 закритий.

Коли температура терморезистора RK1 знизиться й напруга на ньому стане більшою, вихідний сигнал ОП буде відповідати високому рівню, включиться світлодіод HL1, імпульси з диференціюючого ланцюжка C4R11 почнуть проходити через елемент DD1.4 на базу транзистора VT3. На початку кожного напівперіоду транзистор почне включати симістор VS1 і тим самим підключати до мережі навантаження-нагрівач.

Всі елементи пристрою, крім симістора й гніздової частини вихідного роз'єму X1, змонтовані на друкованій платі розмірами 80х50 мм (рис. 2.10). Плата, виконана з однобічного фольгованого склотекстоліту, розрахована на установку резисторів МЛТ, конденсаторів К73-16 (С1), К50-6 (С2), КМ-5 (інші). Змінний резистор R5 — СПЗ-4аМ або СПЗ-4бМ. Діоди VD1 та VD2 — будь-які кремнієві імпульсні або випрямні, стабілітрон VD3 — на напругу стабілізації 10–12 В. Мікросхема К561ЛА7 взаємозамінна з К176ЛА7 або КР1561ЛА7. Транзистори VT1 та VT2 можуть бути будь-якими кремнієвими малопотужними структури p-n-p, транзистор VT3 — середньої або великої потужності такої ж структури із припустимим колекторним струмом до 150 мА.

Конденсатор К73-16 (С1) можна замінити на будь-який металоплівковий, наприклад, К73-17, на номінальну напругу не менш 250 В або на паперовий чи металопаперовий на номінальну напругу не менш 400 В.

Функцію компаратора (DA1) може виконувати практично будь-який ОП, що працює при повній напрузі живлення 10 В та споживаючий струм не більше 5 мА, наприклад, КР140УД7, К140УД6, КР140УД6, КР140УД14. Світлодіод HL — будь-який із серії АЛ307. Його варто максимально винести за межі плати, і «дивитися» він повинен у ту ж сторону, що й вал змінного резистора R5. Корпус резистора R5 з'єднаний з мінусовим провідником ланцюга живлення мікросхем, що необхідно для його екранування.

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

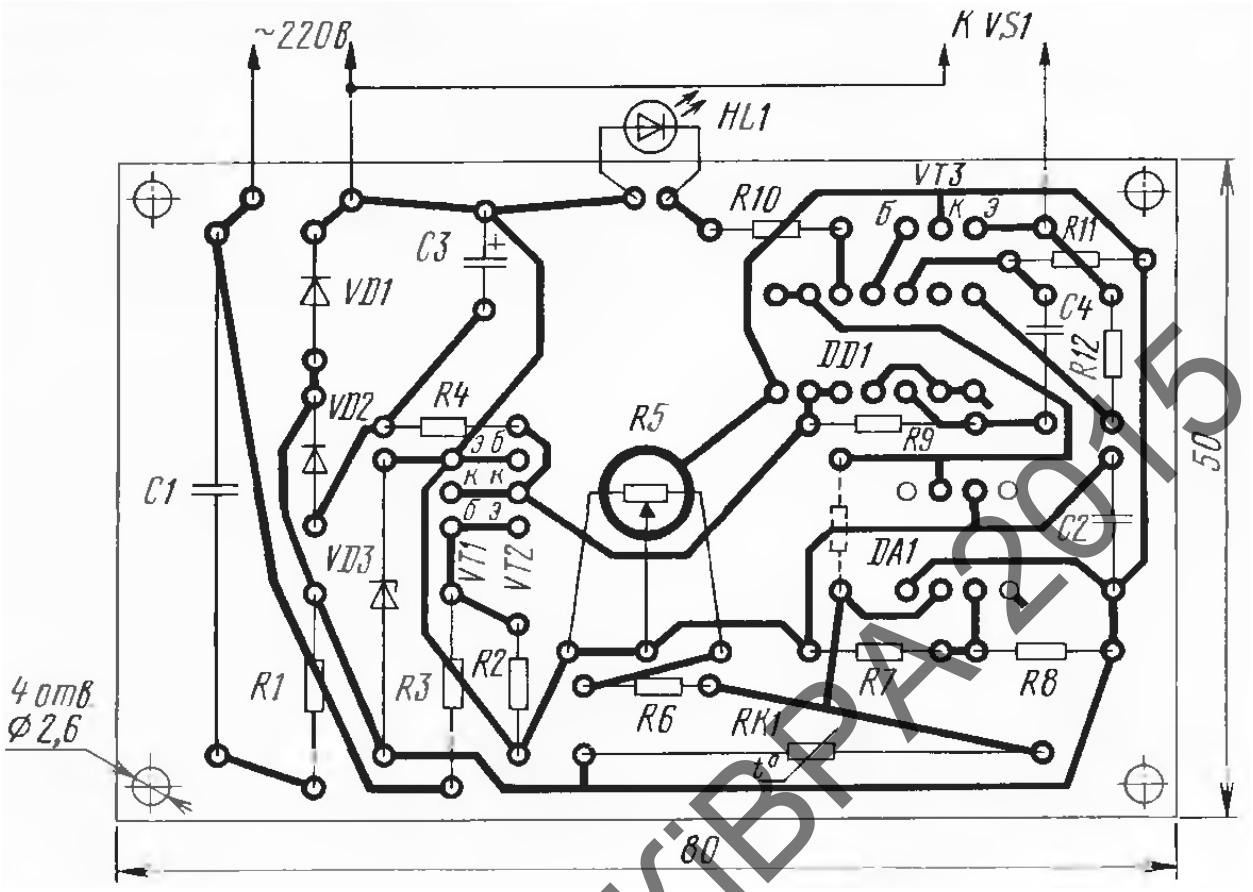


Рисунок 2.10 — Плата симісторного термостабілізатору

Терморезистор RK1, використаний у зразку пристрою,— ММТ-4. Але підійде й будь-який інший серії ММТ або КМТ на номінальний опір 10–33 кОм. Краще — герметичні ММТ-4 або КМТ-4.

Для визначення опорів резисторів R5 та R6 необхідно задатися діапазоном температур, у якому повинен працювати термостабілізатор. Опір терморезистора вимірюють при максимальній робочій температурі. Такий же опір або трохи менший повинен мати й резистор R6. Потім вимірюють опір терморезистора при мінімальній температурі й підбирають опір резистора R5 таким, щоб він в сумі з опором резистора R6 був не менше вимірюваного. Якщо є ускладнення у вимірі опору терморезистора в діапазоні температур, можна вважати, що для резисторів серії ММТ воно збільшується на 19% при зменшенні температури на 5 °С, на 41% — при зменшенні на 10°С і в два рази — на 20°С. Аналогічно при такому ж підвищенні температури зменшення

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

опору приладу становить 16%, 29% і два рази відповідно. Для терморезисторів КМТ подібна зміна приблизно в 1,5 рази більше.

Зазначені на схемі номінали резисторів R5, R6 і терморезистора RK1 відповідають діапазону роботи термостабілізатора 15–25°С.

Монтажну плату й симістор КУ208Г (або КУ208В), встановлений на ребристому тепловідводі розмірами 60х50х25 мм, розміщують у пластмасовій коробці розмірами 150х95х70 мм так, щоб терморезистор виявився близько до нижньої стінки коробки, а тепловідвід симістора — до верхньої. Попередньо в цих стінках корпуса найменшого розміру просвердлюють якомога більше число вентиляційних отворів діаметром 6 мм із кроком 10 мм. Світлодіод і вал резистора виводять через отвори в передній стінці коробки. Сам же вал змінного резистора й кріпильний гвинт пластмасової ручки на ньому не повинні бути доступні для випадкового дотику.

Налагоджувати й градуювати регулятор починають без симістора. Вивід 12 елемента DD1.4 тимчасово з'єднують дротовою перемичкою з виводом 14 цієї мікросхеми, і до резистора R12 підключають вольтметр постійної напруги. Конденсатор С1 шунтують резистором опором 220–330 Ом, після чого термостабілізатор підключають до джерела постійного струму з вихідною напругою 12–15 В. Значення напруги цього джерела встановлюють таким, щоб струм, споживаний термостабілізатором, був у межах 18–20 мА. Терморезистор поміщують у воду, температура якої відповідає середині робочого діапазону. Ізолятор термістора не повинен торкатися води. При обертанні вала резистора R5 по годинниковій стрілці світлодіод HL1 повинен загорятися, а вольтметр показувати напругу близько 9 В, при обертанні ж його в протилежному напрямку світлодіод буде гаснути, а стрілка вольтметра стояти на нульовій позначці шкали. Роблять відповідну позначку на шкалі змінного резистора. Змінюючи температуру води, повністю градують термостабілізатор.

Для проведення цієї операції можна замість терморезистора використати постійні резистори з номіналами, що відповідають вимірюваним опорам терморезистора при заданих температурах. Видаливши додатковий резистор і

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

дротову перемичку, повністю збирають стабілізатор і перевіряють його роботу з лампою накалювання, підключеною до роз'єму X1 «Навантаження».

Регулятор встановлюють у вертикальному положенні так, щоб вентиляційні отвори в його корпусі нічим не закривалися, наприклад, на стіну кімнати. Якщо термостабілізатор буде використовуватись для підтримки температури в льосі, інкубаторі або балконному «овочесховищі», його краще розміщувати поза термостабілізуючим простором, а терморезистор винести з корпуса стабілізатора. У цьому випадку для зменшення впливу завад на місце терморезистора на плату варто поставити оксидний конденсатор ємністю не менш 50 мкФ на номінальну напругу не менш 10 В. Сам же терморезистор і провідники, що підводять до нього, повинні бути ретельно заізольовані.

Термостабілізатор не має гістерезісу по температурі, і його точність може бути досить високою — порядку 0,1°С. Але якщо з якихось причин гістерезіс все-таки потрібен, необхідно включити між виводами 3 та 6 ОП DA1 резистор (на рис. 2.10 він показаний штриховими лініями) опором кілька мегаом.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

3 ПРИНЦИП РОБОТИ СХЕМИ

Виходячи з інформації, отриманої шляхом аналізу наближених до технічного завдання відповідників, обрано модель пристрою 2014-го року як базову для подальшого вдосконалення та проектування під конкретні вимоги, що ставляться перед даним проектом.

Терморегулятор, описаний в 2014-му році, відрізняється від ряду аналогів відсутністю гістерезісу в характеристиці регулювання, завдяки чому досягається більш точна підтримка заданої температури, а також зниженим рівнем створюваних ним комутаційних завад. Терморегулятор, що функціонує подібним чином, був описаний в 98-му в статті С. Бірюкова «Симісторний термостабілізатор», але він має більш складний вузол синхронізації з мережею та створює більше завад. Схема терморегулятора показана на рис. 3.1.

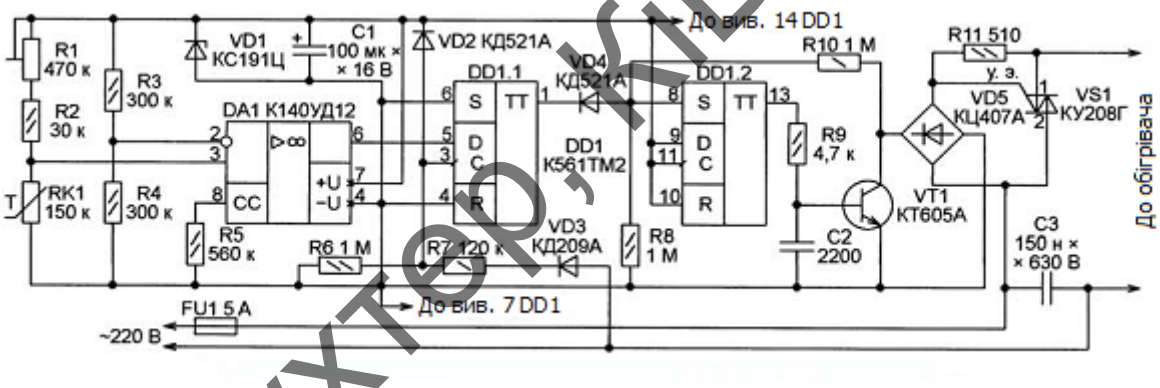


Рисунок 3.1 — Схема терморегулятора

За умови використання симістора VS1 вказаного на схемі типу, він може керувати обігрівачем потужністю до 1 кВт — така особливість потребує вдосконалення. Датчиком температури слугує терморезистор RK1, який разом з резисторами R1–R4, утворює вимірювальний міст. Підстроювальним резистором R1 балансують міст за температури, яку потрібно підтримувати. Напруга, яка знімається з діагоналі моста, поступає на зібраний на ОП DA1 компаратор без зворотнього зв'язку. Резистор R5 задає режим роботи ОП (струм споживання, максимальну швидкість зростання вихідної напруги).

В. М. Пухтєр, КІВРА 2015

Логічний рівень напруги на виході компаратора стає низьким, якщо температура середовища, в якому знаходиться терморезистор, перевищує задану, або високим в протилежному випадку. Сигнал з виходу ОП подається на вхід D тригера DD1.1, а на вхід C того ж тригера через діод VD3 та подільник напруги R6R7 надходять імпульси, що проходять з частотою мережі. Перемикання тригера можливе лише передніми фронтами цих імпульсів в моменти, коли миттєве значення напруги на нижньому по схемі провіднику мережі живлення по відношенню до її верхнього провіднику дорівнює приблизно 6 В і зростає. Саме тому інтервали часу між змінами стану тригера завжди кратні періоду мережевої напруги, а самі зміни відбуваються поблизу переходу мережевої напруги через нуль. Високий логічний рівень напруги на виході (вивід 1) тригера DD1.1 значить, що робота обігрівача дозволена, а низький – заборонена.

Імпульси, які сформовані ланцюгом VD3R6R7, не лише тактують тригер, але й заряджають через діод VD2 конденсатор C1, напруга на якому обмежена стабілітроном VD1 приблизно до 9 В та використовується для живлення мікросхем приладу.

На тригері DD1.2, який увімкнено за схемою інвертуючого повторювача сигналу, що подається на вхід S, виконано вузол формування імпульсів керування симістором VS1. На цьому вході в певній пропорції сумується сигнал, який надходить через діод VD4 з виходу тригера DD1.1, та випрямлена діодним мостом VD5 напруга між електродом 2 та керувальним електродом симістора. В результаті на виході (вивід 13) тригера DD1.2 високий логічний рівень напруги присутній лише в тому випадку, якщо він такий самий на виході тригера DD1.1, а миттєве абсолютне значення напруги, що прикладена до симістора VS1, перевищує приблизно 10 В.

Навіть за наявності на виході тригера DD1.1 сигналу, який дозволяє ввімкнення обігрівача, симістор VS1 на початку кожного напівперіоду закритий. В момент, коли миттєве значення прикладеної до нього через обігрівач мережевої напруги сягне 10 В, рівень на вході S та виході тригера DD1.2 стане високим, відкриється транзистор VT1 та буде замкнений керувальний ла-

В.М.Пухтер, КІВРА 2015

нцюг симістора. Через проміжок часу, який необхідний для відкриття симістора, напруга між його електродами впаде до кількох вольт. В результаті стане низьким і рівень напруги на вході S тригеру DD1.2 та його виході. Імпульс, який відкрив симістор, стане більше не потрібний та закінчиться. Але симістор лишиться відчиненим до кінця напівперіоду, коли значення струму , що протікає по ньому, стане менше струму втримання. Завдяки тому, що тривалість керуючого імпульсу автоматично підтримується мінімально достатньою для відчинення симістора, підвищується економічність приладу.

В наступних напівперіодах описані процеси повторюються, доки в результаті прогрівання терморезистора RK1 рівень на виході тригера DD1.1 не стане низьким.

В момент подачі на прилад мережевої напруги розряджений конденсатор C2 шунтує емітерний перехід транзистору VT1, що перешкоджає його короткочасному пробою та усуває пов'язаний із цим стрибок колекторного струму. Резистор R11 вирівнює потенціали керувального електрода та електрода 1 закритого симістора, запобігаючи тим самим його самовільне відкриття. Конденсатор C3 заглушує імпульсні завади.

Замість мікросхеми К561ТМ2 в пристрої можливо застосувати аналогічну серії К176. В останньому випадку, задля підвищення надійності пристрою, в якості VD2 бажано використовувати діод з бар'єром Шоткі, наприклад, КД923А.

Операційний підсилювач К140УД12 може бути замінений на КР140УД1208, MC1776CP1, а також на КР140УД12 з урахуванням відмінностей у типі корпусу та призначенні виводів.

Замість симістора КУ208Г можна встановити прилад тої ж серії з індексами Г1, Д1 або інший симістор, розрахований на потрібний зкомутований струм та напругу в зачиненому стані не менше за 400 В. Наприклад, використання симістора ТС106-10-4 дозволить збільшити потужність обігрівача до 2 кВт, а закордонних симісторів MAC16D, BTA216-500B — до 3 кВт. При цьому мають бути підібрані відповідним чином запобіжник FU1 та тепловід-

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

від симістора. За потужності обігрівача до 1000 Вт симістору потрібний тепловідвід із площею охолоджувальної поверхні не менше 150 см^2.

Замість транзистору КТ605А можна використовувати КТ520А, КТ969А, КТ6135А, КТ6105А, КТ6107А, КТ6139А, КТ940А, КТ9179А, 2N6517, MPSA44, MPSA45, KSP44, KSP45, BF844, ZTX458, а також будь-які транзистори з серій КТ604, КТ605. Заміна діоду КД209А та діодного мосту КЦ407А можлива на аналогічні елементи, розраховані на зворотну напругу не нижче 400 В. Можна, наприклад, використовувати діоди КД109В, КД221В, КД221Г, КД243Г–КД243Ж, КД105Б–КД105Д, КД209 з усіма індексами та 1N4004–1N4007. Діодний міст може бути КЦ422Г або DB104–DB107. Діоди КД521А заміняються будь-якими малопотужними кремнієвими діодами, а стабілітрон — КС191Ц–КС191Ж, 1N5529, 1N4103, BZX55C9V1.

Конденсатор С3 — К73-17 або інший ємністю 0,1–0,22 мкФ, придатний для роботи за змінної напруги 220 В, 50 Гц. Терморезистор RK1 може бути будь-яким із від'ємним температурним коефіцієнтом опору (ТКО), наприклад, КМТ-1, КМТ-4, КМТ-10, КМТ-11, ММТ-1, ММТ-4.

Зовнішній вигляд зібраного пристрою показаний на рис. 3.2. Так як встановлені на його платі елементи зв'язані з мережею, що має небезпечну для життя напругу 220 В, то під час налагодження та експлуатації терморегулятору слід дотримуватись заходів електробезпеки. Плату необхідно розмістити в корпусі з діелектричного матеріалу, ручка повзунка підлаштовного резистору також має бути ізольована. Перед першим включенням пристрою потрібно перевірити правильність та якість монтажу.

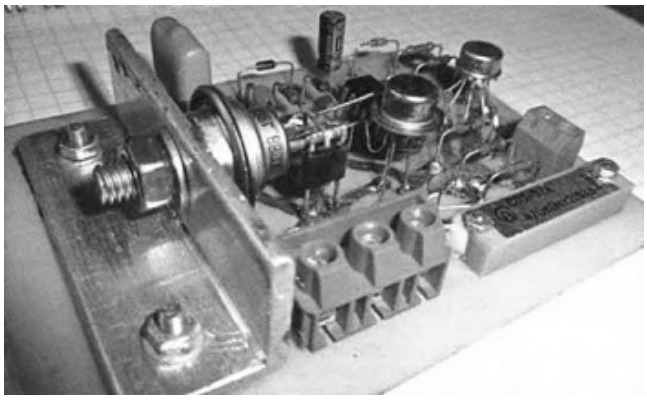


Рисунок 3.2 — Дослідний зразок терморегулятора

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

Налагодження терморегулятору зводиться до встановлення границь регулювання температури шляхом підбирання резисторів R1 та R2. За номіналів, вказаних на схемі, ці границі виходять дуже широкими, тому бажано або використовувати в якості R1 прецизійний багатообертовий підлаштовний резистор (наприклад, СП3-37а), або звузити границі до необхідних для конкретного застосування регулятору. Так, якщо необхідно підтримувати в інтервалі 2–4 °С температуру в підвалі, то резистор R1 може мати опір 220 кОм, а R2 — 240 кОм.

У випадку використання терморезистору RK1 як виносного датчику температури варто враховувати, що він електрично зв'язаний з електромережею. Його потрібно захистити від випадкових дотиків, розмістивши, наприклад, в корпус з ізоляційного матеріалу. З платою приладу винесений терморезистор з'єднують звитою парою дротів, довжина яких не має перевищувати 1–2 метрів. Неприпустимо занурювати терморезистор в рідину. Виключення з цього правила може бути зроблене лише за умови надійної гідроізоляції самого терморезистору та дротів, що до нього під'єднані.

Розглянутий терморегулятор можна використовувати для управління компресором холодильнику, якщо внести в його схему зміни, показані на рис. 3.3. Оскільки компресор, на відміну від нагрівача, потрібно вмикати тоді, коли температура в холодильній камері вище за задану, та вимикати, коли вона нижче, то інвертуючий та неінвертуючий входи ОП DA1 помінялись місцями. Введений додатній зворотній зв'язок через резистор R12, що створює гістерезіс, необхідний для запобігання занадто частих увімкнень та вимкнень компресору. За бажання ширину зони гістерезісу можна змінити, підбираючи резистор R12. Оскільки компресор холодильнику являє собою індуктивне навантаження, то задля підвищення надійності керування ним рекомендовано, як показано на рис. 3.4, підключити симістору VS1 RC-ланцюг.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

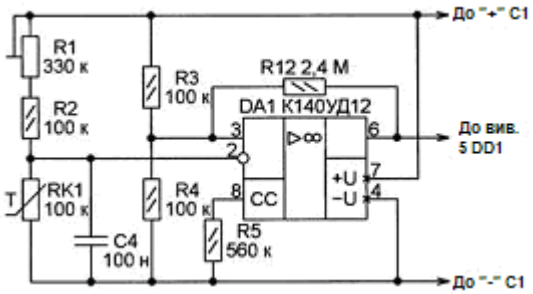


Рисунок 3.3 — Схема керування компресором холодильнику

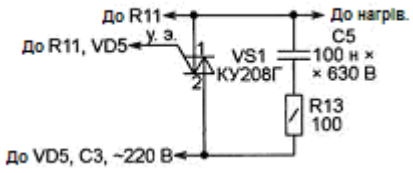


Рисунок 3.4 — Підключення RC-ланцюга

Отже, маємо основний принцип роботи схеми базового пристрою, який, згідно зі статтею, вдало працює і виконує задані функції з терморегуляції. В подальших схемотехнічних корегуваннях не буде порушено цей принцип роботи, а лише буде вдосконалено пристрій до заданих технічним завданням вимог.

В. М. Пухтер. КВРА 2015

4 СХЕМОТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Відповідно до вищезгаданих ергономічних потреб потрібно опрацювати вдосконалення пристрою задля зручного вибору одного з 4-х режимів температури приміщення. Також необхідно замінити симістор та відповідні ЕРЕ для проведення сильнішого струму з метою керування більш потужним навантаженням, порівняно з базовим пристроєм.

Елементна база має бути підібрана, виходячи з принципу цінової доступності та стабільної наявності в гуртово-роздрібних торгівельних точках, що реалізують ЕРЕ. Подібна інформація найбільш наочно представлена в інтернет-ресурсі «Радіомаг» [13], тож звідти й буде основним чином підібрана елементна база розроблюваного пристрою.

4.1 Розрахунок кнопкового керування

Замість резисторів R1 та R2 встановлюються елементи схеми, що дозволять визначати температурні режими роботи приладу. Такими елементами мають стати 4 кнопки, що замикатимуть ланцюг разом із відповідним для заданої температури опором. З метою виключення проектно-виробничої похибки такого вимірювального мосту, а також задля можливості індивідуальних підлаштувань режимів регульованої температури, встановлюються резистори змінного опору (рис. 4.1).

Для розрахунку номіналів потрібних резисторів можна умовно відокремити ланцюг температурного датчика (рис. 4.2), що складатиметься (умовно) з терморезистора R_T, додаткового опору $R_{Д1}$, який на межі з'єднання з терморезистором під'єднаний до неінвертуючого входу ОП, а також додаткових опорів $R_{Д2}$ та $R_{Д3}$, що на межі взаємоз'єднання під'єднані до інвертуючого входу ОП.

Із з'єднань 1 та 2 знімаємо напругу, що повинна мати таку саму різницю, як і в базовій схемі, задля відповідного сигналу на вхід ОП, що визначає подальшу роботу системи. Опір $R_{Д1}$ умовно ділимо на 2 допоміжні опори: $R_{Д1П}$ (постіний) і $R_{Д1З}$ (змінний).

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

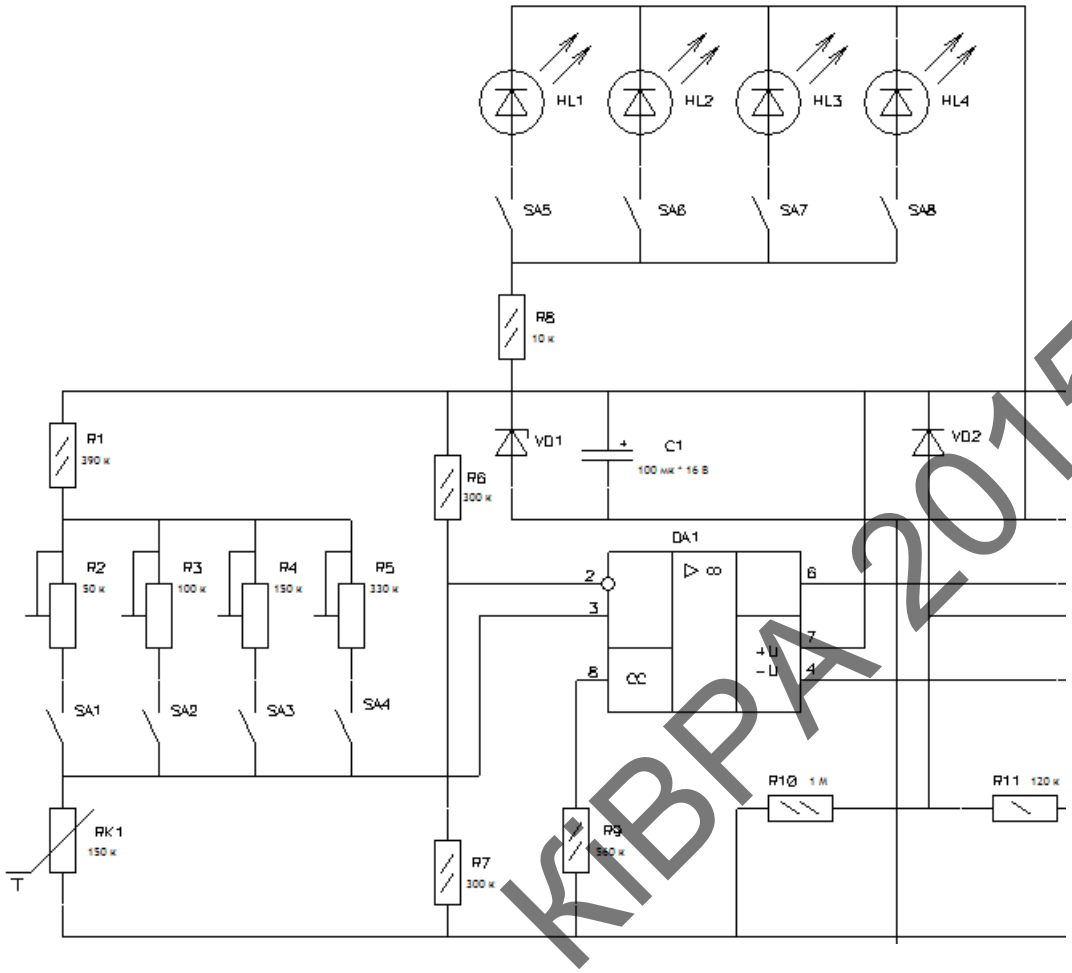


Рисунок 4.1 — Схема кнопкового вибору режиму зі світлодіодною індикацією

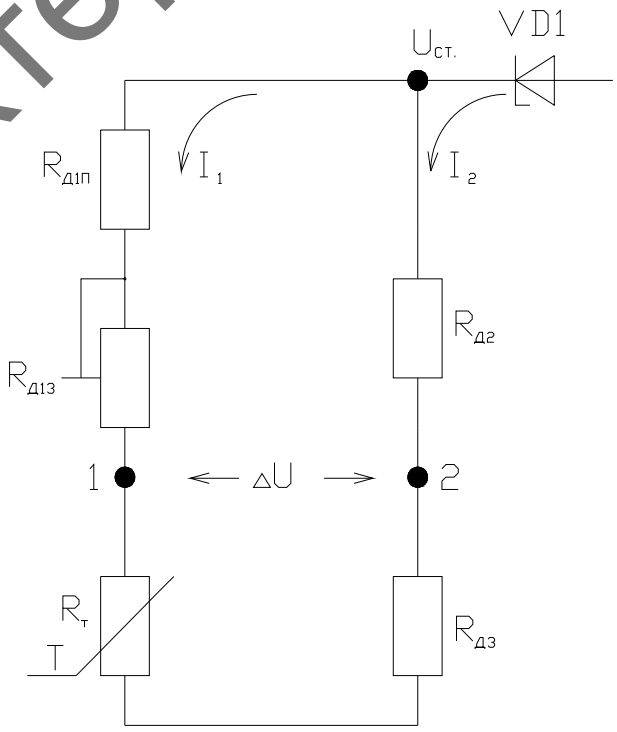


Рисунок 4.2 — Умовний ланцюг термодатчика для розрахунків

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

Отже, початкова (базова) схема має різницю напруг:

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

де U_1 — напруга на з'єднанні R_T та $R_{Д1}$;

U_2 — напруга на з'єднанні $R_{Д2}$ та $R_{Д3}$.

Тому, залишивши цю різницю незмінною, схема буде функціонувати в потрібному режимі терморегуляції.

Також маємо:

$$U_1 = \frac{U_{ст}}{R_T + R_{Д1}} \cdot R_T \qquad (4.1)$$

де U_1 — напруга на з'єднанні R_T та $R_{Д1}$;

$U_{ст}$ — напруга стабілітрона;

R_T та $R_{Д1}$ — значення опору відповідних елементів.

Аналогічним чином маємо:

$$U_2 = \frac{U_{ст}}{R_{Д2} + R_{Д3}} \cdot R_{Д3}$$

де U_2 — напруга на з'єднанні $R_{Д2}$ та $R_{Д3}$;

$U_{ст}$ — напруга стабілітрона;

$R_{Д2}$ та $R_{Д3}$ — значення опору відповідних елементів.

Також застосовуємо формулу розрахунку опору терморезистора з від'ємним температурним крефіцієнтом опору (ТКО):

$$R_T = R_0 \cdot (1 - TKO \cdot \Delta t) \qquad (4.2)$$

де R_0 — номінальний опір терморезистора за температури 20 °С;

TKO — температурний коефіцієнт опору терморезистора;

Δt — зміна температури.

Тож, маємо опір терморезистору базової схеми для режиму «20 °С», кОм:

$$R_T = 150 \cdot (1 - 0,042 \cdot (20 - 20)) = 150$$

Опір терморезистору для режиму «22 °С», кОм:

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

$$R_T = 150 \cdot (1 - 0,042 \cdot (22 - 20)) = 137,4$$

Опір терморезистору для режиму «18 °С», кОм:

$$R_T = 150 \cdot (1 - 0,042 \cdot (18 - 20)) = 162,6$$

Опір терморезистору для режиму «18 °С», кОм:

$$R_T = 150 \cdot (1 - 0,042 \cdot (10 - 20)) = 213$$

В базовій схемі $R_{Д1}$ = 500 кОм (сумарно). Залишивши незмінними значення $R_{Д2}$ та $R_{Д3}$, і, обравши значення опору $R_{Д1П}$ = 390 кОм, маємо для режиму «20 °С»:

$$R_{Д1З} = R_{Д1} - R_{Д1П} \qquad (4.3)$$

$$R_{Д1З} = 500 - 390 = 110 \text{ (кОм)} — \textbf{для 20 °С}$$

Тепер потрібно знайти коефіцієнт зміни опору $R_{Д1}$ — позначимо його літерою β. Також визначемо, що

$$R'_{Д1} = \beta \cdot R_{Д1} \qquad (4.4)$$

де $R'_{Д1}$ — нове значення опору відповідної ділянки ланцюга, необхідне для забезпечення сталості напруги U_1 (4.1) за умови нового температурного режиму.

Умова відповідної роботи ОП зі значенням опору терморезистору, відмінним від режиму «20 °С», забезпечується рівністю:

$$U'_1 = U_1$$

де U'_1 — значення напруги на з'єднанні 1 за нових значень опорів відповідних ділянок ланцюга.

З формули (4.2) коефіцієнт зміни опору терморезистора визначимо як α:

$$\alpha = 1 - ТКО \cdot \Delta t$$

Отже, маємо таку рівність:

$$\frac{U_{ст}}{R'_T + R'_{Д1}} \cdot R'_T = \frac{U_{ст}}{R_T + R_{Д1}} \cdot R_T$$

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

$$\frac{U_{ст}}{\alpha R_T + \beta R_{Д1}} \cdot \alpha R_T = \frac{U_{ст}}{R_T + R_{Д1}} \cdot R_T$$

$$\frac{\alpha}{\alpha R_T + \beta R_{Д1}} = \frac{1}{R_T + R_{Д1}}$$

$$\alpha R_T + \alpha R_{Д1} = \alpha R_T + \beta R_{Д1}$$

$$\alpha R_{Д1} = \beta R_{Д1}$$

$$\alpha = \beta \qquad (4.5)$$

Виходячи з цих розрахунків, можна стверджувати, що коефіцієнт зміни опору відповідної ділянки ланцюга дорівнює коефіцієнту зміни опору терморезистора для певної температури. Тобто, якщо значення опору терморезистора збільшується на 10%, то і значення відповідного допоміжного опору має збільшитись на 10%.

Так, із формул (4.3), (4.4) та (4.5) визначаємо $R_{Д13}$ для режиму «22 °С»:

$$R_{Д13} = (1 - 0,042 \cdot 2) \cdot R_{Д1} - R_{Д1П} = 0,916 \cdot 500 - 390 \approx 68 \text{ (кОм)} \text{ — } \textbf{для 22 °С}$$

Визначаємо $R_{Д13}$ для режиму «18 °С»:

$$R_{Д13} = (1 + 0,042 \cdot 2) \cdot R_{Д1} - R_{Д1П} = 1,084 \cdot 500 - 390 \approx 152 \text{ (кОм)} \text{ — } \textbf{для 18 °С}$$

Визначаємо $R_{Д13}$ для режиму «10 °С»:

$$R_{Д13} = (1 + 0,042 \cdot 10) \cdot R_{Д1} - R_{Д1П} = 1,42 \cdot 500 - 390 \approx 320 \text{ (кОм)} \text{ —} \textbf{для 10 °С}$$

Отже, за допомогою змінних резисторів знайдених номіналів (приблизно, відповідно до номенклатури) можна встановлювати режими спрацьовування пристрою на проведення струму до навантаження.

4.2 Встановлення індикаторів режиму

Оскільки світлодіоди є нелінійними елементами, які можуть спотворити показники температурного датчика, то під'єднання їх треба проводити за межами ділянки вимірювального мосту (рис. 4.1), а синхронне ввімкнення забезпечити окремою групою кнопок, які будуть механічно з'єднані на рівні корпусу із відповідними кнопками замикання опорів для різних режимів роботи.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

4.3 Підвищення пропускної потужності навантаження

Задля можливості використовувати даний пристрій із навантаженнями до 3 кВт, потрібно замінити симістор базової схеми КУ208Г на більш потужний BTA216-500B. Відповідно встановлюється запобіжник вже не на 5, а на 16 А. В подальших розрахунках відповідним чином потрібно буде врахувати розміри силових доріжок високого значення струму та можливість встановлення ЕРЕ базової схеми для нових умов використання пристрою. Так само, потрібно розрахувати новий елемент тепловідведення для нової потужності розсіювання симістору, відмінного від базового пристрою.

4.4 Вибір елементної бази

Для схеми, наведеної на рис. 4.3, обрано такі елементи:

1) резистори постійні (всі) — МЛТ відповідного номіналу;
2) резистор R2 — SF065/KLS4-WH06-2A-503 (50 кОм);
3) резистор R3 — SF065/KLS4-WH06-2A-104 (100 кОм);
4) резистор R4 — 3329H-1-154-Bourns (150 кОм);
5) резистор R5 — SF065/KLS4-WH06-2A-334 (330 кОм);
6) кнопки (всі) — тактові, з фіксацією, SWT-2/17 (h=17);
7) терморезистор — ММТ-4а 150 кОм±20%;
8) світлодіоди (всі) — білі, 10 мм, GNL-10003UWC-TL G-Nor;
9) стабілітрон — КС191Ц;
10) конденсатор С1 — електролітичний, 100uF 16V ECR101M16B-Hitano;
11) конденсатор С2 — 2,2nF 50V NP0 J(+/-5%) (R15N222J1HL2-L);
12) конденсатор С3 — К73-17, 0.15 мкФ, 630 В, 10%;
13) підсилювач — К140УД12;
14) запобіжник — 16А 250V (50F-160H) 5х20 мм;
15) тримачі запобіжника — KLS5-266 (FH-100);
16) діоди VD2, VD4 — КД521А;
17) діод VD3 — КД209А;
18) мікросхема — К561ТМ2;

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

19) транзистор — КТ605А;

20) діодний міст — КЦ407А;

21) симістор — BTA216-500B;

22) роз'єм X1 — KLS1-AS-222-12 (розетка живлення AC);

23) роз'єм X2 — дротове з'єнання з розеткою в корпусі приладу.

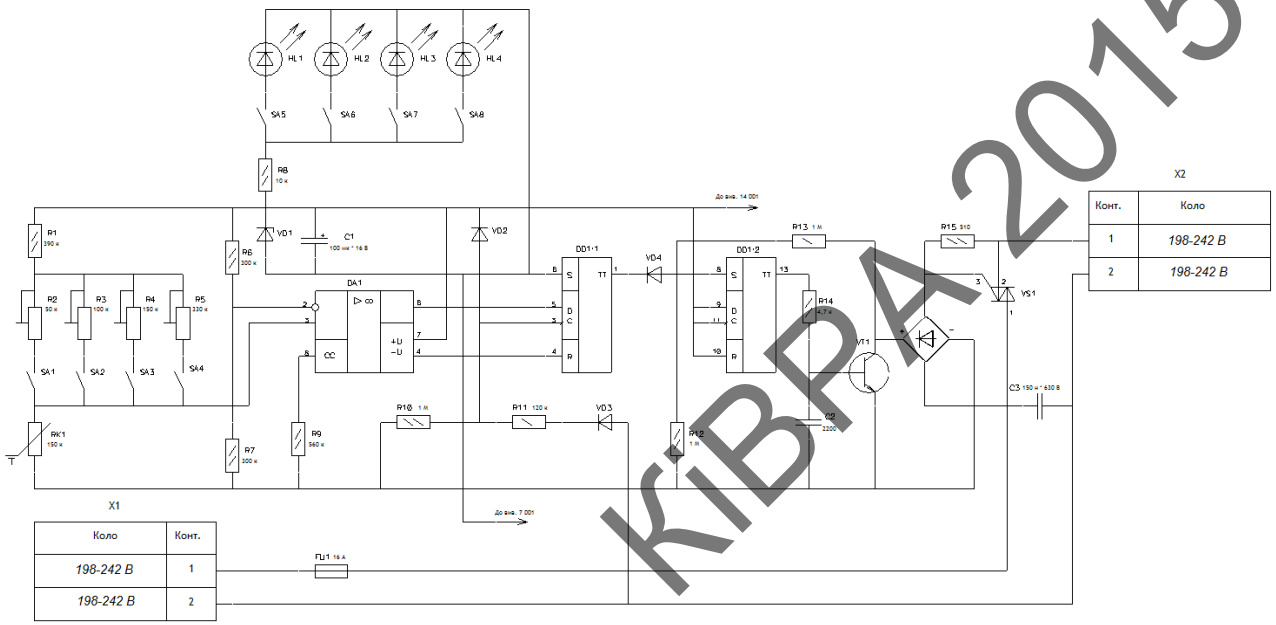


Рисунок 4.3 — Електрична схема розроблюваного пристрою

Елементна база підібрана з урахуванням цінової доступності готового приладу (до 50 грн. на всі елементи), а також за стабільною наявністю в продажу [13].

4.5 Розрахунок геометрії радіатора

Виходячи з описового файлу на симістор BTA216-500B розрахунок радіатору треба проводити для розсіюваної потужності корпусу симістору близько 10 Вт. Для такого розсіювання потрібен радіатор площею розсіювання близько 200 см^2 (15–20 см^2 на кожний 1 Вт теплової енергії EPE).

Для даного проекту важливою характеристикою є цінова доступність готового виробу, а отже, рішення радіатору має бути максимально дешевим без

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

суттєвого збільшення габаритів приладу. Таким рішенням може стати використання алюмінієвої пластини, П-подібно зігнутої виконавцем монтажу ЕРЕ. Також, з метою економії матеріалів на розмірі ДП, розміщуємо радіатор частково за межами плати (але в межах корпусу). Радіатор матиме 3 отвори однакового діаметру: 2 — для кріплення до ДП (та, одночано, до корпусу), 1 — для кріплення корпусу симістора до радіатора та до корпусу приладу (рис. 4.4).

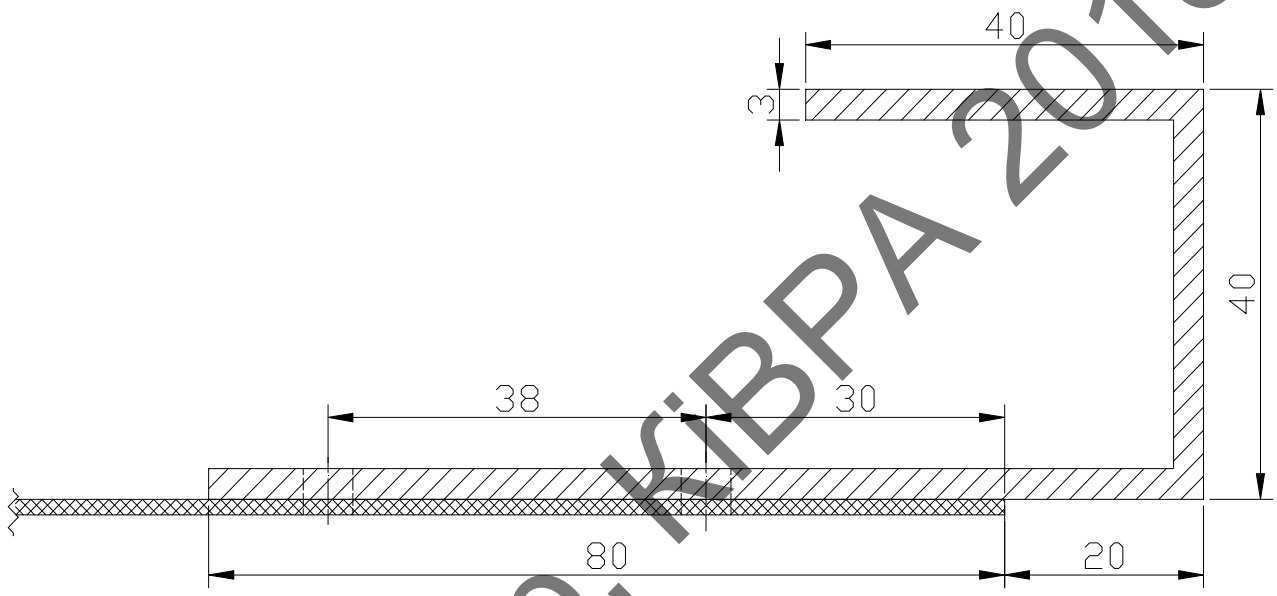


Рисунок 4.4 — Радіатор на платі

Товщину пластини радіатора приймаємо 3 мм, а корпус симістора розміщуємо горизонтально до ДП (вигинаємо ніжки на 90°) задля збільшення площі прямого відведення тепла.

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

5 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

5.1 Аналіз електричної принципової схеми

Силові ланцюги, по яких може проходити струм до 16 А:

а) діод VD3 з'єднаний із роз'ємом X1, конденсатором C3 та роз'ємом X2;

б) симістор VS1 з'єднаний із запобіжником FU1;

в) запобіжник FU1 з'єднаний із роз'ємом X1;

г) діодний міст VD5 з'єднаний із симістором VS1 та резистором R15;

ґ) діодний міст VD5 з'єднаний із конденсатором C3;

д) резистор R15 з'єднаний із симістором VS1 та роз'ємом X2.

Інші передбачені схемою кола — сигнальні ланцюги та ланцюги живлення низьких струмів.

5.2 Робота в програмному середовищі P-CAD

З метою підвищення якості та швидкості проектування за рекомендаціями відповідного навчального курсу було обрано програмне середовище P-CAD для проектування друкованого вузла та суміжних операцій.

Основним етапом проектування за допомогою спеціалізованих автоматизованих систем є створення компонентів друкованого вузла в програмному комплексі P-CAD: Symbol Editor, Pattern Editor, Library Executive. Подальшим етапом є креслення електричної принципової схеми пристрою в додатку Schematic, а також креслення ДП, як деталі, та друкованого вузла в додатку PCB. На рис. 5.1 відображено приклад створення умовних графічних зображень.

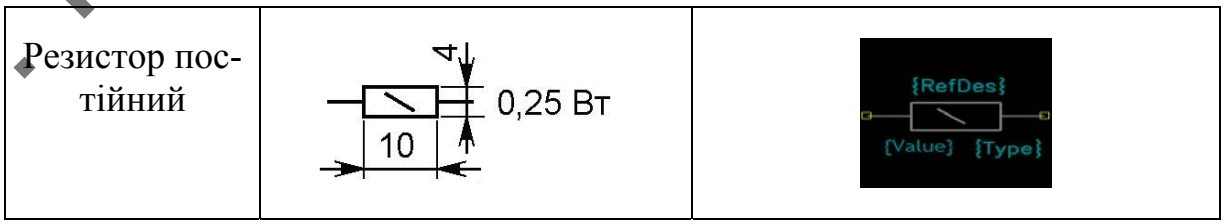


Рисунок 5.1 – Робота в Symbol Editor

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

5.3 Розрахунок діаметра монтажних отворів та діаметра контактних майданчиків.

За значеннями геометрії виводів обраних ЕРЕ, відповідними формулами та основними конструкторськими параметрами друкованих плат відповідного класу точності знаходимо діаметри отворів ДП під встановлення ЕРЕ та діаметри контактних майданчиків.

Діаметри контактних майданчиків доцільно вибирати з ряду рекомендованих ОСТ 4.070.010-78. Для кожного контактного майданчика перевіряється виконання умови:

$$D \geq D_{\min} \qquad (5.1)$$

де D_{min} — найменший номінальний діаметр контактного майданчика.

$$D_{\min} = (d_0 + \Delta d_{в.о}) + 2 \cdot b + \Delta t_{в.о} + 2 \cdot \Delta t_{т.р} + (T_d{}^2 + T_D{}^2 + \Delta t_{н.о}{}^2)^{\frac{1}{2}}$$

де $\Delta d_{в.о}$ — верхнє граничне відхилення діаметру отвору;

$\Delta t_{в.о}$ — верхнє граничне відхилення діаметру контактного майданчика;

$\Delta t_{тр}$ — значення підтравлення діелектрику в отворі;

$\Delta t_{н.о}$ — нижнє граничне відхилення діаметру контактного майданчика та ширини друкованого провідника;

T_d — значення позиційного допуску розташування осей отворів у діаметральному вираженні;

T_D — значення позиційного допуску розташування центрів контактніх майданчиків у діаметральному вираженні.

В таблиці 5.1 представлені розрахунки діаметрів контактних майданчиків та діаметрів отворів, відповідно до геометрії виводів кожного окремого ЕРЕ.

В. М. Пухтер, КВРА 2015

Таблиця 5.1 — Діаметри отворів та контактів

	d0	Δdво	bн	Δтво	Δdтр	δd	δр	Δtно	Dкп	Dотв.
R2—R5	1	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	2,0	1,3
R1, R6—R10, R12, R14—R15	0,5	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,5	0,8
R11, R13	0,6	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,6	0,9
RK1 150 К	0,6	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,6	0,9
VD1 КС191Ц	0,5	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,5	0,8
DA1 К140УД12	0,6	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,6	0,9
C1 100 мк х 16 В	0,8	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,8	1,1
DD1 К561ТМ2	0,5	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,5	0,8
VD2, VD4 КД521А	0,5	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,5	0,8
VD3 КД209А	0,6	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,6	0,9
C2 2200	0,5	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,5	0,8
VT1 КТ605А	0,5	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,5	0,8
VD5 КЦ407А	0,7	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,7	1
VS1 ВТА216—500В	0,9	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,9	1,2
C3 150 н х 630 В	0,8	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,8	1,1
FU1 16 А	1,3	0,15	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	2,4	1,7
SA1—SA8	0,7	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,7	1
HL1—HL4	0,5	0,1	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	1,5	0,8
X1, X2 (дріт 2х1,5)	1,5	0,15	0,2	0,15	0,03	0,15	0,25	0,1	2,6	1,9

З метою покращення технологічності виробництва такої ДП можна зменшити кількість необхідних свердл для отворів до 3-х: 1,9 мм, 1,3 мм та 0,9 мм. В цьому випадку виконується (5.1), а процес підготовки плати до монтажу ЕРЕ буде швидшим та економічнішим.

5.4 Варіанти встановлення елементів

На рис. 5.2 відображений приклад таблиці відповідності: результат креслення елементу в Pattern Editor, розміри елементу з відповідного описового файлу «datasheet» та варіант встановлення ЕРЕ на ДП.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

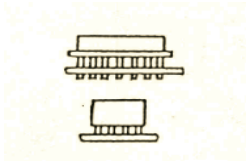
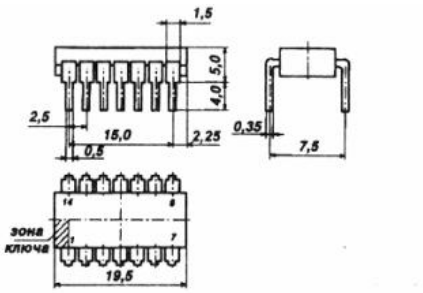
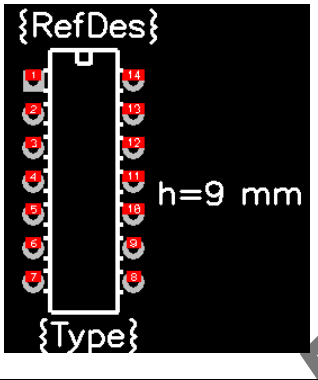
DD1 К561ТМ2 		

Рисунок 5.2 – Таблиця відповідності для елементів друкованого вузла

Така таблиця відповідності дозволяє більш наочно бачити зв'язок між результатом роботи в системі автоматизованого проектування та фактичним ЕРЕ.

5.5 Створення компонентів в Library Executive

У відповідному додатку середовища P-CAD на основі умовних графічних зображень додатку Symbol Editor, креслень елементів друкованого вузла в Pattern Editor та описових файлів «datasheet» створюються компоненти пристрою (рис. 5.3).

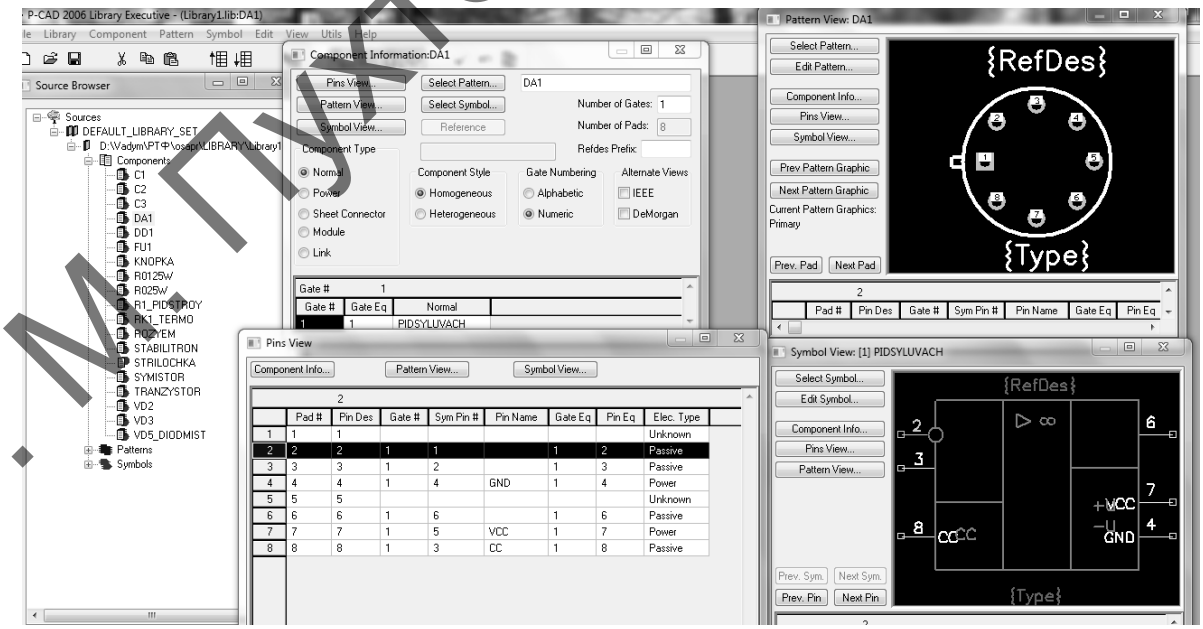


Рисунок 5.3 — Приклад створення компоненту в додатку Library Executive

В. М. Пилтер, КВРА 2015

Особливу увагу треба приділити відповідності виводів символу та патерну елементу та їх функціональному значенню — це є головною основою для подальшого проектування друкованого вузла.

5.6 Створення електричної принципової схеми

В редакторі P-CAD Schematic створюється схема електрична принципова із заздалегідь підготовлених елементів. На рис. 5.4 показаний фрагмент такої схеми, розроблений в додатку Schematic.

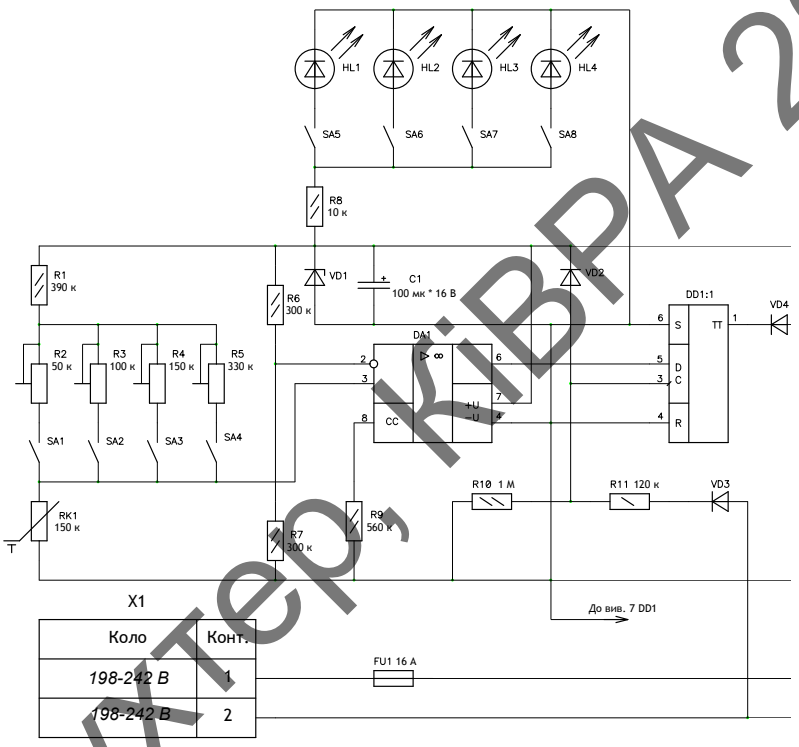


Рисунок 5.4 — Фрагмент схеми електричної принципової з P-CAD

Важливою також є функція вищеподаного додатку «Generate Netlist…», яка дозволяє створити файл зв'язків між виводами EPE, що слугуватиме в подальшій роботі базисом для фінішного етапу розробки друкованого вузла.

5.7 Визначення габаритів друкованої плати та параметрів друкованого монтажу

Згідно з рекомендаціями відповідного навчального курсу розраховуємо необхідну площу ДП за формулою:

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

$$S = 1 \cdot S_{МГ} + 1,5 \cdot S_{СГ} + 2,5 \cdot S_{ВГ} \quad (5.2)$$

де $S_{МГ}$ – площа, зайнята малогабаритними деталями;

$S_{СГ}$ – площа, зайнята середньогабаритними деталями;

$S_{ВГ}$ – площа, зайнята великогабаритними деталями.

Таблиця 5.2 — Площі елементів на платі

Компонент	**Кількість**	**L**	**B**	**П**
R 0,125 Вт	9	7,2	1,5	97,2
R 0,25 Вт	2	10	2,3	46
R підстроюваний	4	6	6	144
КС191Ц	1	9,4	3	28,2
C2 2,2nF 50V NP0 J	1	3	3	9
Сума площ малогабаритних елементів				**324,4**
ММТ-4а 150 кОм	1	36	4	144
FU1 16 A	1	25	6,5	162,5
К140УД12	1	10	10	100
К561ТМ2	1	20	8	160
C1 100uF 16V ECR	1	11	5	55
КД521А	2	7,8	1,9	29,64
КД209А	1	9,5	3,2	30,4
КТ605А	1	11,7	11,7	136,89
КЦ407А	1	12	7,5	90
Сума площ середньогабаритних елементів				**908,43**
C3 К73-17, 0.15 мкФ, 630 В	1	23	8,5	195,5
КУ208Г	1	120	65	7800
Сума площ крупногабаритних елементів				**7995,5**

За даними таблиці 5.2 та за формулою (5.2) S = 21676 мм^2. Оптимальний розмір ДП в цьому випадку можна прийняти 120×160 мм.

5.8 Розрахунок ширини друкованих провідників

На підставі спеціально підготовленого шаблону та за рекомендаціями відповідного навчального курсу можна виконати розрахунок ширини доріжок друкованої плати за допомогою програмного середовища MathCad (рис. 5.5, 5.6, 5.7).

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

Також враховуємо наявність силових ліній високого струму на поверхні ДП, а отже товщину фольги заздалегідь обираємо рівною 100 мкм.

Розрахунок ширини друкованих провідників

Для сигнальних:

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у вузькому місці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD1 := 0.45$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tно1 := 0.10$

$tminD1 + \Delta tно1 = 0.55$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 3, для завдань звичайної складності - клас точності 2.

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше)- $tminD2 := 0.6$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tно2 := 0.10$

$tminD2 + \Delta tно2 = 0.7$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 2, для завдань звичайної складності - клас точності 1.

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм2/м)- $\rho 1 := 0.0175$

Довжина провідника (м)- $l1 := 0.08$

Товщина фольги (мм)- $h1 := 100 \cdot 10^{-3}$

Прикладена напруга (В)- $Uжив1 := 5$

Максимальний струм (А)- $Imax1 := 0.1$

$$\frac{l1 \cdot Imax1 \cdot \rho 1}{h1 \cdot Uжив1 \cdot 0.03} = 9.333 \text{ мм}^{-3}$$

ПРИМІТКА: Прикладена напруга і максимальний струм визначаються за схемою електричною принциповою та DataSheet на корпус. Довжина провідника обирається згідно довжини з'єднання в файлі pcb3.pcb.

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (А)- $Imax2 := 0.1$

Товщина фольги (мм)- $h2 := 100 \cdot 10^{-3}$

Допустима щільність струму в провіднику(А/мм^2)- $j2 := 20$

$$\frac{Imax2}{h2 \cdot j2} = 0.05 \text{ мм}$$

Ст – 1

Рисунок 5.5 — Розрахунок ширини сигнального провідника в MathCad

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

Для силових:

Мінімальнезначенняширинидрукованогопровідника t1 увузькомумісці, мм:

Вибираємо за класом точності- $tminD3 := 0.45$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tно3 := 0.10$

$tminD3 + \Delta tно3 = 0.55$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 3, для завдань звичайної складності - клас точності 2.

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t1 у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше)- $tminD4 := 0.6$

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta tно4 := 0.10$

$tminD4 + \Delta tно4 = 0.7$

ПРИМІТКА: Для завдань підвищеної складності - клас точності 2, для завдань звичайної складності - клас точності 1.

Мінімально допустиму ширину провідника t2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників (Ом*мм2/м)- $\rho 2 := 0.0175$

Довжина провідника (м)- $l2 := 0.08$

Товщина фольги (мм)- $h2 := 100 \cdot 10^{-3}$

Прикладена напруга (В)- $Uжив2 := 220$

Максимальний струм (А)- $Imax2 := 16$

$$\frac{l2 \cdot Imax2 \cdot \rho 2}{h2 \cdot Uжив2 \cdot 0.03} = 0.034 \quad мм$$

ПРИМІТКА: Прикладена напруга і максимальний струм визначаються за схемою електричною принциповою та DataSheet на корпус. Довжина провідника обирається згідно довжини з'єднання в файлі pcb3.pcb.

Мінімально допустиму ширину провідника t3 з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (мА)- $Imax3 := 16$

Товщина фольги (мм)- $h3 := 100 \cdot 10^{-3}$

Допустима щільність струму в провіднику(А/мм^2)- $j3 := 20$

$$\frac{Imax3}{h3 \cdot j3} = 8 \quad мм$$

Ст – 2

Рисунок 5.6 — Розрахунок ширини силового провідника в MathCad

В. М. Пухтер. КІВРА 2015

З розрахованих даних обираємо ширину провідників у вузькому та широкому місці, при цьому повинна виконуватись умова:

Для силових:

$tmin_v \geq \begin{vmatrix} t1 \\ t2 \\ t3 \end{vmatrix}$ у вузькому місці

$tmin_w \geq \begin{vmatrix} t1 \\ t2 \\ t3 \end{vmatrix}$ у широкому місці

$tmin_v := 8$

$tmin_w := 8$

Для сигнальних:

$tmin_v \geq \begin{vmatrix} t1 \\ t2 \\ t3 \end{vmatrix}$ у вузькому місці

$tmin_w \geq \begin{vmatrix} t1 \\ t2 \\ t3 \end{vmatrix}$

$tmin_v := 0.55$

$tmin_w := 0.7$

Рисунок 5.7 — Розрахунок мінмальної ширини провідників в MathCad

За тим же принципом знаходимо інші характеристики ДП (рис. 5.8).

Розрахунок зазорів S між елементами друкованого монтажу:

Найменша номінальна відстань Sm між елементами провідникового рисунку (між двома провідниками)

Мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами- $Sm := 0.25$

Допуск на ширину провідника (верхнє відхилення) $\Delta тво := 0.15$

$Sm + \Delta тво = 0.4$

Рисунок 5.8 — Розрахунок зазорів між елементами в MathCad

Виконання таких операцій за шаблонним файлом в додатку MathCad спрощує роботу над проектом, але потребує ретельного вивчення системи одиниць введення в формули. Тільки за допомогою громіcткого ручного налаштування по кожній формулі шаблонного файлу MathCad виключається можливість помилок в проектних розрахунках.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

5.9 Заміна діодного мосту

Через велике значення ширини силових доріжок, що підходять до ЕРЕ під високим струмом використання діодного мосту створює загрозу пробою. Врахувавши таку особливість пристрою потрібно замінити одноелементний діодний міст на відповідну сукупність з 4-х діодів N4007. Побудована таким чином ділянка схеми електричної принципової відображена на рис. 5.9.

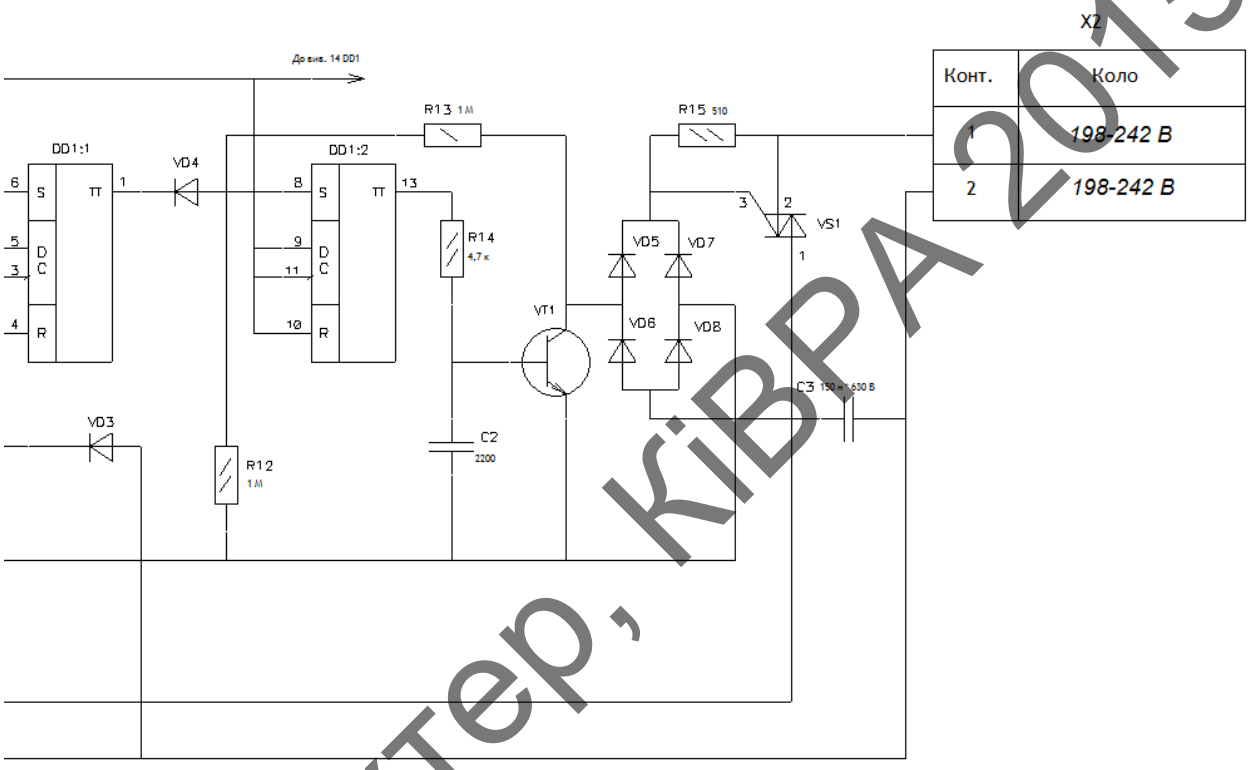


Рисунок 5.9 — Частина схеми з діодним мостом

Для замінених ЕРЕ проводяться всі попередні операції: прорахунок діаметрів отворів на ДП, контактних майданчиків, створення компоненту в P-CAD та ін. Вплив на загальну площу ДП від такої заміни не є суттєвим, а значить не потребує додаткових розрахунків.

5.10 Вибір відстані від краю плати до елементів

Відстань від краю друкованої плати до елементів друкованого малюнку обираємо рівну товщині плати, а саме 1,5 мм. Защемлена сторона має додат-

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

ково бути вільною ще на 5 мм, тобто, загалом, відступ від краю защемленої сторони ДП буде 6,5 мм.

5.11 Загальний вигляд друкованої плати

Вигляд ДП представлено на рис. 5.10.

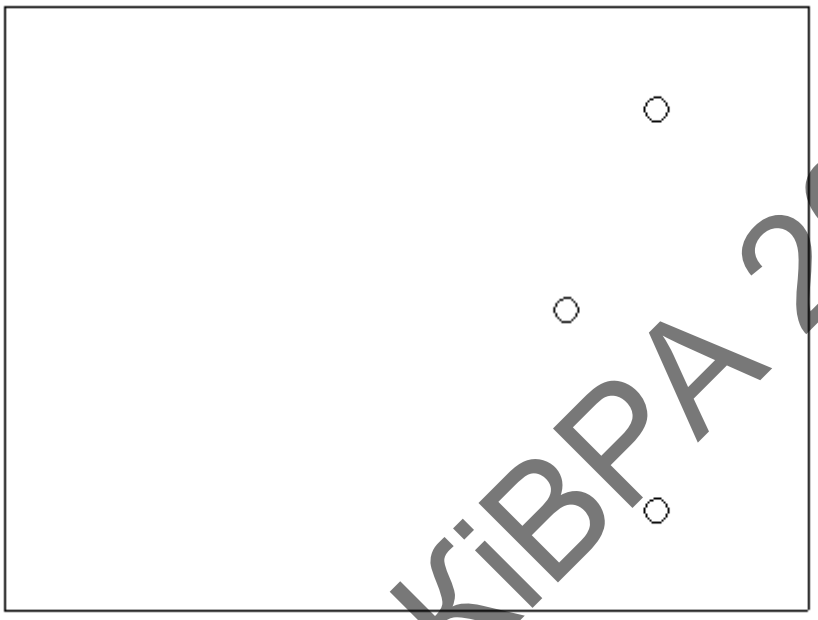


Рисунок 5.10 — Геометрія друкованої плати

Маючи наочно загальний вигляд ДП, можна проектувати розстановку ЕРЕ та промальовувати з'єднувальні доріжки. Також, наявність окремого файлу з кресленням ДП в середовищі P-CAD PCB, обов'язкове для подальшої прив'язки ЕРЕ та з'єднань через допоміжний файл відповідності.

5.12 Створення допоміжного файлу з'єднань

З метою виключення можливих помилок генерації файлу з'єднань додатку P-CAD Schematic, окремо, вручну набирається допоміжний файл з'єднань ЕРЕ (ALT-файл) — додаток Б. В ньому прописані всі основні дані для створення друкованого вузла. Попередньо мають бути визначені і пронумеровані (названі) всі окремі ланцюги схеми.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

5.13 Розстановка елементів та з'єднань на платі

Найскладнішим і найтрудоємнішим етапом розробки друкованого вузла є розстановка ЕРЕ на ДП в програмі P-CAD PCB та їх з'єднання відповідно до схеми електричної принципової та до розрахованих даних. Результат такої роботи наведено на рис. 5.11.

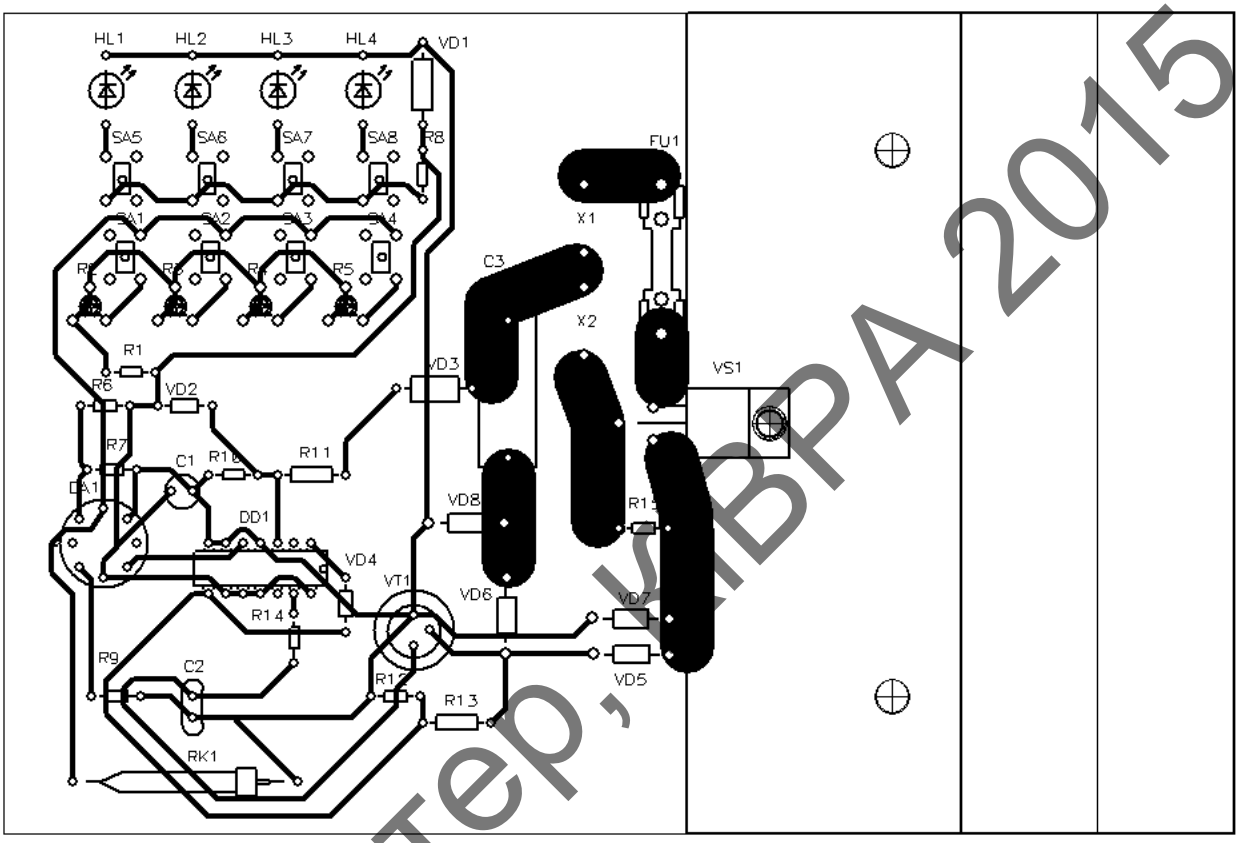


Рисунок 5.11 — Друкована плата з елементами та з'єднаннями

Обравши орієнтацію на дешевизну конструкції, потрібно максимально знизити собівартість виробництва необхідних компонентів приладу, а тому використання двосторонніх або багатошарових ДП не є прийнятним для даного проекту. Це створює відповідні проблеми в розстановці ЕРЕ та проведенні відповідних провідникових доріжок між ними за схемою, але, зрештою, оптимальний варіант може бути знайдено.

З метою запобігання пробою силові доріжки високого струму максимально відокремленні від сигнальних доріжок та силових доріжок низьких струмів, а також максимально розведені одна від одної.

В.М. Пухтер, КВРА 2015

6 РОЗРАХУНОК ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

6.1 Розрахунок вібромiцності друкованого вузла

Одним з важливих етапів проектування електронного апарату є розрахунок вібромiцності друкованого вузла згідно з методичними вказівками [14].

6.1.1 Розрахунок частоти власних коливань друкованої плати

Вихідними даними для розрахунку є:

- габарити плати 160×120 мм;
- матеріал плати СФ-2-35;
- товщина плати 1,5 мм.

Матеріал друкованої плати — двосторонній фольгований склотекстоліт СФ-2-35 з параметрами:

- модуль пружності $E = 3{,}02 \cdot 10^{10}\ Н/м^2$;
- густина $\rho = 2{,}05 \cdot 10^3\ кг/м^3$;
- коефіцієнт Пуассона $\xi = 0{,}22$.

Маса встановлених на платі елементів: М = 0,3 кг

Формула знаходження власної частоти ДП виглядає наступним чином:

$$\omega_B = \frac{\varphi(\beta)}{a^2} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}} \qquad (6.1)$$

де $\varphi(\beta)$ — функція габаритів ДП та її закріплення;

a — довжина довшої сторони ДП;

D — циліндрична жорсткість;

m — зведена маса.

Згідно з таблицею функцій методичних вказівок [14] відповідно до способу кріплення плати, для подальших розрахунків приймаємо наступну функцію:

$$\varphi(\beta) = 9{,}87 \cdot \sqrt{1 + 2{,}57 \cdot \beta^2 + 5{,}14 \cdot \beta^4}$$

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

де β — відношення габаритів ДП $\frac{a}{b}$.

Оскільки фізично кріплення ДП відбувається не з самих країв, а на відстані 68 мм з одного боку та 5 мм — з іншого (защемлення виступами корпусу на 5 мм по всій ширині), то фактично потрібно розглядати дану ДП з точки зору вібрацій лише як маючу розміри 87×120 мм (160–68–5=87). Відповідно, стороні з розміром 120 мм в розрахунках вібрацій треба присвоїти значення довжини, тобто розглядати її як параметр a, незважаючи на те, що в глобальному розгляді вона є шириною, а не довжиною.

Отже, маємо

$$\varphi(\beta) \approx 48,9$$

Далі знаходиться циліндрична жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \xi^2)}$$

де E — модуль пружності;

ξ — коефіцієнт Пуассона;

h — товщина ДП.

$$D \approx 8,93 \text{ (Н·м)}$$

Приймаємо навантаження ЕРЕ на ДП як рівномірно розподілене, а тому можна вважати, що зведена маса дорівнює:

$$m = m_П + m_E$$

де $m_П$ — зведена маса самої плати;

m_E — зведена маса всіх елементів.

Тоді:

$$m_n = \rho h = 2,05 \cdot 10^3 \cdot 0,0015 = 3,1 кг/м^2$$

де ρ — густина склотекстоліту вказаної марки;

h — товщина ДП.

Зведену масу елементів рахуємо до площі ДП, що вактично приймає участь у вібраційних навантаженнях, тобто:

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

$$m_E = \frac{0,3}{0,087 \cdot 0,12} \approx 28,7 \text{ (кг/м}^2\text{)}$$

Звідси загальна зведена маса:

$$m = 31,8$$

Повернувшись до формули (6.1), маємо:

$$\omega_B = \frac{48,9}{0,12^2} \cdot \sqrt{\frac{8,93}{31,8}} \approx 1800 \text{ (рад/с)}$$

$$f_B = \frac{\omega_B}{2\pi} \approx 286,5 \text{ (Гц).}$$

Висновок: так як резонансна частота плати більш ніж в 3 рази перевищує максимальну частоту вібраційних впливів (80 Гц) , то обраний варіант кріплення плати влаштовує вимоги віброміцності.

6.1.2 Перевірка вібростійкості плати

Вібростійкість плати перевіряється за такою формулою:

$$\sigma = \frac{3 \cdot M \cdot g \cdot \eta \cdot n_n \cdot a}{b \cdot h} \qquad (6.2)$$

де M — маса встановлених на платі ЕРЕ, M = 0,3 кг;

g — прискорення вільного падіння, g = 9,81 м/с^2;

η — коефіцієнт передачі;

n_n — коефіцієнт вібраційного перевантаження, $n_n = 2$;

a, b, h — габаритні розміри плати;

$[\sigma_n]$ — допустима напруга при розрахунку плати на міцність.

Коефіцієнт передачі η визначимо за формулою [15]:

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{f_\Gamma}{f_B})^2 + \left(\frac{\delta}{\pi} \cdot \frac{f_\Gamma}{f_B}\right)^2}} \qquad (6.3)$$

де δ — логарифмічний декремент затухання;

f_Γ — граничне значення вібраційного діапазону частот, f_Γ=120 (Гц);

f_B — власна частота плати, f_B= 286,5 (Гц).

В. М. Пухтер, КВРА 2015

$$\delta = \frac{\pi}{\sqrt{f_B}} \approx 0{,}19$$

З формули (6.3) маємо:

$$\eta \approx 1{,}71$$

Допустима напруга при розрахунку плати на міцність

$$[\sigma_n] = \frac{\sigma_{пред}}{n}$$

де $\sigma_{пред}$ — граничне значення механічних напруг;

n — запас міцності.

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$$

де n_1 — коефіцієнт достовірності визначення розрахункових навантажень та напруг, n_1=2;

n_2 — коефіцієнт, який враховує ступінь відповідальності деталі, обумовлюючий вимоги до надійності, n_2=1,3;

n_3 — коефіцієнт, який враховує однорідність механічних властивостей матеріалів, n_3=1,6.

$$\sigma_{пред} = 0{,}3 \cdot \sigma_B$$

де σ_B — межа міцності склотекстоліту, $\sigma_B = 130 \cdot 10^6$ (Н/м^2);

$$n = 2 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}6 = 4{,}2$$

$$\sigma_{пред} = 0{,}3 \cdot 130 \cdot 10^6 = 39 \cdot 10^6 \ (\text{Н/м}^2)$$

$$[\sigma_m] = \frac{39 \cdot 10^6}{4{,}2} = 9{,}3 \cdot 10^6 \ (\text{Н/м}^2)$$

Підставивши значення в (6.2):

$$\sigma = \frac{3 \cdot 0{,}3 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}71 \cdot 2 \cdot 0{,}12}{0{,}087 \cdot 0{,}0015} \approx 28 \cdot 10^3 \ (\text{Па})$$

З приведених розрахунків видно, що умова вібростійкості виконується, тобто $\sigma < [\sigma_n]$ (28 кПа < 9,3 МПа). Отже, плата витримає напруги, виникаючі при транспортуванні.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

6.2 Розрахунок надійності за раптовими відмовами

Терморегулятор, який розробляється в даному проекті, відноситься до побутової стаціонарної апаратури і у випадку відмови роботи він підлягає відновленню. Виходячи з цієї вимоги, проектований терморегулятор відноситься до відновлюваної апаратури, а тому розрахунок надійності за раптовими відмовами для друкованого вузла потрібно проводити згідно методики [16] в відповідності до ГОСТ 27.002-87 за наступними показниками:

$P_в(t)$ — ймовірність відновлення виробу у заданий час t;

$T_в(t)$ — середній час відновлення виробу;

λ_0 — параметр потоку відмов виробу;

$P(t)$ — ймовірність безвідмовної роботи виробу;

T_0 — середній час напрацювання на відмову.

Розрахунок коефіцієнту k_λ, який враховує умови експлуатації РЕА, проводиться за формулою:

$$k_\lambda = k_{\lambda 1} \cdot k_{\lambda 2} \cdot k_{\lambda 3} = 1{,}07 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}1 = 2{,}94$$

де $k_{\lambda 1} = 1{,}07$ — коефіцієнт, який враховує вплив механічних факторів (при вібрації, при ударних взаємодіях, сумарних взаємодіях — вібрації і ударах);

$k_{\lambda 2} = 2{,}5$ — коефіцієнт, який враховує вплив кліматичних факторів (температура, вологість — враховано випадок максимального впливу);

$k_{\lambda 3} = 1{,}1$ — коефіцієнт, який враховує умови роботи за зниженого атмосферного тиску, на висоті роботи над рівнем моря до 3 км.

Далі потрібен розрахунок інтенсивності відмов елементів і-тої рівно надійної групи при експлуатації в заданих умовах за формулою:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot k_H$$

де λ_{0i} — інтенсивність відмов елементів *i*-тої рівно надійної групи при експлуатації в номінальному режимі;

k_H — коефіцієнт навантаження.

В. М. Пухтер. КІВРА 2015

Коефіцієнт навантаження може бути знайдений з відношення робочої напруг ЕРЕ до номінальної або такого самого відношення потужностей:

$$k_{HU} = \frac{U_{РОБ}}{U_{НОМ}} \text{ або } k_{HP} = \frac{P_{РОБ}}{P_{НОМ}}$$

Розрахунок результатів занесено до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 — Результати розрахунку надійності

№	Схемне позначення	Тип	N_i	k_H	λ_{0i}	λ_i	$\lambda_i \cdot N_i$	τ_i	$\lambda_i \cdot N_i \cdot \tau_i$
1	R2—R5	SF065	4	0,5	0,5	0,25	1	1	1
2	R1, R6—R10, R12, R14—R15	МЛТ 0,125 Вт	9	0,6	0,5	0,3	2,7	1	2,7
3	R11, R13	МЛТ 0,25 Вт	2	0,7	0,6	0,42	0,84	1	0,84
4	RK1	ММТ-4а	1	0,1	0,15	0,015	0,015	0,7	0,0105
5	VD1	КС191Ц	1	0,6	0,6	0,36	0,36	0,7	0,252
6	DA1	К140УД12	1	0,4	0,15	0,06	0,06	0,7	0,042
7	C1	ECR101M16B	1	0,6	0,6	0,36	0,36	0,7	0,252
8	DD1	К561ТМ2	1	0,3	0,15	0,045	0,045	0,7	0,0315
9	VD2, VD4	КД521А	2	0,5	0,15	0,075	0,15	0,7	0,105
10	VD3	КД209А	1	0,5	0,6	0,3	0,3	0,7	0,21
11	C2	R15N222J1HL2-L	1	0,2	0,8	0,16	0,16	0,9	0,144
12	VT1	КТ605А	1	0,6	0,8	0,48	0,48	0,9	0,432
13	VD5—VD8	N4007	4	0,7	0,9	0,63	2,52	0,9	2,268
14	VS1	BTA216-500B	1	0,6	0,08	0,048	0,048	1,3	0,0624
15	C3	К73-17	1	0,3	0,15	0,045	0,045	0,7	0,0315
16	FU1	50F-160H	1	0,5	0,6	0,3	0,3	0,7	0,21
17	SA1—SA8	SWT-2/17	4	0,5	0,8	0,4	1,6	0,9	1,44
18	HL1—HL4	GNL-10003UWC-TL	4	0,2	0,8	0,16	0,64	0,9	0,576
19	X1, X2	KLS1-AS-222-12	2	0,7	0,9	0,63	1,26	1	1,26
20	Пайка		118	1	0,01	0,01	1,18	0,6	0,708
21	Плата		1	0,8	0,1	0,08	0,08	1,5	0,12

Розрахунок параметру потоку відмов:

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \cdot N_i = 14{,}143 \times 10^{-6} \ {}^{1}\!/_{год}$$

де m — загальне число груп елементів;

λ_i — інтенсивність відмов елементів *i*-тої рівнонадійної групи за експлуатації в заданих умовах;

В. М. Пухтер, КВРА 2015

N_i — число елементів *i*-тої групи.

Розрахунок наробки на відмову, T_0:

$$T_0 = \frac{1}{k_\lambda \cdot \lambda_0} = \frac{1}{2{,}94 \cdot 14{,}143 \cdot 10^{-6}} \approx 24000 \text{ (год)}$$

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи за час t:

$$P(t) = \exp(-k_\lambda \cdot \lambda_0 \cdot t) = \exp(-2{,}94 \cdot 14{,}143 \cdot 10^{-6} \cdot 1000) \approx 0.96$$

де $t = 1000$ (для побутової апаратури).

Розрахунок часу відновлення працездатного стану проводимо за формулою:

$$T_B = K_{O3} \cdot \sum_{i=1}^{m} \frac{\lambda_i \cdot N_i \cdot \tau_i}{\lambda_0} = 2{,}3 \cdot \left(\frac{12{,}7 \cdot 10^{-6}}{14{,}143 \cdot 10^{-6}} \right) \approx 2{,}065 \text{ (год)}$$

де K_{O3}- коефіцієнт одночасної заміни елементів (для побутової РЕА $K_{O3} = 2{,}3$);

τ_i - середній час відновлення *i*-го елементу.

Далі потрібен розрахунок ймовірності відновлення роботи за час t:

$$P_в(t) = 1 - \exp(-\frac{t}{T_в}) = 1 - \exp(-\frac{2}{2{,}065}) \approx 1 - 0{,}38 = 0{,}62$$

де $t = 2$ год.

Коефіцієнт готовності:

$$K_Г = \frac{T_0}{T_0 + T_B} = \frac{24 \cdot 10^3}{24 \cdot 10^3 + 2{,}065} \approx 0{,}999914$$

Коефіцієнт оперативної готовності:

$$K_{OГ} = K_Г \cdot P(t) = 0{,}999914 \cdot 0{,}96 \approx 0{,}96$$

Аналіз результатів розрахунків показує, що напрацювання на відмову та середній час відновлення вузла плати даної конструкції є прийнятними для заданих умов експлуатації.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Питання, що опрацьовує даний розділ, важливі для забезпечення сприятливих умов праці людини, збереження її здоров'я та життя під час розробки та виробництва приладу. Отже, необхідно визначити небезпечні фактори та ступені небезпеки робочого місця, розробити заходи щодо захисту працівників від таких небезпечних факторів, вищими за припустимі межі.

7.1 Аналіз небезпечних факторів

До основних шкідливих і небезпечних факторів, які впливають на роботу людей, що займаються безпосереднім виробництвом РЕА, відноситься недостатня освітленість робочої зони — умови освітленості виробничих приміщень повинні відповідати нормам, зазначеним в ДБН В.2.5.28-2006 «Збірник 28. «Природне і штучне освітлення».

Також неприйняними є підвищені рівні електромагнітного і невикористовуваного рентгенівського випромінювань від електронно-променевих трубок моніторів — рівні випромінювань і полів мають відповідати ГОСТ 12.2.006-87. Важливо приділити увагу також небезпеці враження електричним струмом, незадовільним параметрам мікроклімату робочої зони — величини показників мікроклімату в виробничих приміщеннях мають відповідати нормам, зазначеним у ГОСТ 12.1.005-88 та ДСНіП 3.3.6.042-99. Недопустимий також вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин різного характеру впливу в концентраціях, що перевищують гранично допустимі — гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони повинна відповідати нормам, що прописані в ГОСТ 12.1.005-88 та ГОСТ 12.1.007-80. Підвищений рівень шуму на робочому місці так само є негативним фактором — припустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях варто приймати відповідно до ДСНіП 3.3.6.037-99. Контролю підлягає також підвищена напруженість електричного поля промислової частоти на робочому місці, яка

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.1.002-88. Вплив шкідливих факторів моніторів ПЕОМ (персональна електронно-обчислювальна машина) нормований ДСНіП 3.3.2.007-98.

7.2 Психофізіологічні фактори

Основні трудовитрати при виготовленні виробу — це розробка та налагодження програмного забезпечення. Приміщення, в якому знаходяться ПЕОМ, є робочою кімнатою лабораторії дослідницького інституту (рис. 7.1), яка умовно знаходиться на третьому поверсі будинку панельної конструкції. Вібрація в приміщенні відсутня, так само, як і шкідливі речовини. Склад повітряного середовища — в нормі. В робочій кімнаті також знаходиться монітор у складі ПЕОМ, офісні меблі. Покриття підлоги — лінолеум. Стіни заклеєно шпалерами. Габарити приміщення наступні:

– довжина 5,0 м;

– ширина 4,5 м;

– висота 2,6 м.

В лабораторії будуть знаходитись два інженери.

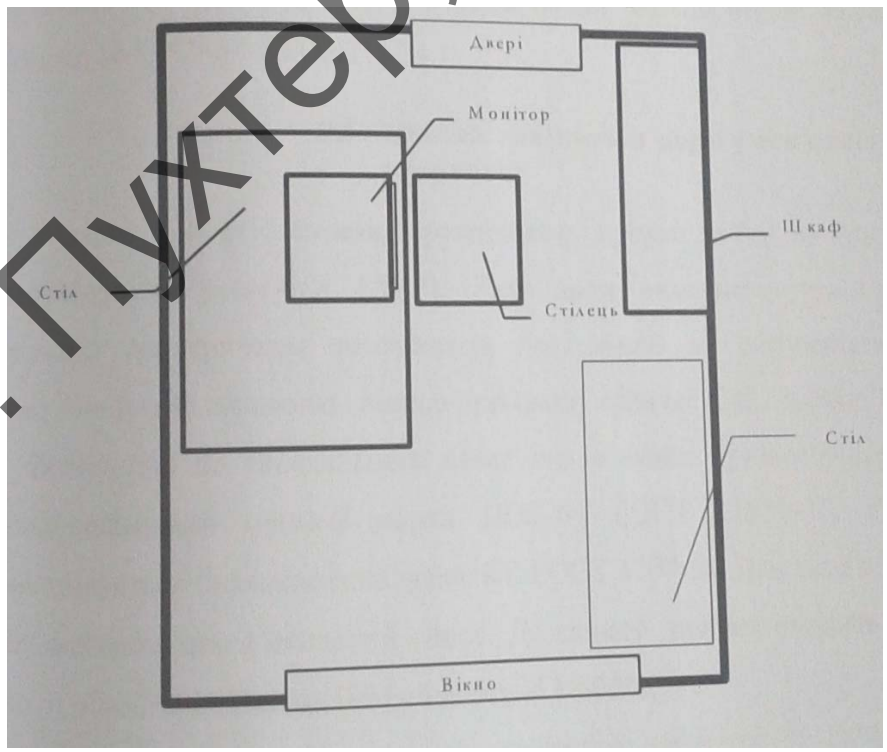


Рисунок 7.1 — Приміщення інженерів

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

Виходячи з даних габаритів приміщення, можна розрахувати площу

$$S = 5 \times 4,5 = 22,5 \ (м^2)$$

та об’єм приміщення

$$V = 22,5 \times 2,6 = 58,5 \ (м^3)$$

Площа та об’єм меблів не можуть бути враховані при розрахунку вільного робочого простору, тому потрібно їх розрахувати:

$$S_{меб.} \approx 4,9 \ (м^2)$$

$$V_{меб.} \approx 7,4 \ (м^3)$$

Виключаємо з отриманих величин площу та об’єм меблів і маємо:

$$S = 22,5\text{-}4,9 = 17,6 \ (м^2)$$

$$V = 58,5\text{-}7,4 = 51,1 \ (м^3)$$

На підставі проведених розрахунків можна співставити площу та об’єм приміщення в перерахунку на одну людину з нормативними показниками (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 — Площа й об’єм приміщення

Параметр	Норматив	Розраховані дані
Площа	не менше 6 кв. м	8,8 кв. м
Об’єм	не менше 15 куб. м	25,6 куб. м

Очевидно, що умови праці в даному приміщені задовольняють за площею та об’ємом в перерахунку на одну людину вимоги СН245-85 та ОНТП-24.

7.3 Оцінка санітарних норм умов праці в процесі паяння

У даній роботі також необхідно розглянути процес паяння на етапі дослідницько-конструкторської розробки. Використовуватиметься ручне паяння за допомогою електричного паяльника беззупинної дії потужністю 20–40 Вт. Питоме утворення аерозолю свинцю при цьому складатиме 0,02–0,04 мг/100 пайок.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

В якості припоя буде використовуватись олов'яно-свинцевий припой марки ПОС-61 ГОСТ 21931-76, а в якості флюсу — безкислотний флюс КЕ ГОСТ 1797-64. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

До складу припою ПОС-61 входить олово (Sn) у кількості 60–62% та свинець (Pb) у кількості 38–40%. Флюс складається з соснової каніфолі в кількості 15–28% та етилового спирту в кількості 72–85%.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1), відповідно його ГДК в повітрі робочої зони становить 0,01 мг/м^3. Олово, в свою чергу, є речовиною помірно небезпечною (клас 3) і його ГДК — 10 мг/м^3. Спирт етиловий є малонебезпечною речовиною (клас 4) — ГДК 1000 мг/м^3.

Концентрація аерозолю свинцю визначається за формулою:

$$З = \frac{0,6 \cdot y \cdot n \cdot t}{V}$$

де y — питоме утворення аерозолю свинцю;

n — кількість пайок у хвилину;

t — тривалість збірки виробу;

V — об'єм в перерахунку на одну людину.

Підставляючи прийнятні для даного розрахунку значення, можна отримати наступну величину:

$$З = \frac{0,6 \cdot 0,03 \cdot 5 \cdot 1}{25,6} \approx 0,0035 \ \text{(мг/м}^3\text{)}$$

Виходячи з розрахованої величини, можна стверджувати, що за даних умов технологічного процесу концентрація аерозолю свинцю в повітрі робочої зони не буде перевищувати ГДК 0,01 мг/м^3, а значить відсутня необхідність у вентиляції ділянок паяння.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

7.4 Мікроклімат

Задля аналізу мікроклімату приміщення, в якому знаходяться ПЕОМ, потрібно скористатися ГОСТ 12.1.005-88 та ДСНіП 3.3.6.042-99, що встановлюють такі параметри мікроклімату, як температура, вологість і рухливість повітря в залежності від тяжкості виконуваних робіт та пори року.

Роботу інженерів, що виконується в даному приміщенні, можна віднести до категорії 1а, тому як вона виконується сидячи і не вимагає фізичних зусиль. Енерговитрати організму людини за такого виду роботи складають до 120 ккал/год.

Джерелом теплового випромінювання є радіатор центрального опалення, що складається з семи секцій. Параметри мікроклімату підтримуються за допомогою систем кондиціонування та вентиляції.

7.5 Освітлення

Можливість людини орієнтуватися у просторі, здійснювати фізіологічні функції, виконувати різні види робіт залежить від виду і якості освітлення навколишнього середовища.

До освітлення ставляться певні гігієнічні вимоги. Освітлення повинно бути рівномірним і достатнім для швидкого й легкого розрізнення об’єктів, забезпечувати деяку контрастність між об’єктом і фоном. Джерело світла не повинно засліплювати людину і створювати відблисків на об’єкті, що розглядається.

Раціональне освітлення робочих місць і приміщень створює у працівників певний психологічний тонус, попереджує зорову і загальну втому, сприяє високопродуктивній праці. Недостатня освітленість робочих місць може бути непрямою причиною нещасних випадків на виробництві.

Відносно вікон робоче місце повинно бути розміщено так, щоб природне світло було збоку, переважно з лівого, та забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Робоче місце, обладнане ПК повинно бути розташоване так, щоб уникнути попадання в очі прямого світла. Джерела штуч-

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

ного світла рекомендується розташувати з обох сторін від екрану паралельно напрямку зору. Щоб уникнути світових блисків від екрану, клавіатури, освітлювальних пристроїв, сонця в напрямку очей необхідно застосовувати антиблискові сітки, спеціальні фільтри для екрану, захисні козирки, жалюзі на вікнах. Вікна приміщень повинні мати регулювальні пристрої для відкривання.

7.5.1 Оцінка природного освітлення

В даному приміщенні бічне однобічне природне освітлення — в кімнаті знаходиться одне вікно шириною 1,3 м та висотою 1,6 м. У ДБН В.2.5.28-2006 наведені нормовані значення коефіцієнтів природної освітленості для будівель, розташованих у III поясі світлового клімату. Для будівель, розташованих в I, II, IV і V поясах, ці значення коефіцієнтів визначаються за формулою:

$$e_H^{I,II,IV,V} = e_H^{III} \cdot m \cdot c$$

де e_H^{III} — ненормований коефіцієнт природної освітленості для даного виду зорових робіт (1,5% для даного виду робіт);

m — коефіцієнт світлового клімату;

c — коефіцієнт сонячності клімату .

Місто Київ розташоване в IV світловому поясі. Для IV поясу світлового клімату коефіцієнт світлового клімату m приймається 0,9.

Значення коефіцієнта сонячності клімату c залежить від орієнтації світлових прорізів щодо сторін горизонту (від азимута в градусах). За розташування світлових прорізів в зовнішніх стінах будівель цей коефіцієнт береться для трьох інтервалів азимута: c у IV поясі світлового клімату — 0,75; 0,8; 1,0 (північніше 50° північної широти) та 0,7; 0,75; 0,9 (50° північної широти та південніше). Відповідно, для заданих проектних умов можна прийняти коефіцієнт сонячності клімату рівним 0,7.

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

Отже, нормоване значення коефіцієнту природної освітленості:

$$e_H^{IV} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \approx 0,95$$

Далі знаходиться розрахункове значення коефіцієнту природного освітлення:

$$e = (\varepsilon \cdot q + \varepsilon_{відб.} \cdot R) \cdot r \cdot \frac{\tau}{k} \qquad (7.1)$$

де ε — коефіцієнт природного освітлення в розрахунковій точці за бічного освітлення, що враховує пряме світло неба;

q — коефіцієнт нерівномірної яскравості хмарного неба;

$\varepsilon_{відб.}$ — коефіцієнт природного освітлення в розрахунковій точці за бічного освітлення, що враховує світло, відбите від протилежної будівлі;

R — коефіцієнт, що враховує відносну яскравість протилежної будівлі (для типових оздоблень фасадних стін прийнятне значення близько 0,5);

r — коефіцієнт, що враховує збільшення природного освітлення завдяки світлу, відбитому від поверхонь приміщення (r =1,05 для світлих шпалер на стінах та побіленої стелі);

τ — загальний коефіцієнт світлопропускання;

k — коефіцієнт запасу (при вмісті в робочій зоні пилу понад 3 мг/м^3 рівний 1,2).

Далі визначається перша складова розрахунків:

$$\varepsilon = 0,01 \cdot n_1 \cdot n_2$$

де n_1 — кількість прямих променів з неба, що проходять через світлові прорізи до розрахункової точки на поперечному розрізі приміщення;

n_2 — кількість прямих променів з неба, що проходять через світлові прорізи до розрахункової точки на плані приміщення.

Але оскільки прямих променів з неба до робочої точки не поступає (рис. 7.2), то складова частина розрахунків ($\varepsilon \cdot q$) = 0. Тому далі знаходиться кое-

В.М. Пухтер. КІВРА 2015

фіцієнт природного освітлення в розрахунковій точці за бічного освітлення, що враховує світло, відбите від протилежної будівлі:

$$\varepsilon_{відб} = 0,01 \cdot n_{1відб} \cdot n_{2відб}$$

де $n_{1відб}$ — кількість відбитих від протилежної будівлі променів з неба, що проходять через світлові прорізи до розрахункової точки на поперечному розрізі приміщення (дорівнює 12);

$n_{2відб}$ — кількість відбитих від протилежної будівлі променів з неба, що проходять через світлові прорізи до розрахункової точки на плані приміщення (дорівнює 16).

Отже маємо таке значення:

$$\varepsilon_{відб} = 1,92$$

Рисунок 7.2 — Промені світла, що йдуть до розрахункової точки

Тепер знаходиться загальний коефіцієнт світлопропускання:

$$\tau = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5$$

де τ_1 — коефіцієнт світлопропускання засклення — 0,8;

τ_2 — коефіцієнт втрат світлового проєму — 0,75;

τ_3 — коефіцієнт втрат світла в несучих конструкціях — 1 (втрати відсутні);

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

τ_4 — коефіцієнт втрат світла в сонцезахисних пристроях — 1 (втрати відсутні);

τ_5 — коефіцієнт втрат світла в захисній сітці — 1 (втрати відсутні).

Отже:

$$\tau = 0,8 \cdot 0,75 = 0,6$$

Тепер із загальної формули (7.1) можна отримати значення коефіцієнту природного освітлення:

$$e = (0 + 1,92 \cdot 0,5) \cdot 1,05 \cdot \frac{0,6}{1,2} \approx 0,5$$

Звідси можна зробити висновок, що нормоване значення коефіцієнту природного освітлення майже в 2 рази вище за фактичне, а значить самого природного освітлення буде недостатньо. В такому випадку в денний час доби використвоуються додаткові джерела освітлення.

Для освітлення приміщень в темний час доби використовуються джерела штучного світла.

7.5.2 Оцінка штучного освітлення

В розглянутому приміщенні використовується система загального рівномірного освітлення. Як джерело світла використовуються люмінесцентні лампи низького тиску ЛБ60 в кількості 6 штук, розміщені в трьох світильниках Л201-2×80-02, розташованих на стелі в 1 ряд.

Для визначення освітленості можна застосувати метод коефіцієнта використання свілового потоку:

$$E = \frac{N \cdot \Phi_C \cdot \eta}{S \cdot k_з \cdot Z}$$

де N — кількість світильників;

Φ_C — світловий потік світильника (3×2700=8100 лм);

η — коефіцієнт використання світлового потоку (0,5 для даних забарвлень стелі, стін та підлоги);

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

S — площа приміщення (22,5 м^2);

$k_З$ — коефіцієнт запасу (1,5 для даного типу ламп та приміщення);

Z — коефіцієнт нерівномірності освітлення (1,1).

Отже:

$$E = \frac{3 \cdot 8100 \cdot 0,5}{22,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1} \approx 327 \text{ (лк)}$$

Отриманий результат розрахунку дозволяє порівняти число з нормою для заданих умов:

- середній контраст об'єкту розрізнення;
- середній фон;
- розряд зорової роботи — 3в;
- робота високої точності.

Для таких умов праці норма загального освітлення робочих місць має бути не менше 300 лк. Отримане шляхом розрахунків значення цілком відповідає нормованому, а отже виконується ДБН В.2.5.28-2006.

7.5.3 Місцеве освітлення

На робочому місці комбіноване освітлення повинно забезпечити освітленість Е=750 лк. Загальне освітлення забезпечує 327 лк, відповідно, місцеве освітлення повинно дорівнювати 750-327= 423 лк. Попередньо прийнятним можна вважати використання джерела місцевого освітлення Л201-2×80-02. Перевірка прийнятності такого джерела світла для заданих умов виконується за формулою освітленості джерела місцевого світла:

$$E = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_Л \cdot L \cdot \mu \cdot \Psi}{1000 \cdot k_з}$$

де N — кількість світильників (тут — 1);

n — кількість ламп у світильнику (тут — 2);

Φ_L — світловий потік лампи (3660 лм);

L — умовна освітленість за графіком;

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

μ — коефіцієнт збільшення освітленості від навколишніх предметів (тут — 1,2);

Ψ — коефіцієнт куту нахилу робочої площини (тут — 1);

k_3 — коефіцієнт запасу (тут — 1,5).

Отже:

$$E = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3660 \cdot 100 \cdot 1,2 \cdot 1}{1000 \cdot 1,5} = 585,6 \text{ (лк)}$$

Оскільки розраховане значення освітленості джерела місцевого світла 586 лк більше за мінімально необхідне для заданих умов 434 лк, то обране джерело Л201-2×80-02 забезпечить необхідні умови праці в заданих умовах.

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

ВИСНОВКИ

Найголовніші етапи проектування терморегулятору були проведені. Результат цієї роботи дозволить створити прилад, що може використовуватись в посякденному житті, покращить рівень комфорту суспільства, підвищить рівень енергозбереження, покращить економічний стан кожного окремого домогосподарства та держави вцілому.

Готовий прилад має габарити 250×130×50 мм, а значить не є громістким і придатний для зручного настінного монтажу — це задовольняє вимоги технічного завдання. Так само виконані умови з потужності навантаження, яким керує терморегулятор, та інші важливі параметри технічного завдання. Прилад має керувальну панель, що складається з 4-х кнопок вибору температури приміщення та світлодіодів, що підсвічують відокремлений прозорий елемент корпусу з числовою позначкою відповідної температури — така структура приладу є достатньо ергономічною та зручною для спостереження індикації режиму.

Виконання даного проекту, порівняно нескладного з технологічної точки зору, також призвело до виявлення безлічі невідповідностей реаліям сучасних розробок і конкурентноспроможного виробництва. До роботи з відповідним проектом, працюючи безпосередньо з виробниками різноманітних товарів, було помічено, що більшість промисловості, яка сьогодні існує в нашій державі, працює лише в тих напрямках, де ще не прийняті відповідні стандарти (нові чи міжгалузеві розробки), або, де можливо працювати лише за технічними умовами, або, де можливо отримати дозволи за якоюсь альтернативною (частіше за все, корупційною) схемою.

На прикладі нинішнього стрімкого розвитку нанотехнологічного виробництва високоякісної апаратури загального вжитку можна переконатися, що наші галузеві стандарти не просто не сприяють досягненню рівня високорозвинених країн, а й максимально гальмують його. По суті, заведення дослідно-конструкторської роботи в жорсткі нормативні межі зручне лише для бюрократичного апарату, контролюючих орагнів і розвитку корупції дозвільних

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

установ, а не для розробників, виробників, підприємців, інвесторів та економіки держави загалом і, як наслідок, добробуту народу вцілому.

Повна відповідність нормам і правилам, а також жорстка стандартизація і контроль прийнятні лише для застарілої моделі промисловості і фактично зводять нанівець будь-які розробницькі починання. В свою чергу, постіндустріальна модель промисловості передбачає максимальну свободу дій розробника, окрім прямої загрози життю та здоров'ю людини чи навколишньому середовищу. Доказом цього висновку може бути пристрій, який є майже в кожного мешканця нашої країни (в тому числі й у працівників Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики), але розробка й вивід у виробництво якого ніколи б не пройшли всі кордони вітчизняного бюрократичного апарату — це апарат стільникового зв'язку або «мобільний телефон». В найкращих сучасних мобільних телефонах майже повністю порушені всі вітчизняні норми НВЧ-ланцюгів та антенно-фідерних систем, не кажучи вже про виконання плати з текстоліту для діелектричних втрат на частотах 900 та 1800 МГц.

З іншого ж боку, такою самою перепоною під час роботи розробника стає потреба в «автоматизації» проектування, яка без повного переходу всіх суміжних галузей на єдину систему автоматизованого проектування та виробництва навпаки збільшує час процесу розробки. Адже більшість можливостей, які надає, наприклад програмне середовище P-CAD, по-суті, вирішують лише ті проблеми розробника, які створені самим процесом проектування в P-CAD. Наприклад, креслення символів, креслення патернів, поєднання в компоненти — це найбільш трудоємні для розробника процеси, які практично можуть бути зведені до супроводження кожного компонента вже готовим файловим рішенням від виробника елементної бази, на кшталт описової частини радіоелементів у вигляді "datasheet".

Водночас, програмне середовище для автоматизованого проектування потребує придбання, встановлення, налагодження, налаштування окремих параметрів, обслуговування, роботи в вузьких програмних межах, а також переробки всіх результатів діяльності зі стандартів даного програмного сере-

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

довища до чинних стандартів проектної документації. Витрачені таким чином час та зусилля відповідають, а іноді й перевищують за трудоємністю ручне проектування. Відповідно, автоматизоване проектування можна вважати лише альтернативою ручному, але ніяк не цілковитим вдосконаленням. Також можна прийняти автоматизовані засоби проектування як перехідні між ручними та автоматичними, за якими, вочевидь, і є майбутнє.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пухтер В. М. Отчёт о прохождении производственной практики на ДП Гальванотехника ОАО Киевский завод РАДАР по теме: Автоматизация производства печатных плат / В. М. Пухтер — К.: НТУУ КПІ, 2006. — 19 с.

2. ДБН В.2.2-15-2005 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення : Чинні від 01.01.2006 р. — К.: Державний комітет України будівництва та архітектури, 2005. — 36 с.

3. http://uk.wikipedia.org/wiki/Умови_експлуатації.

4. http://uk.wikipedia.org/wiki/Точка_роси.

5. http://o-mega.com.ua — інтернет-крамниця Омега.

6. http://prom.ua — торгівельний інтернет-портал Prom.ua.

7. Приймак Д. Миниатюрный регулятор мощности для паяльника // Радио. — 1985. — № 7. — С. 48.

8. Лукашенко С. Регулятор мощности, не создающий помех // Радио. — 1987. — № 12. — С. 22–23.

9. Нечаєв І. Простой регулятор, не создающий помех // Радио. — 1991. — № 2. — С. 67–68.

10. Бірюков С. Симисторные регуляторы мощности // Радио. — 1996. — № 1. — С. 43–46.

11. Бірюков С. Симисторний термостабилизатор // Радио. — 1998. — № 1. — С. 50–51.

12. Гаврилов К. Терморегулятор на двух микросхемах // Радио. — 2014. — № 6. — С. 40–41.

13. http://www.rcscomponents.kiev.ua — інтернет-крамниця Радіомаг.

14. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування / Б. М. Уваров — К.: НТУУ КПІ, 1998. — 38 с.

15. https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент_динамичности

16. Единые методические указания по курсовому проектированию «Расчёты, подтверждающие работоспособность» / Ю.Ф. Зіньковський, В. П. Гондюл, В. І. Домнич — К.: НТУУ КПІ, 2001. — 36 с.

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

ДОДАТКИ

Додаток А — Технічне завдання

Додаток Б — Описовий ALT-файл

Додаток В — Варіанти підключення терморегулятору

Додаток Г — Складальний кресленик друкованого вузла

Додаток Ґ — Специфікація

Додаток Д — Схема електрична принципова

Додаток Е — Перелік елементів

Додаток Є — Креслення друкованої плати

Додаток Ж — Відомість дипломного проекту

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

ПОГОДЖЕНО

керівник (заступник керівника)
організації-споживача

_____ _____
(підпис) (розшифровка підпису)

М.П. _____
(дата)

ЗАТВЕРДЖЕНО

керівник (заступник керівника)
організації-замовника

_____ _____
(підпис) (розшифровка підпису)

М.П. _____
(дата)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКУ РОБОТУ

Терморегулятор

(назва ДКР)

РБ11.468182.001

(шифр, індекс, номер державної реєстрації ДКР)

В. М. Пухтер, КВРА 2015

1. Назва ДКР, шифр і підстава для виконання ДКР

Терморегулятор, РБ11.468122.001, підстава для виконання дипломного проекту — завдання, видане кафедрою КіВРА НТУУ "КПІ".

2. Виконавці ДКР

Проект розробляє студент групи РБ-11 Радіотехнічного факультету Національного технічного університету України "КПІ" Пухтер Вадим Моонисович.

3. Мета та призначення розробки

Метою розробки є перевірка можливості створення загальновживаного апарату низькобюджетної цінової категорії на основі дешевої вітчизняної елементної бази та інших недорогих компонентів приладу. Розроблюваний побутовий прилад керування обігрівачем призначений для роботи в сукупності з будь-яким нагрівальним приладом загальнопобутового використання, потужністю до 3 кВт, задля автоматичного підтримання температури приміщення, в заданих споживачем межах. Актуальність тематики, яка розглядається в проекті, пов'язана з необхідністю виходу на вітчизняний ринок опалювальних систем приладу, що матиме досить високу ефективність енергозбереження в побутових умовах, зручність та простоту використання, і при цьому буде доступний для масового розповсюдження серед широкого загалу.

4. Джерело розробки

Джерелом розробки приладу стали теоретичні відомості про симісторні терморегулятори і подібні прилади.

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

5. Технічні вимоги

5.1 Основні технічні характеристики

Максимальна потужність керованого обігрівача, кВт	3
Габарити, не більше, мм	250x150x50
Режими температур, °С	10, 18, 20, 22
Маса приладу, не більше, кг	1
Напруга живлення, В	220
Частота мережі, Гц	50

5.2 Вимоги по життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів і чинників

Середнє напрацювання на відмову не менше 10000 годин. Середній термін експлуатації не менше 10 років за умови використання лише в опалювальний сезон (7 місяців на рік).

Пристрій повинен бути стійким до кліматичного та механічного впливу згідно з ГОСТ 20790, а також до тривалої дії наступних умов навколишнього середовища:

Температурний діапазон, °С	від -30 до 60
Відносна вологість	від 45 до 85%
Атмосферний тиск, кПа	від 84 до 106,7

Також прилад має працювати в умовах мережевого живлення з напругою (220±22) В та частотою (50±0,5) Гц.

5.3 Вимоги до конструкції та технологічності

Конструкція приладу повинна забезпечувати невисоку номенклатуру складових частин виробу і матеріалів, застосування високовиробничих і маловідходних технічних рішень.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

5.4 Вимоги до дизайну, ергономіки та технічної естетики

Простота і виразність форми, зручність в експлуатації згідно з ГОСТ 12.2.032. Органи керування та індикації повинні забезпечувати зручність керування і спостерігання. Естетично прилад має відповідати сучасним вимогам та бути доречним в інтер'єрі будь-якого приміщення за умови відкритого настінного монтажу.

5.5 Вимоги до експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту

Конструкція приладу повинна забезпечувати зручність експлуатації і ремонту.

5.6 Вимоги до безпеки для життя, здоров'я і майна громадян та охорони довкілля

Виріб повинен бути сконструйований так, щоб не виникало небезпеки враження електричним струмом. Пристрій повинен відповідати вимогам ГОСТ 12.2.025-76 з електробезпеки. Особливо важливим є поміщення приладу в надійний діелектричний корпус. Прилад не має містити деталей чи компонентів, що випромінюють чи випаровують шкідливі речовини.

5.7 Вимоги до маркування та упаковки

Пристрій повинен бути упакований в індивідуальну тару. Маркування на тарі і на пристрої проводити згідно ГОСТ 24388-88.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

5.8 Вимоги до транспортування і зберігання

Транспортувати в упакованому вигляді згідно ГОСТ 23088-80 з параметрами у запакованому вигляді:

Прискорення, g	15
Тривалість ударного імпульсу при транспортуванні, мс	11
Кількість ударів, не менше	1000

Транспортування може здійснюватись усіма видами транспорту в запакованому вигляді, в закріпленому стані. Не допускати ударів при завантаженні та розвантаженні.

6. Техніко-економічні вимоги

Прилад має бути особливо конкурентноспроможним за ціновими показниками роздрібної реалізації: вартість має бути в 2 і більше рази нижча від існуючих на сьогоднішній день аналогів за надійністю та ергономічністю задля масовості розповсюдження серед домогосподарств країни. Обсяг випуску 10000 шт. на рік.

7. Вимоги до безпеки обслуговування

Пристрій повинен задовольняти умови безпеки згідно ГОСТ 12.2.006-87. Потрібно забезпечити відсутність гострих кромок конструкції та відсутність відкритих ділянок пристрою які знаходяться під струмом.

8. Стадії та етапи ДКР

1. Технічне завдання.
2. Технічна пропозиція.
3. Ескізний проект.
4. Технічний проект.
5. Захист проекту.

В. М. Пухтер, КІВРА 2015

ДОДАТОК Б

```
PARTS
C1=C1;
C2=C2;
C3=C3;
DA1=DA1;
DD1=DD1;
FU1=FU1;
R0125W=R1,R6,R7,R8,R9,R10,R12,R14,R15;
R025W=R11,R13;
R1_PIDSTROY=R2,R3,R4,R5;
RK1_TERMO=RK1;
ROZYEM=X1,X2;
STABILITRON=VD1;
SYMISTOR=VS1;
TRANZYSTOR=VT1;
VD2=VD2,VD4;
VD3=VD3;
VD5=VD5,VD6,VD7,VD8;
KNOPKA=SA1,SA2,SA3,SA4,SA5,SA6,SA7,SA8;
SVITLODIOD=HL1,HL2,HL3,HL4;
NETS
VCC=R1/2 R6/2 R8/1 VD1/1 C1/2 DA1/7 VD2/1 DD1/9 DD1/11 DD1/10 DD1/14;
GND=RK1/1 R7/1 R9/1 R10/1 DD1/7 DA1/4 DD1/4 DD1/6 VD1/2 C1/1 HL1/2 HL2/2 HL3/2
HL4/2 R12/1 C2/2 VT1/3 VD7/1 VD8/2;
N1=R1/1 R2/1 R2/2 R3/1 R3/2 R4/1 R4/2 R5/1 R5/2;
N2=R2/3 SA1/2;
N3=R3/3 SA2/2;
N4=R4/3 SA3/2;
N5=R5/3 SA4/2;
N6=SA1/1 SA2/1 SA3/1 SA4/1 DA1/3 RK1/2;
N7=R6/1 R7/2 DA1/2;
N8=HL1/1 SA5/2;
N9=HL2/1 SA6/2;
N10=HL3/1 SA7/2;
N11=HL4/1 SA8/2;
N12=SA5/1 SA6/1 SA7/1 SA8/1 R8/2;
N13=DA1/8 R9/2;
N14=DA1/6 DD1/5;
N15=VD2/2 DD1/3 R10/2 R11/1;
N16=R11/2 VD3/1;
N17=DD1/1 VD4/1;
N18=VD4/2 R13/1 DD1/8 R12/2;
N19=DD1/13 R14/2;
N20=R14/1 VT1/1 C2/1;
N21=R13/2 VT1/2 VD5/1 VD6/2;
N22=VD5/2 VD7/2 VS1/3 R15/1;
N23=VD6/1 VD8/1 C3/1;
N24=R15/2 VS1/2 X2/1;
N25=VS1/1 FU1/2;
N26=X1/1 FU1/1;
N27=X1/2 VD3/2 C3/2 X2/2;
```

В.М. Пухтер, КВРА 2015

Форм	Зона	Поз	Найменування	Позначення	Кільк	Примітка
				Документація		
А4			РБ11.468122.001 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
А1			РБ11.468122.001 СК	Складальний		
				кресленик	1	
А2			РБ11.468122.001 Е3	Схема електрична		
				принципова	1	
А4			РБ11.468122.001 ПЕ	Перелік елементів	1	
				Деталі		
А1		1	РБ11.758721.001	Друкована плата	1	
А1		2	РБ11.758721.001	Radiator	1	
				Інші вироби		
				Конденсатори		
		3		ECR101M16B	1	C1
		4		R15N222J1HL2-L	1	C2
		5		К73-17	1	C3
				Підсилювач		
		6		К140УД12	1	DA1
				Мікросхема		
		7		К561ТМ2	1	DD1

В. М. Пухтер, КВРА 2015

Знм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РБ11.468122.001		
Розробив		Пухтер В.М.			Терморегулятор Специфікація	Літ.	Аркуш 1 / Аркушів 3
Перевірив		Головня В.М.					
Т. Контр.						НТУУ «КПІ», РТФ	
Н. Контр.		Попсуй В.І.					
Затвердив		Головня В.М.					

Форм.	Зона	Поз.	Найменування	Позначення	Кільк.	Примітка
				Запобіжник		
		8		50F-160H	1	FU1
				Тримачі запобіжника		
		9		KLS5-266 (FH-100)	2	FU1
				Світлодіод		
		10		GNL-10003UWC-TL	4	HL1-HL4
				Резистори		
		11		МЛТ-0,125 390 кОм	1	R1
		12		SF065/KLS4-WH06-2A-		
				-503 50 кОм	1	R2
		13		SF065/KLS4-WH06-2A-		
				-104 100 кОм	1	R3
		14		3329-1-154-Bourns		
				150 кОм	1	R4
		15		SF065/KLS4-WH06-2A-		
				-334 330 кОм	1	R5
		16		МЛТ-0,125 300 кОм	2	R6, R7
		17		МЛТ-0,125 10 кОм	1	R8
		18		МЛТ-0,125 560 кОм	1	R9
		19		МЛТ-0,125 1 МОм	2	R10, R12
		20		МЛТ-0,25 120 кОм	1	R11
		21		МЛТ-0,25 1 МОм	1	R13
		22		МЛТ-0,125 4,7 кОм	1	R14
		23		МЛТ-0,125 510 Ом	1	R15
				Терморезистор		
		24		ММТ-4а 150 кОм	1	RK1

В. М. Пухтер, КВРА 2015

Форм.	Зона	Поз.	Найменування	Позначення	Кільк.	Примітка
				Кнопки		
		25		SWT-2/17	8	SA1-SA8
				Діоди		
		26		КС191Ц	1	VD1
		27		КД521А	2	VD2, VD4
		28		КД209А	1	VD3
		29		1N4007	4	VD5-VD8
				Симістор		
		30		BTA216-500B	1	VS1
				Транзистор		
		31		КТ605А	1	VT1

В. М. Пухтер, КіВРА 2015

Поз. Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
C1	ECR101M16B	1	
C2	R15N222J1HL2-L	1	
C3	К73-17	1	
DA1	К140УД12	1	
DD1	К561ТМ2	1	
FU1	50F-160H	1	
HL1-HL4	GNL-10003UWC-TL	4	
	Резистори		
R1	МЛТ-0,125 390 кОм	1	
R2	SF065/KLS4-WH06-2A-503 50 кОм	1	
R3	SF065/KLS4-WH06-2A-104 100 кОм	1	
R4	3329-1-154-Bourns 150 кОм	1	
R5	SF065/KLS4-WH06-2A-334 330 кОм	1	
R6, R7	МЛТ-0,125 300 кОм	2	
R8	МЛТ-0,125 10 кОм	1	
R9	МЛТ-0,125 560 кОм	1	
R10	МЛТ-0,125 1 МОм	1	
R11	МЛТ-0,25 120 кОм	1	
R12	МЛТ-0,125 1 МОм	1	
R13	МЛТ-0,25 1 МОм	1	
R14	МЛТ-0,125 4,7 кОм	1	
R15	МЛТ-0,125 510 Ом	1	

В.М. Пухтер, КІВРА 2015

Змн	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	РБ11. 468122.001 ПЕ		
Розробив		Пухтер В.М.			Терморегулятор Перелік елементів	Літера	Аркуш 1 / Аркушів 2
Перевірив		Головня В.М.					
Т. Контроль						НТУУ «КПІ», РТФ	
Н.Контроль		Попсуй В.І.					
Затвердив		Головня В.М.					

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
RK1	ММТ-4а 150 кОм	1	
SA1-SA8	SWT-2/17	8	
	Діоди		
VD1	КС191Ц	1	
VD2	КД521А	1	
VD3	КД209А	1	
VD4	КД521А	1	
VD5-VD8	1N4007	4	
VS1	BTA216-500B	1	
VT1	КТ605А	1	
X1	KLS1-AS-222-12	1	

В. М. Пухтер, КіВРА 2015