

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітній ступінь)

на тему: **Розробка автоматизованого робочого місця для
дослідження параметрів терморезисторів**

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи КАс-41

спеціальності 151

“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Комар М.М

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Шовкун О.П

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Козбур І.Р

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дідич І.С

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анотація

Представлена робота складається з 3-х розділів. В першому розділі висвітлено питання про електронні процеси в кристалах, і зв'язані з ними властивості твердих тіл, зокрема механізми електропровідності металів та напівпровідників, їхні види та деякі параметри.

В другому розділі роботи приділено увагу методам вимірювання як електричних так і не електричних фізичних величин, зокрема аналого – цифровим перетворювачам (АЦП), представлено їх коротку класифікацію. Особливу увагу приділено опису цифрового зв'язку по стандарту Micro LAN і його оригінального пристрою – 4-х канального АЦП фірми Dallas Semiconductor DS2450, а також вимірювання температури на базі мікросхеми – термодатчика 18B20 і терморезисторів Rt1, Rt2. Приведено опис функціональної схеми установки для дослідження залежності опору металів та напівпровідників від зміни температури. Також опис схем електричної принципової блоку електронних вимірювань і спряження блоку з ПК.

Третій розділ роботи представляє собою експериментальну частину. В ньому описано методику дослідження залежності опору металів від температури, методику дослідження температурної залежності питомої електропровідності напівпровідників і методику дослідження температурної залежності напівпровідникових резисторів. Особливу увагу заслуговує обробка результатів, побудова графіків і таблиць з використанням програм: Microsoft Excel, Origin 6.1, iButton Viever 32. В цьому розділі проведено експериментальні дослідження по температурній залежності опору металів, та напівпровідників, побудовано графіки вимірювань, проведено відповідні обчислення по визначенню температурного коефіцієнту опору, ширину забороненої зони.

Summary

The presented work consists of 3 sections.

The first section covers the issues of electronic processes in crystals, and the related properties of solids, in particular the mechanisms of electrical conductivity of metals and semiconductors, their types and some parameters.

The second section of the work pays attention to the methods of measuring both electrical and non - electrical physical quantities, in particular analog - to digital converters (ADC), presents their short classification. Particular attention is paid to the description of digital communication according to the Micro LAN standard and its original device - a 4-channel ADC from Dallas Semiconductor DS2450, as well as temperature measurements based on the chip - temperature sensor 18B20 and thermistors Rt1, Rt2. A description of the functional scheme of the installation for studying the dependence of the resistance of metals and semiconductors on temperature changes is given. Also the description of schemes of the electric basic block of electronic measurements and coupling of the block with the personal computer.

The third section of the work is an experimental part. It describes a method for studying the dependence of metal resistance on temperature, a method for studying the temperature dependence of the specific conductivity of semiconductors and a method for studying the temperature dependence of semiconductor resistors. Of particular note is the processing of results, construction of graphs and tables using programs: Microsoft Excel, Origin 6.1, iButton Viever 32. In this section, experimental studies on the temperature dependence of resistance of metals and semiconductors, measurement graphs, appropriate calculations to determine the temperature coefficient resistance, the width of the forbidden zone.

Зміст

Анотація	2
Зміст	4
Вступ	6
1. Аналітична частина	7
2. Проектна частина	12
2.1. Призначення та основні технічні параметри приладу.....	12
2.2. Аналітичний огляд дослідження залежності електропровідності напівпровідників від зміни температури.....	13
2.3. Функціональна схема АРМ експрес – дослідження параметрів терморезисторів.....	21
2.4. Вибір елементної бази.....	25
2.5. Схема електрична принципова АРМ експрес – дослідження параметрів терморезисторів.....	33
3. Спеціальна частина	41
3.1. Розробка друкованих плат АРМ експрес – дослідження параметрів терморезисторів.....	41
3.2. Розрахунок надійності.....	43
3.3. Розрахунок споживаної потужності.....	50
3.4. Експериментальна частина.....	53
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	66
Висновки	72
Список використаної літератури	73

Вступ

Для сучасного стану розвитку систем управління характерне широке впровадження комп'ютерно – інтегрованих систем управління та управляючої мікропроцесорної техніки. Бурхливий розвиток мікропроцесорної техніки обумовлено її широке використання в сучасних технічних засобах автоматизації на всіх рівнях управління виробництвом. Практично це стосується всіх видів технічних засобів, які використовуються в системах автоматичного контролю і управління: датчі, мікропроцесорні регулятори, функціональні блоки, перетворювачі, блоки ручного управління, показуючі і реєструючі прилади та виконавчі механізми. Це надає цим засобам нові функціональні можливості.

Основою автоматизації лабораторного експерименту являється спосіб вимірювання фізичних величин і обробка результатів вимірювання з використанням ПК.

В даний час стрімко розвивається теорія і техніка вимірювань, причому остання органічна включає в себе використання обчислювальних пристроїв для обробки інформації.

Любий персональний комп'ютер (ПК) можна перетворити в потужній вимірювальний комплекс. Для цього йому необхідно забезпечити один або декілька аналогових входів. Клавіатура і монітор комп'ютера можуть забезпечити набагато більший набір функцій і можливостей по відношенню з тим, які можуть дати звичайні вимірювальні прилади, такі як мультиметр чи осцилограф. А вінчестер і принтер, який дуже легко підключається до комп'ютера і легко синхронізується з будь яким програмним забезпеченням підходить для реєстрації і відображення будь яких тривалих процесів. Крім того, обчислювальна потужність ПК дозволяє обробляти зібрані інформаційні дані і здійснювати над ними досить складні процеси.

Такий підхід на даний час використовується в промисловості і в наукових лабораторіях, але сьогодні також можна досягти досить серйозних результатів, просто підключивши невеликі аналого – цифрові перетворювачі до стандартних послідовних чи паралельних портів ПК.

Сьогодні прийняти називати «віртуальними» всі нестандартні програми для ПК. Багато корисних речей можна просто моделювати на хорошому моніторі з великою роздільною здатністю. Віртуальний пристрій представляє собою програмне забезпечення, яке встановлено на персональному комп'ютері і деякий інтерфейсний пристрій, який дозволяє ПК отримати доступ до тих фізичних величин і процесів, які потрібно буде обробляти. Як правило, в якості такого інтерфейсу використовують аналого – цифрові перетворювачі з одним або декількома входами.

Такий підхід обмежиться мінімальними витратами, якщо вимоги до вимірювального комплексу не дуже жорсткі. Таке рішення ідеально підходить для потреб навчальних науково – дослідних лабораторій, які мають справу з досить повільними фізичними процесами.

Комп'ютер дуже добре взаємодіє з людиною в процесі проведення експериментів чи вимірювань. Екран монітора може надати набагато більші можливості для індикації та відображення інформації, ніж дисплей осцилографа чи мультиметра. Також екран сам по собі є значно більшим за розмірами і ним набагато зручніше користуватись при стаціонарному використанні. Клавіатура та комп'ютерна миш набагато зручніші у використанні, ніж кнопки звичайних лабораторних установок чи вимірювальних приладів. Принтер дозволяє моментально вивести результати досліджень на папір. Крім того, любий сучасний комп'ютер володіє набагато більшими обчислювальними можливостями, які можна використовувати для виконання складних обчислень та проведення довготривалих досліджень і експериментів

1 Аналітична частина

На сьогоднішній день терморезистори активно застосовуються в різних сферах, тісно пов'язаних з електронікою. Вони особливо важливі при реалізації процесів, що залежать від правильності настройки температурного режиму.

Такий підхід є актуальним для комп'ютерних технологій, пристроїв передачі інформації, високоточного промислового обладнання і т.д. Їх можна побачити як і в якості простих запобіжників, так і в якості невід'ємних елементів складних промислових систем. Тому актуальним є питання дослідження їх параметрів та характеристик. Дипломний проект, який буде розглядатися в наступних розділах повинен вирішити ці завдання.

Основною задачею розроблюваного приладу є дослідження параметрів терморезисторів будь яких номіналів та одночасне відображення їх температурних характеристик.

Терморезистор – це напівпровідниковий елемент, електричний опір якого змінюється в залежності від зміни температури. Існує два види терморезисторів: терморезистори з від'ємним температурним коефіцієнтом опору (ТКО) – їх називають термісторами і додатнім ТКО, їх називають позисторами.

Терморезистори створюють із застосуванням матеріалів, що мають високий температурний коефіцієнт (ТК). Для виготовлення використовуються такі матеріали як мідь, нікель, марганець, кобальт, германій, крем та інші.

У процесі виробництва напівпровіднику може надаватися різноманітна форма. У продажу можна знайти терморезистори у вигляді тонких трубок, великих шайб, тонких пластинок або невеликих круглих елементів.



Рис. 1. Зовнішній вигляд терморезисторів

Термістори – деталі з від’ємним температурним коефіцієнтом (NTC). Назва NTC розшифровується як **Negative Temperature Coefficient**, що перекладається як "Від’ємний Коефіцієнт Опору". Особливість термісторів полягає в падінні опору при зростанні температури.

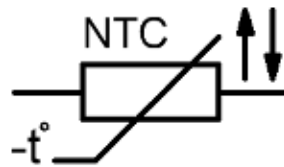


Рис. 2. Позначення термістора на електричній схемі

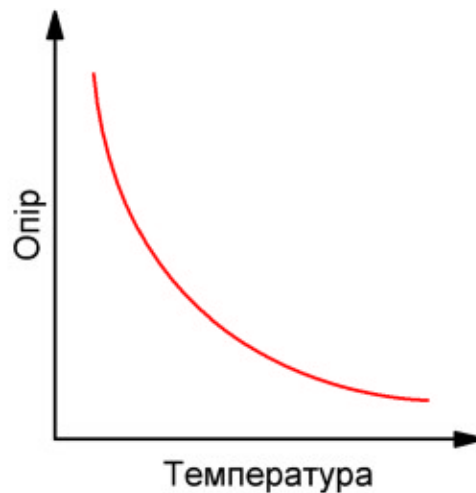


Рис. 3. Температурна характеристика термістора

Позистори – елементи, що мають «плюсовий» температурний коефіцієнт (PTC). PTC розшифровується як **Positive Temperature Coefficient**, що означає "Додатний Коефіцієнт Опору". На відміну від термісторів, при підвищенні температури опір позисторів, навпаки, зростає.

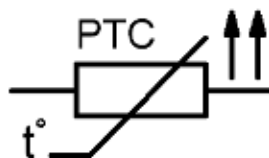


Рис. 4. Позначення позистора на електричній схемі

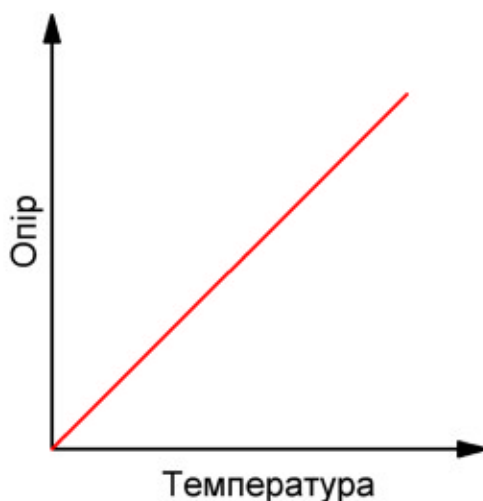


Рис. 5. Температурна характеристика позистора

Терморезистори також розрізняються за принципом дії. Виділяють два типи: контактні та безконтактні. До контактних відносяться термопари, термодатчики, заповнені термометри і термометри біметалічного типу. У групу безконтактних входять терморезистори, побудовані на інфрачервоному принципі дії.

Терморезистори відрізняються по температурі, на яку вони реагують при спрацьовуванні. З цієї позиції виділяються наступні типи деталей:

Низькотемпературні. Такі елементи спрацьовують при температурі нижче 170 кельвінів (мінус 102 °С). 1 Кельвін = мінус 272,15 °С.

Середньої температури. Тут діапазон роботи вище і знаходиться між 170 і 510 кельвінів.

Високотемпературні. Терморезистори такого класу працюють при температурах від 570 кельвінів.

Окремий клас. Виділяється також індивідуальна група високотемпературних термічних резисторів, що працюють в діапазоні від 900 до 1300 кельвінів.

При виборі терморезистора важливо орієнтуватися в його показниках і характеристиках, які змінюються залежно від типу, виробника, вихідного матеріалу та інших показників.

При виборі виробу потрібно з'ясувати головні параметри і визначити, чи підходять вони для вирішення поставленого завдання чи ні.

Параметри терморезисторів:

Габарити. При покупці потрібно бути впевненим, що деталь підходить за розміром і поміститься на платі (у схемі).

Опір (R_t , Ом). Параметр вимірюється в Омах і вказуються стосовно поточної температури в градусах Цельсія або Кельвіна. Якщо деталь розрахована на роботу при температурах від -100 до +200 градусів Цельсія, температурний режим для навколишнього середовища приймається на рівні 20-25 градусів Цельсія.

Постійна часу (Т, сек). Параметр відображає теплову інерційність. При розрахунку враховується час, який необхідно для зміни температури термічного резистора на 63% від різниці температури деталі і навколишнього повітря. У більшості випадків цей параметр приймається рівним 100 градусів Цельсія.

Потужність розсіювання (P_{max} , Вт). За цим показником можна судити про межі, до досягнення якого в напівпровіднику не відбувається незворотних змін (параметри залишаються колишніми).

Максимальна температура. (T_{max} , °C). Максимально допустимий параметр, при якому характеристики терморезистора тривалий час залишаються без змін (на встановленому виробником рівні).

Коефіцієнт розсіювання. Умовне позначення - Н. Параметр відображає потужність, яка розсіюється на термічному резисторі при різниці в температурних режимах деталі і навколишнього повітря на один градус.

2 Проектна частина

2.1. Призначення та основні технічні параметри приладу

Автоматизоване робоче місце (АРМ) призначено для експрес – дослідження параметрів терморезисторів, зокрема автоматизованого вимірювання опору та температури терморезисторів із збереження інформації на персональному комп'ютері (ПК), побудови температурних характеристик, визначення енергії активації ΔE та температурного коефіцієнту опору (ТКО). Апаратна частина і програмне забезпечення АРМ представляє собою сучасний інформаційно – вимірювальний комплекс, призначений для дослідження залежності опору напівпровідників та металів від зміни температури, який може використовуватися в лабораторіях навчальних закладів, та в наукових цілях.

Технічні параметри АРМ:

1. Живлення від мережі змінного струму напругою $220_{-20}^{+10}\%$ В;
2. Частота струму мережі 50 ± 1 Гц;
3. Джерела вторинного живлення:

$$U_{CC1} = +12V; \quad I_{CC1} \leq +8A;$$

$$U_{CC2} = -12V; \quad I_{CC2} \leq +0,5A;$$

$$U_{CC3} = +5V; \quad I_{CC3} \leq +0,5A;$$

$$U_{CC4} = +16V; \quad I_{CC4} \leq +1,5A;$$

4. Діапазон вимірювання температури $\Delta T = (+20 \dots + 120)^\circ C$;
5. Діапазон вимірювання опору $\Delta R = (60 \dots 3700) \Omega m$;
6. Крок вимірювання опору і температури: $\Delta t = 1c, 2c, 4c$;
7. Кількість каналів вимірювання опору $n = 2$;
8. Кількість каналів вимірювання температури $m = 2$;

9. Споживана потужність від мережі змінного струму $P \leq 50$ Вт;

10. Робочі умови використання:

- Температура навколишнього середовища від +5 до -50°C;
- Вхідна вологість повітря до 90% при температурі 25°C;
- Атмосферний тиск 84... 106 кПа (630... 800) мм рт.ст.

2.2 Аналітичний огляд дослідження залежності електропровідності напівпровідників від зміни температури

Основною характеристикою напівпровідників, що відрізняє їх від металів, є швидке зменшення опору при нагріванні. Зміна електропровідності в широкому інтервалі абсолютних температур, як правило, відбувається по експоненціальному закону:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\varepsilon_A}{kT}\right) \quad (1.2.1)$$

де ε_A - енергія активації провідності, k - постійна Больцмана, σ_0 - коефіцієнт (насправді залежний від температури, але істотно слабше, ніж експоненціальний множник).

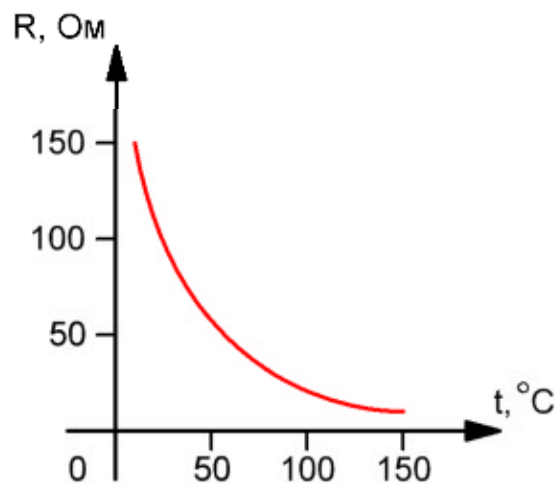


Рис. 6. Температурна характеристика

Формула (1.2.1) означає що електрони напівпровідника пов'язані з атомами з енергією зв'язку порядку ε_A . При підвищенні температури

тепловий рух починає розривати зв'язки електронів, і частина їх, пропорційна $\exp\left(-\frac{\varepsilon_A}{kT}\right)$ стає вальними носіями заряду.

У напівпровідниках зв'язок електронів може бути розірваний не тільки тепловим рухом, але і різними зовнішніми діями: світлом, потоком швидких заряджених частинок і т.д. Тому для напівпровідників характерна сильна залежність електропровідності від зовнішніх дій.

Оскільки у багатьох випадках енергія ε_A для електронів, локалізованих поблизу домішок або дефектів, менша, ніж в ідеальному кристалі даного напівпровідника, то електропровідність напівпровідників сильно залежить від вмісту домішок і дефектів в кристалах. Можливість керувати в широких межах провідністю напівпровідників за допомогою зміни температури, введення домішок і т.д. є основою їх численних і різноманітних застосувань.

Напівпровідники відрізняються від металів не тільки значенням електропровідності, а і якісно іншими властивостями.

У багатьох хімічних елементів і сплавів при охолодженні нижче певної (характерної для даного матеріалу) критичної температури T_c спостерігається перехід з нормального в напівпровідний стан, в якому їх електричний опір при постійному струмі повністю відсутній. Тривалий час були відомі напівпровідники, критична температура яких не перевищувала 23 К, а в 1986 р. був відкритий новий клас високотемпературних напівпровідників з критичною температурою до 125 К і вище.

Міркування, приведені вище при написанні формули для електропровідності металу, справедливі як для електронів провідності, так і для дірок.

Для діркового напівпровідника:

$$\sigma_p = epU_p = \frac{e^2 p \tau}{m_p} \quad (1.2.2)$$

де p – концентрація дірок; U_p – рухливість дірок; τ – час релаксації дірок; m_p – ефективна маса дірки.

У загальному випадку питома електропровідність визначається як електронами, так і дірками:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = enU_n + epU_p \quad (1.2.3)$$

Електронна складова провідності визначається першим доданком у формулі (1.2.3), другий доданок пов'язаний з дірковою провідністю напівпровідника.

Величина питомої провідності напівпровідника і її температурна залежність від концентрації носіїв (електронів і дірок) і їх рухливості, які в свою чергу визначаються типом напівпровідника.

У власному напівпровіднику концентрації електронів і дірок однакові ($n = p$) і остання рівність приймає вигляд:

$$\sigma_c = ne(U_n + U_p) \quad (1.2.4)$$

Концентрація носіїв заряду у власному напівпровіднику:

$$n = p = n(N_c N_v)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \quad (1.2.5)$$

де E_g – ширина забороненої зони; N_c – ефективна густина станів в зоні провідності; N_v – ефективна густина станів у валентній зоні.

$$N_c = 2 \frac{(2\pi m_n kT)^{\frac{3}{2}}}{h^3}, N_v = 2 \frac{(2\pi m_p kT)^{\frac{3}{2}}}{h^3}$$

Логарифмуючи вираз (1.2.5), одержимо:

$$\ln \sigma = \ln(n(N_c N_v)^{\frac{1}{2}}) - \frac{E_g}{2kT} \quad (1.2.6)$$

Оскільки перший доданок (1.25) практично від температури не залежить, то залежність $\ln \sigma(1/T)$ є прямою з кутовим коефіцієнтом $E_g/(2k)$ (рис.1.2.2.2.).

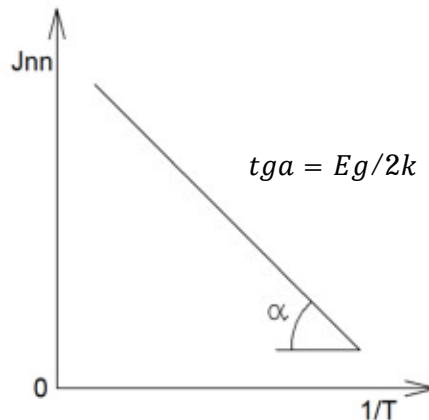


Рис. 7. Температурна залежність концентрації електронів в області напівпровідника

Таким чином, концентрація носіїв заряду у власних напівпровідниках залежить від ширини забороненої зони E_g і температури T . Для германію, наприклад $E_g = 0.72\text{eV}$ і концентрація носіїв заряду при кімнатній температурі складає 10^{19} м^{-3} . Для кремнію відповідно $E_g = 1.21\text{eV}$ і $n = p = 10^{16}\text{ м}^{-3}$.

Рухливість носіїв заряду в напівпровідниках визначається механізмами розсіяння носіїв в кристалі. У ідеальному напівпровіднику з власною провідністю рухливість визначається розсіюванням на теплових коливаннях (фононах) оскільки ідеальний власний напівпровідник — це, за визначенням, напівпровідник без домішкових атомів і розсіювання на домішкових атомах відсутнє. Інший важливий факт, що визначає температурну залежність рухливості носіїв в кристалі, з тим, чи є газ носіїв не виродженим або виродженим за даних умов.

Якщо концентрація електронів в зоні провідності або дірок у валентній зоні набагато менше числа дозволених станів, то такий напівпровідник називається невиродженим.

Газ носіїв (електронів або дірок) в такому напівпровіднику також називають не виродженим. Для не виродженого газу вірогідність того, що дві

частинки одночасно опиняться в одному квантовому стані мала, тому для таких частинок принцип Паулі можна не враховувати і користуватися для їх статистичного опису статистикою Максвелла - Больцмана.

Напівпровідник, в якому поведінка вільних носіїв описується статистикою Фермі - Дірака, є виродженим, а газ цих носіїв також називають виродженим. Умовою невиродженості електронного газу є виконання нерівності:

$$f_{\phi-\delta} \ll 1 \text{ або } \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right) \gg 1$$

При якому статистика Фермі – Дірака переходить в статистику Максвелла – Больцмана. Ця умова, у свою чергу, зводиться до:

$$\frac{n}{2} \left[\frac{h^2}{2\pi m_n kT} \right]^{\frac{3}{2}} \ll 1$$

Таким чином, виродженість визначається концентрацією вільних носіїв і температурою. Кількісні оцінки показують, що для того, щоб напівпровідник при кімнатній температурі був не виродженим, концентрація вільних носіїв заряду в ньому повинна бути менше 10^{25} M^{-3} . Власні напівпровідники задовольняють цій умові. У протилежність цьому, електронний газ металів в зоні провідності завжди є виродженим.

Температурна залежність рухливості носіїв заряду визначається температурною залежністю довжини вільного пробігу носіїв і їх швидкістю. Розрахунки показують, що для не виродженого газу носіїв у області високих температур рухливість обернено пропорційна $T^{3/2}$. Враховуючи це, можна записати для рухливості електронів і дірок

$$U_n = A_n T^{-\frac{3}{2}}, \quad U_p = A_p T^{-\frac{3}{2}} \quad (1.2.7)$$

де A_n і A_p – деякі залежні від температури коефіцієнти пропорційності.

Підставляючи (1.16) і (1.18) в (1.15) і логарифмуючи одержаний вираз, маємо:

$$\ln \sigma_c = \ln \sigma_p - \frac{E_g}{2kT} \quad (1.2.8)$$

$$\sigma_p = \frac{2e}{h^3} (m_n m_p)^{\frac{3}{4}} (2\pi k)^{\frac{3}{2}} (A_n A_p)$$

Графік залежності $\ln \sigma_c$ від $1/T$ є прямою лінією, тангенс кута нахилу до осі абсцис пропорційний ширині забороненої зони.

Ця залежність дозволяє використовувати дані по температурній залежності електропровідності для знаходження ширини забороненої зони напівпровідників.

Електропровідність домішкового напівпровідника називається домішковою. Домішки можуть вельми істотно впливати на електричні властивості напівпровідників. Наприклад, додавання в кремній бору в кількості одного атома на 10^5 атомів кремнію збільшує провідність при кімнатній температурі в 1000 разів. Невелика добавка домішки до напівпровідника називається легуванням.

Питома електропровідність домішкових напівпровідників, так само як і для власних напівпровідників, визначається концентрацією носіїв заряду в зоні провідності і їх рухливістю. Для донорного напівпровідника при низьких температурах основним джерелом електронів в зону провідності є донорні рівні домішки. За рахунок термічного збудження електрони з донорних рівнів переходять в зону провідності. Концентрація електронів провідності в донорнім напівпровіднику визначається виразом:

$$n = (N_d N_c)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{E_d}{2kT}\right) \quad (1.2.9)$$

де N_d – концентрація донорних рівнів, E_d – різниця енергії між дном зони провідності і донорним рівнем (енергія активації донорних рівнів).

Підвищення температури приводить до збіднення донорних рівнів і при високих температурах поведінка донорного напівпровідника аналогічна поведінці власного напівпровідника, коли притік електронів в зону

провідності відбувається за рахунок їх переходу з валентної зони (див. рівняння 1.2.2.6.).

Температурна залежність концентрації електронів провідності в донорнім напівпровіднику представлена схематично на рис. . Ділянка а-б відповідає температурній області домішкової провідності. Тангенс кута нахилу а визначає енергію активації донорних рівнів E_d ($\tan \alpha = E_d/2k$). Температура збіднення домішки:

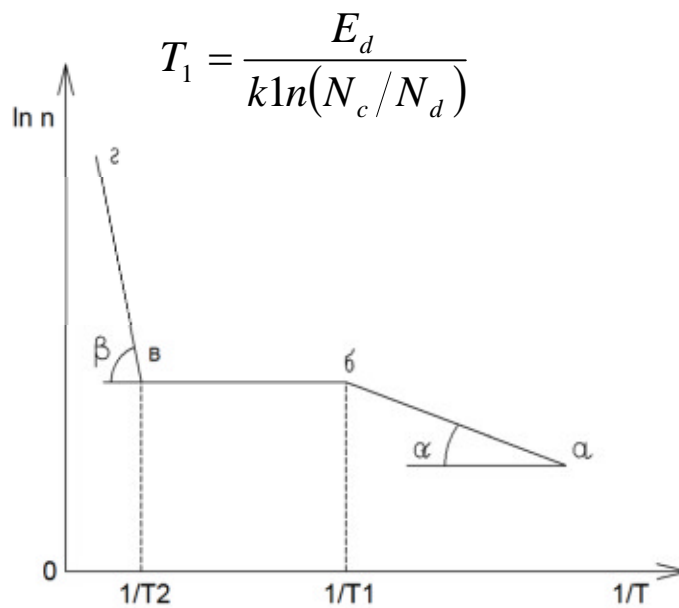


Рис. 8. Температурна залежність концентрації електронів в домішковому напівпровіднику

У області б-в концентрація носіїв заряду в зоні провідності залишається постійною, оскільки домішкові рівні збіднені, а енергії теплового збудження ще недостатньо для переходу електронів з валентної зони в зону провідності. Електрони можуть подолати заборонену зону, починаючи з температури.

$$T_2 = \frac{E_d}{k \ln(N_c N_v/N_d^2)}$$

При цьому $\operatorname{tg}\beta = \frac{Eg}{2k}$ (рис.1.2.2.4.) . Можна показати, що для дірок в акцепторному напівпровіднику справедливі аналогічні результати. Концентрація дірок у валентній зоні:

$$p = (N_a N_c)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{E_a}{2kT}\right) \quad (1.2.9)$$

де N_a – концентрація акцепторних рівнів; E_a – різниця енергії між акцепторним рівнем і валентною зоною (енергія активації акцепторних рівнів).

Температурна залежність питомої електропровідності домішкового напівпровідника показана на рис. . Як показують розрахунки, не тільки для не виродженого газу носіїв у власному напівпровіднику (див. рівняння 1.2.2.8.), але і для домішкової провідності і для виродженого газу носіїв температурна залежність рухливості значно слабкіша, ніж температурна залежність концентрації носіїв заряду в напівпровіднику. Тому тангенси кутів нахилу для області домішкової провідності (кут α) і власної провідності (кут β) визначається в основному, так само як і на рис.1.2.2.4., енергіями активації домішкових рівнів і валентної зони відповідно. Рухливість носіїв значний вплив роблять на температурну залежність електропровідності домішкового напівпровідника у області збіднення домішки (ділянка б-в).

У слабо легованих напівпровідниках у області збіднення домішки електропровідність навіть зменшується із зростанням температури, оскільки зменшується рухливість носіїв за рахунок механізму розсіяння їх на фононах.

2.3 Функціональна схема АРМ експрес – дослідження параметрів терморезисторів

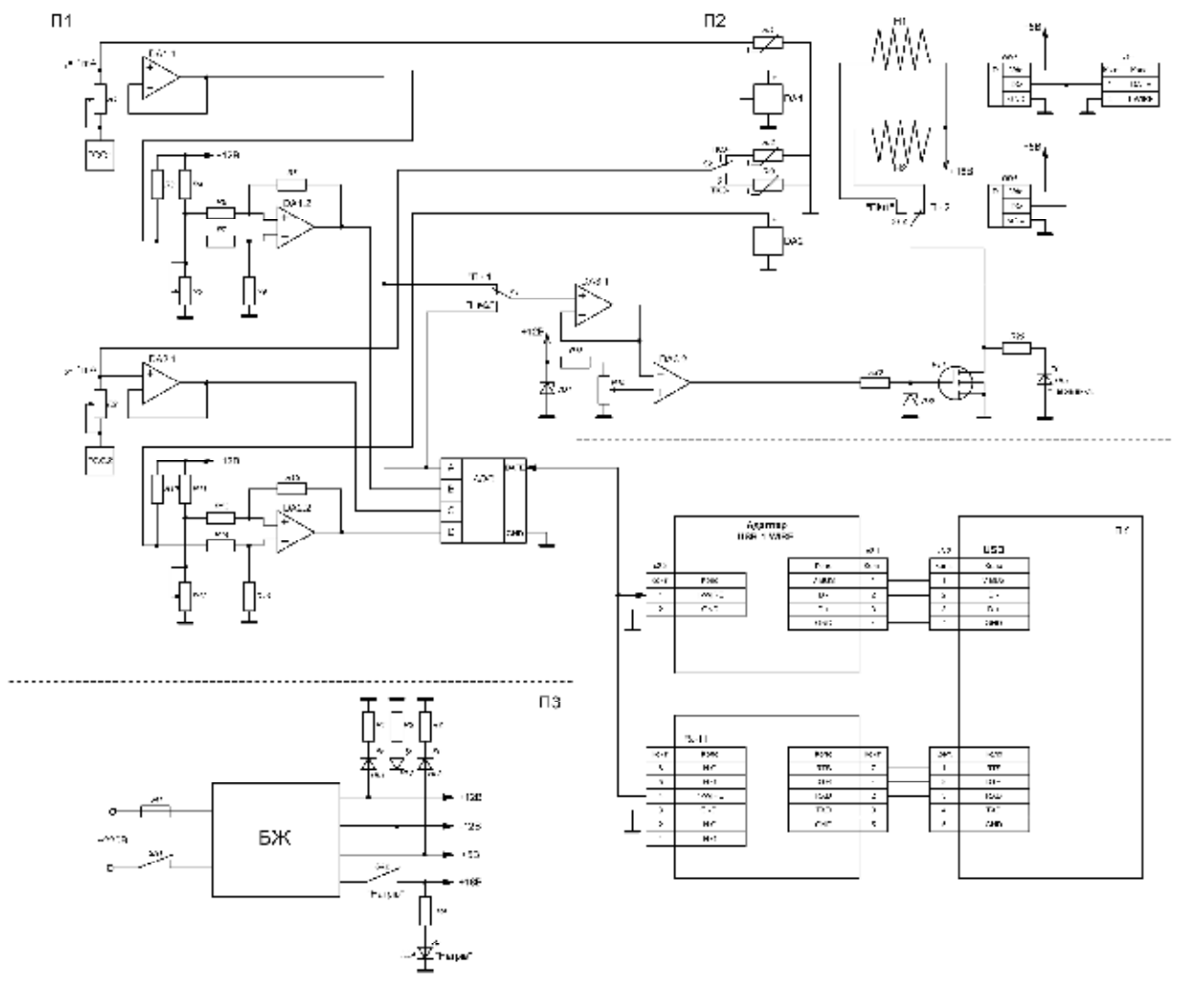


Рис. 9. Функціональна схема АРМ експрес – дослідження параметрів терморезисторів

На рис. 9 представлено функціональну схему АРМ експрес – дослідження параметрів терморезисторів, яка представляє собою вимірювальну установку, що керується персональним комп'ютером (ПК).

Вимірювальна установка складається із 3-х блоків (П1, П2, П3), які через адаптери під'єднані до COM – порта та USB – порта ПК. П1 представляє собою блок електронних вимірювань (БЕВ), П2 – мікропечі, а П3 – блок живлення (БЖ). Мікропечі складається з нагрівних елементів Н1 і Н2 (ніхромові спіралі), що намотані на кварцові трубки, в середині яких розміщені терморезистори R_{t1} , R_{t2} , R_{t3} і мікросхеми – термодавачі з аналоговим виходом DA1, DA2 та цифровим виходом DD1, DD2. Нагрів спіралей Н1, Н2 здійснюється постійним струмом через польовий транзистор VT1, який працює в ключовому режимі.

БЕВ складається із наступних елементів: генераторів стабільного струму ГСС1, ГСС2, повторювачів напруги на DA1.1, DA2.1, диференціальних підсилювачів на DA1.2, DA2.2, 4-х каналного АЦП на DD1, повторювача напруги на DA3.1, компаратора напруги на DA3.2 та електронного ключа на VT1. Виходи повторювачів напруги DA1.1 і DA2.1 під'єднані відповідно до А – входу та В – входу АЦП DD1, а виходи диференціальних підсилювачів DA2.1 і DA2.2 – відповідно до С – входу та D – входу АЦП DD1, вихід якого через адаптери 1,2 під'єднаний відповідно до COM та USB – портів ПК.

Вимірювання опорів R_{t1} , R_{t2} , R_{t3} оснований на пропусканні через них стабілізованого одиничного струму $I_1 = I_2 = 1\text{mA}$, який виробляється ГСС1 і ГСС2. Далі вимірюються спади напруг на цих опорах $U_{R_{t1}}$, $U_{R_{t2}}$, $U_{R_{t3}}$, які через повторювачі напруг DA1.1 і DA1.2 подаються на А та С входи DD1, причому:

$$\begin{aligned}U_{R_{t1}} &= I_1 \times R_{t1} = 10^{-3}R_{t1}; \\U_{R_{t2}} &= I_2 \times R_{t2} = 10^{-3}R_{t2}; \\U_{R_{t3}} &= I_3 \times R_{t3} = 10^{-3}R_{t3};\end{aligned}\quad (1.1)$$

Вхідні сигнали U_{Rt1} , U_{Rt2} , U_{Rt3} оцифровуються АЦП DD1 і через адаптери поступають на COM – порт та USB – порт ПК, при цьому на виході АЦП отримують наступні кодові послідовності імпульсів:

$$\begin{aligned}N_{Rt1} &= K_1 \times U_{Rt1} = K_1 \times 10^{-3} R_{t1}; \\N_{Rt2} &= K_2 \times U_{Rt2} = K_2 \times 10^{-3} R_{t2}; \\N_{Rt3} &= K_3 \times U_{Rt3} = K_3 \times 10^{-3} R_{t3};\end{aligned}\quad (1.2)$$

де: K_1 , K_2 , K_3 – коефіцієнти перетворення АЦП.

При вимірювання опорів R_{t1} , R_{t2} , R_{t3} іде синхронне вимірювання їх температури давачами DA1, DA2. Ці мікросхеми представляють собою термодавачі з лінійною залежністю вихідної напруги від температури, причому вихідна напруга пропорційна абсолютній температурі з номінальним коефіцієнтом перетворення, рівним 10 мВ/°К. На виході інтегральних давачів температури DA1.1, DA2.1 отримуємо напруги з градуванням за шкалою Кельвіна, причому:

$$\begin{aligned}U_{\text{вих.к1}} &= 10T_1; \\U_{\text{вих.к2}} &= 10T_2;\end{aligned}\quad (1.3)$$

де: T_1 , T_2 – вимірювані температури в градусах Кельвіна;

$U_{\text{вих.к1}}$, $U_{\text{вих.к2}}$ – вихідні напруги давачів DA1, DA2 (в мілівольтах).

Резистори R_3 і R_{10} задають струм через термодавачі DA1, DA2 рівний 1мА, що забезпечує коефіцієнт перетворення рівний 10 мВ/°К.

На операційних підсилювачах DA1.2, DA2.2 виконано диференціальні підсилювачі, на виходах яких отримуємо напругу з градуванням за шкалою Цельсія. На один вхід диференціального підсилювача поступає напруга $U_{\text{вих1}}$ ($U_{\text{вих2}}$), а на другий – фіксована постійна напруга з подільника напруги +12В, що зібрана на резисторах R_4, R_5 (R_{11}, R_{12}). На виходах DA1.2, DA2.2

отримуємо напруги $U_{\text{вих.с1}}$, $U_{\text{вих.с2}}$ з градуванням за шкалою Цельсія, причому:

$$U_{\text{вих.с1}} = U_{\text{вих.к1}} - U_{\text{оп}}; \quad (1.4)$$

$$U_{\text{вих.с2}} = U_{\text{вих.к2}} - U_{\text{оп}};$$

де: $U_{\text{оп}}$ – фіксована напруга, яка знімається з подільників на резисторах R_4, R_5 (R_{11}, R_{12}).

Точністю установки $U_{\text{вих.с1}}$, $U_{\text{вих.с2}}$ здійснюється за допомогою змінних резисторів R_5 і відповідно R_{12} , тобто на виходах DA1.2 та DA2.2 виконується умова:

$$U_{\text{вих.с1}} = 10T_{c1}; \quad (1.5)$$

$$U_{\text{вих.с2}} = 10T_{c2};$$

де: T_{c1}, T_{c2} – температура в градусах Цельсія.

Вихідні сигнали з DA1.2 та DA2.2 поступають відповідно на В – вхід та С – вхід АЦП DD1. Перетворювач оцифровує їх і через адаптери у вигляді кодової послідовності імпульсів сигналів поступають на COM – порт та USB – порт ПК, при цьому:

$$N_{TC1} = K_4 \times U_{\text{вих.с1}}; \quad (1.6)$$

$$N_{TC2} = K_5 \times U_{\text{вих.с1}};$$

де: $U_{\text{вих.с1}}$ – вихідний сигнал термодавача DA1;

$U_{\text{вих.с2}}$ – вихідний сигнал термодавача DA2;

K_4, K_5 – коефіцієнти перетворення АЦП.

Блок живлення (БЖ) під'єднаний до мережі змінного струму 220В частотою 50 Гц і на виході виробляє ряд фіксованих стабілізованих напруг: $\pm 12\text{В}$; $+5\text{В}$, $+18\text{В}$. Індикація кожної напруги фіксується відповідними світлодіодами HL1, HL2, HL3, HL4. Тумблером S2 здійснюється подача напруги $U=+18\text{В}$ на

нагрів спіралей Н1, Н2, при цьому засвічуються світлодіоди HL1 («Нагрів») та HL1.

Процес вимірювання опорів терморезисторів R_{t1} , R_{t2} , R_{t3} і їх температури починається з моменту вмикання тумблера SA2, при цьому засвідчується світлодіод HL1 «Нагрів» і через тумблер S1.2 проходить плавний нагрів спіралей Н1 або Н2. Температура в мікропечі зростає від T_{MIN} до T_{MAX} , при цьому транзистор VT1 відкритий і до спіралей Н1 або Н2 подається напруга +18В.

Обмеження температури нагріву мікропечей до T_{MAX} здійснюється схемою, яка складається із компаратора DA3.2, повторювача напруги DA3.1, параметричних стабілізаторів на R_{17} , VD₁ та R_{20} , VD₂, електронного ключа на VT1 та світлодіода HL1. На інвертуючий вхід компаратора DA3.2 із подільника напруги на R_{18} , R_{19} подають опорну напругу $U_{\text{оп.мах}}$, що відповідає максимальній температурі мікропечі $T_{\text{мах}}$, а на інвертуючий вхід компаратора, через повторювач напруги на DD3.1 і тумблер S1.1 поступає напруга з виходу термодавачів DA1, DA2. Вихідний сигнал компаратора DA3.2 ($+U_{\text{нас}}$) вмикає ключ на VT1. Як тільки температура в мікропечі стане більшою за $T_{\text{мах}}$, вихідний сигнал з термодавачів DA1, DA2 через повторювач DA3.1 переключить компаратор в протилежний стан ($-U_{\text{нас}}$), що забезпечить закривання ключа VT1, при цьому погасне світлодіод HL1.

2.4. Вибір елементної бази

Вибір електронних компонентів з яких буде розроблений прилад проводиться на основі спроектованої схеми електричної принципової, відповідно до вимог, які задані в технічному завданні.

Правильний вибір елементної бази, визначення режимів роботи кожного з компонентів та їх граничні параметри забезпечать безвідмовну та довговічну роботу приладу при експлуатації. Для правильного вибору

елементів також потрібно проаналізувати можливі кліматичні, механічні, радіаційні та інші впливи, які можуть впливати на компоненти приладу. Не менш важливою характеристикою елементів є їх ціна. Потрібно детально підходити до цього питання та враховувати співвідношення між ціною і технічними характеристиками компонентів.

Основними критеріями вибору електрорадіоелементів для будь-якого електричного приладу є відповідність технічних параметрів та експлуатаційних характеристик заданим режимам роботи і експлуатації.

Основними параметрами при підборі електрорадіоелементів є:

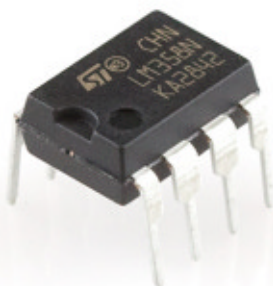
- а) технічні параметри:
- б) експлуатаційні параметри:

Другорядними параметрами можуть бути такі критерії як: уніфікація елементів; маса і габарити; найменша вартість; надійність.

Для побудови лабораторного стенду вибираємо наступні інтегральні мікросхеми: LM358, L7812, L7912, L7805, L7905, RS207, XR2206, К140УД708.

Усі параметри та характеристики електрорадіоелементів взяті із каталогу інтернет магазину www.chipdip.ru.

ІМС LM358



PIN CONNECTIONS

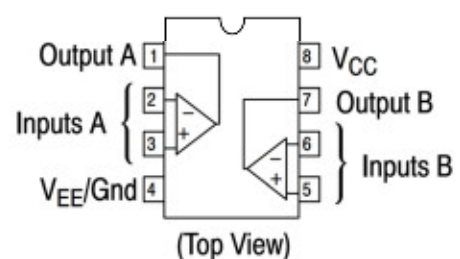


Рис. 10. Зовнішній вигляд і цоколівка LM358

Мікросхема LM358 в одному корпусі містить два незалежних малопотужних операційних підсилювача з високим коефіцієнтом посилення і частотної компенсацією. Відрізняється низьким споживанням струму.

Технічні характеристики LM358:

- Однополярне живлення: від 3 В до 32 В.
- Двухполярне живлення: $\pm 1,5$ до ± 16 В.
- Струм споживання: 0,7 мА.
- Синфазна вхідна напруга: 3 мВ.
- Диференціальна вхідна напруга: 32 В.
- Синфазний вхідний струм: 20 нА.
- Диференційний вхідний струм: 2 нА.
- Диференційний коефіцієнт посилення по напрузі: 100 дБ.
- Розмах вихідної напруги: від 0 В до VCC - 1,5 В.
- Коефіцієнт гармонійних спотворень: 0,02%.
- Максимальна швидкість наростання вихідного сигналу: 0,6 В / мкс.
- Частота одиничного посилення (з температурною компенсацією): 1,0 МГц.
- Максимальна потужність, що розсіюється: 830 мВт.

Діапазон робочих температур: 0 ... 70 гр.С.

Стабілізатори напруги

Стабілізатори напруги виконані на трьох вивідних ІМС з фіксованим значенням стабілізованої напруги типу: 7812, 7912, 7805 7905.

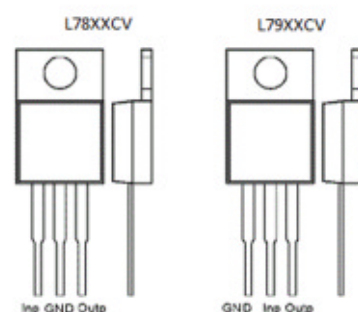




Рис. 11. Зовнішній вигляд і цоколівка мікросхем

Таблиця № 1

Мікросхема	L7812CV	L7912CV	L7805CV	L7905CV	
Виробник	ST Microelectronics				
Корпус	TO-220-3				
Тип регулятора	Linear Regulator				
Вхідна напруга	14,5...27 В	-27...-5,5 В	7...25 В	-8...-25 В	
Вихідна напруга	11,4...12,6В	-12,6...-11,4 В	4,75...5,25 В	-4,8...-5,5 В	
Максимальний вихідний струм	1,5 А				
Струм споживання	8 мА	3 мА	8 мА	3 мА	
Максимальне значення мінімальної можливої різниці напруг вхід-вихід	2 В	1,1 В	2 В	1,4 В	
Робоча температура	0...150°C			0...125°C	

DS2450

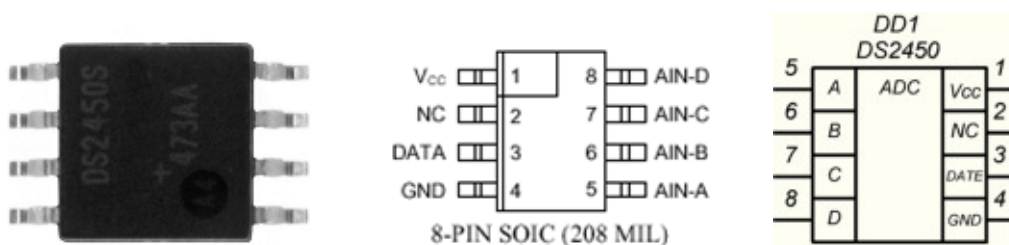


Рис. 12. Зовнішній вигляд і цоколівка DS2450

Технічні характеристики DS2450:

- Розширення, біт – 16
- Каналів, шт 4
- Інтерфейс – 1-WIRE
- V_{in} , В – від 0 до 5.12
- $V_{REF} - Int$
- Напруга живлення: DV_{DD} , В – від 4.5 до 5.5
- I_{ss} , мА – 0.5
- P_D , Вт – 0,0025
- T_A , °C – от -40 до 85
- Корпус – SOIC-8

Діодний міст RS207

Характеристики діодного моста RS207:

- Максимальна постійна зворотна напруга: 1000В
- Максимальний прямий струм: 2 А
- Максимальна імпульсна зворотна напруга: 1200 В
- Максимальний допустимий прямий струм: 50 А
- Максимальний зворотний струм: 10 мкА
- Максимальна пряма напруга при $I_{пр} = 1А$: 1,1 В
- Робоча температура: від -55 °C до + 125 °C

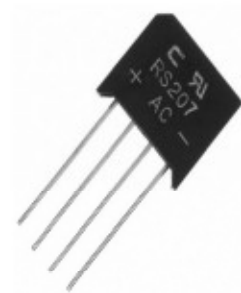


Рис. 13. Зовнішній вигляд RS207

КП103

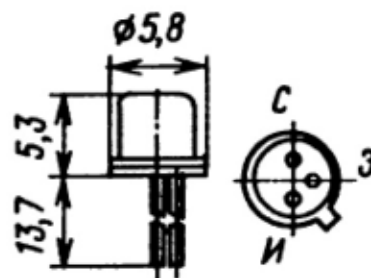
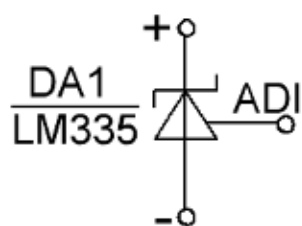
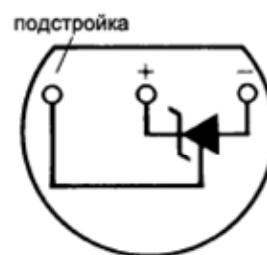
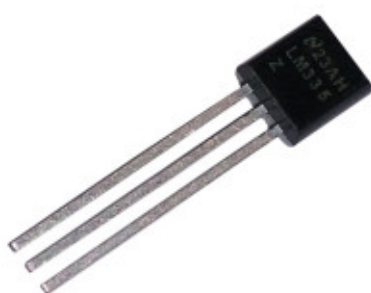


Рис. 14. Зовнішній вигляд і цоколівка КП103

Технічні параметри КП103:

- Максимально допустима потужність польового транзистора: 7 мВт
- Максимально допустима напруга стік-витік: 10 В
- Максимально допустима напруга затвор-стік: 15 В
- Температура навколишнього середовища: -55...+85 С°
- Початковий струм стоку: 0,3...2,5 мА

LM335



або

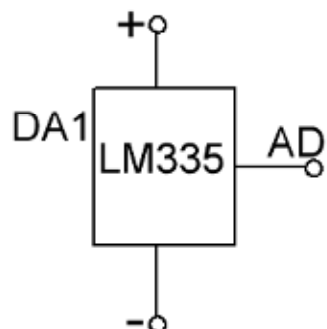


Рис. 15. Зовнішній вигляд і цоколівка LM335

Таблиця №2. Технічні параметри мікросхеми LM335

Тип датчика	аналоговий
Діапазон вимірюваних температур, °C	-40...+100
Точність вимірювання, ±°C	1
Інтерфейс, мВ/°К	10
Напруга живлення, В	3...14

IRFZ44N

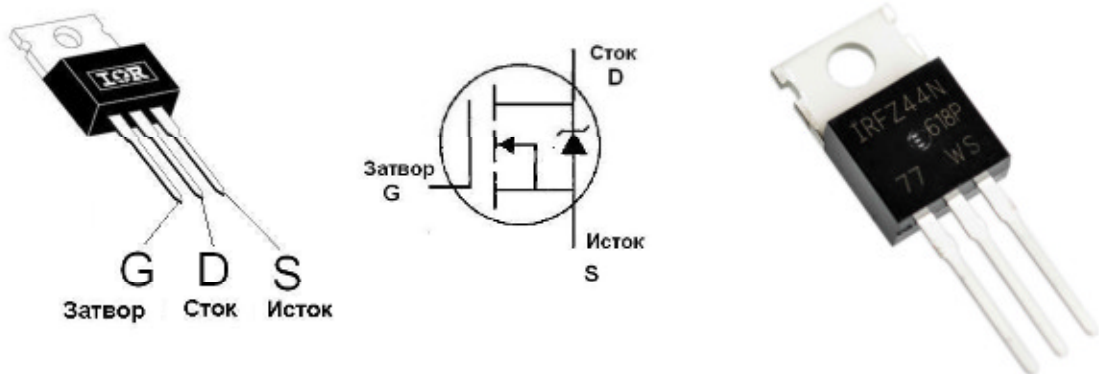


Рис. 16. Зовнішній вигляд і цоколівка IRFZ44N

Технічні параметри IRFZ44N:

- Напруга сток-витік U_{DS} (max): 60В
- Струм витік-витік при 25 С I_{DS} (max): 50А
- Напруга затвор-витік U_{GS} (max): ± 20В
- Опір каналу у відкритому стані $R_{DS(on)}$: 28 мОм
- Потужність, що розсіюється P_{D} (max): 110Вт
- Крутизна характеристики: 15S
- Гранична напруга на затворі: 4В
- Корпус: TO-220AB, TO-220FP, TO-263

DS18B20

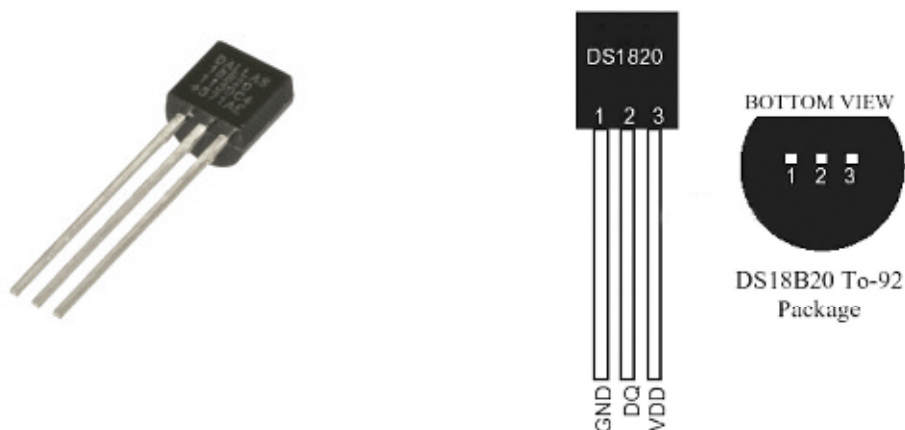


Рис. 17. Зовнішній вигляд і цоколівка DS18B20

Особливості DS18B20:

- Для однопровідного інтерфейсу 1-Wire досить одного порту зв'язку з контролером.
- Кожен пристрій має унікальний серійний код довжиною 64 розряду.
- Можливість підключення декількох датчиків через одну лінію зв'язку.
- Немає необхідності в зовнішніх компонентах.
- Можливість отримувати харчування безпосередньо від лінії зв'язку. Напруга живлення в межах 3,0 В ... 5,5 В.
- Діапазон вимірювання температури -55 ... +125 ° С.
- Похибка не перевищує 0,5 ° С в діапазоні -10 ... +85 ° С.
- Дозвіл перетворення 9 ... 12 біт. Здається користувачем.
- Час вимірювання, не перевищує 750 мс, при максимально можливому дозволі 12 біт.

Терморезистор NTCLE

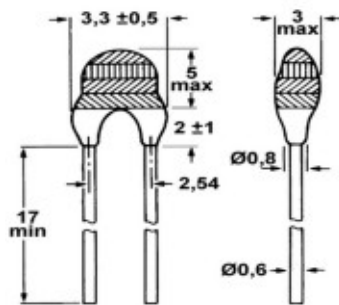


Рис. 18. Зовнішній вигляд і цоколівка DS18B20

Таблиця №3. Параметри DS18B20

Параметри	Значення	Одиниця вимірювання
Значення опору при $t = 25^{\circ}\text{C}$	від 3.3 до 470К	Ом
Допустима похибка значення опору	± 3	%
B значення при $t = 25/85^{\circ}\text{C}$	від 2280 до 4570	К
Діапазон робочих температур	Від -40 до +125	$^{\circ}\text{C}$
Час відгуку	$\sim 1,2$	с
Максимальна потужність при 55°C	500	мВт
Вага	$\sim 0,3$	г

Терморезистор NTСМ

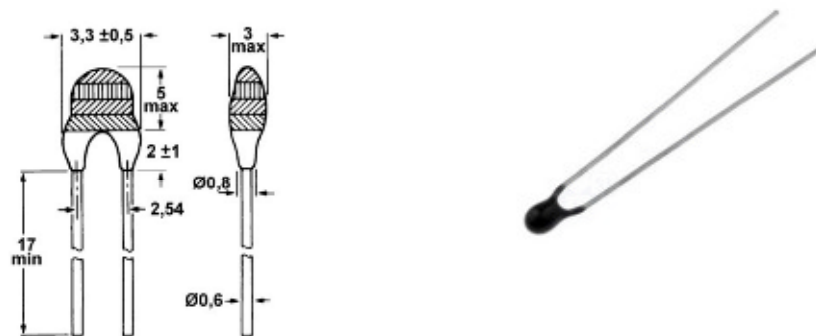


Рис. 19. Зовнішній вигляд і цоколівка DS18B20

Таблиця №4. Параметри DS18B20

Параметри	Значення	Одиниця вимірювання
Значення опору при $t = 25^{\circ}\text{C}$	від 5.7 до 47К	Ом

Допустима похибка значення опору	± 2	%
<i>B</i> значення при $t = 25/85^{\circ}\text{C}$	~ 3470	К
Діапазон робочих температур	Від -40 до +125	$^{\circ}\text{C}$
Час відгуку	$\sim 1,5$	с
Максимальна потужність при 55°C	500	мВт
Вага	$\sim 0,2$	г

2.5 Схема електрична принципова АРМ експрес – дослідження параметрів терморезисторів

Вимірювальна установка АРМ складається із 3-х плат: П1, П2 і П3, які через адаптери під'єднані до COM – порта та USB – порта ПК і представляють собою апаратну частину.

Програмне забезпечення інформаційно – вимірювальної системи складається із 3-х програм:

- jButton Viever 32(керує роботою АЦП);
- Microsoft Excel;
- Origin 6.1 (обробка результатів вимірювання і побудова графіків).

Плата П1 представляє собою блок електронних вимірювань (БЕВ), який під управлінням ПК виконує вимірювання 4-х фізичних параметрів; двох опорів терморезисторів R_{t1} , R_{t2} та двох температур T_1 , T_2 цих резисторів. Дані вимірювань цих параметрів являються аналоговими величинами і представлені у виді постійних напруг, які оцифровуються 4-х каналним АЦП на DD1 і через адаптери подаються на ПК.

Так, перетворювач опору R_{t1} в напругу (ПОН1) виконаний на ОП DA1.1, польовому транзисторі VT1, стабілізаторі VD1, резисторах R_1 , R_2 , які представляють собою стабілізатор струму. В якості DA1.1 вибраний ОП типу

LM358, який працює в режимі повторювача напруги. Напругу між входами ОП DA1.1 можна вважати рівною нулеві, так що напруги на стабілітроні VD1(Д818Е) і послідовно – з'єднаних резисторах R_1 , R_2 однакові і протилежно направлені. Це означає, що струм стабілізації через терморезистор R_{t1} визначається так:

$$I_{Rt1} = \frac{U_{VD1}}{R_1 + R_2} = 1 \text{ Ма}$$

Вихідна напруга, що знімається з виходу ОП DA1.1 рівна:

$$U_{Rt1} = U_{\text{ВИХ.}DA1.1} = I_{Rt1} \times R_{t1} = 1 \times 10^{-3} \times R_{t1}$$

і подається через резистор R26 і обмежувач стабілітрон DA1(LM335), яка підключена до БЕВ через роз'єм (ДТ1). Ця мікросхема представляє собою термодавач з лінійною залежністю вихідної температури, причому на виході DA1(П2) отримуємо напругу з градуванням за шкалою Кельвіна:

$$U_{\text{ВИХ.}DT1} = 10 \times T1,$$

де $T1$ – температура R_{t1} в градусах Кельвіна.

Резистор R4 задає струм через термодавач DA1, рівний 1 мА.

На операційному підсилювачі DA1.2 виконано диференціальний підсилювач на виході якого отримуємо напругу давача DA1 з градуванням за шкалою Цельсія. На неінвертуючий вхід диференціального підсилювача поступає напруга U_{DT1} , а на інвертуючий вхід – фіксована постійна напруга U_{OP1} з подільника напруги +12В, що зібрана на резисторах R5, R6, R7. На виході DA1.2 стримуємо напругу $U_{\text{ВИХ.}C1}$ з градуванням за шкалою Цельсія, причому:

$$U_{\text{ВИХ.}C1} = U_{\text{ВИХ}DT1} - U_{OP1},$$

де U_{OP1} – фіксована напруга, що подається на інвертуючий вхід з подільника напруги R5, R6, R7.

Далі вихідний сигнал DA1.2 через резистор R27 і обмежуючий стабілітрон поступає на В – вхід АЦП DD1.

Перетворювач опору R_{t2} в напругу (ПОН2) виконаний на ОП DA2.1, польовому транзисторі VT2, стабілізаторі VD2, резисторах R_{12} , R_{13} , які представляють собою стабілізатор струму. DA2.1 працює в режимі повторювача напруги. Струм стабілізації через резистор R_{t2} визначається так:

$$I_{Rt2} = \frac{U_{VD2}}{R_{12} + R_{13}} = 1 \text{ Ма}$$

Тоді вихідна напруга, що знімається з виходу ОП DA2.1 рівна:

$$U_{Rt2} = U_{\text{ВИХ.}DA2.1} = I_{Rt1} \times R_{t2} = 1 \times 10^{-3} \times Rt2$$

і подається через резистор R28 і обмежуючий стабілітрон VD5 на С – вхід АЦП DD1.

Вимірювання температури терморезистора T2 здійснюється аналогічним термодавачем DA2(LM335), який підключений через роз'єм x1.1 (ДТ2) до БЕВ. На виході DA2 (П2) отримуємо напругу з градуванням за шкалою Кельвіна:

$$U_{\text{ВИХ.}DT2} = 10 \times T2,$$

де T2 – температура R_{t2} в градусах Кельвіна.

На ОП DA2.2 виконано диференціальний підсилювач, який на виході формує напругу DA2 з градуванням за шкалою Цельсія. На інвертуючий вхід диференціального підсилювача поступає напруга U_{DT2} , а на інвертуючий вхід – фіксована постійна напруга U_{OP2} з подільника напруги +12В, що зібрана на резисторах R15, R16, R17. На виході DA1.2 отримуємо напругу $U_{\text{ВИХ.}C2}$ з градуванням за шкалою Цельсія, причому:

$$U_{\text{ВИХ.}C2} = U_{\text{ВИХ}DT1} - U_{OP2},$$

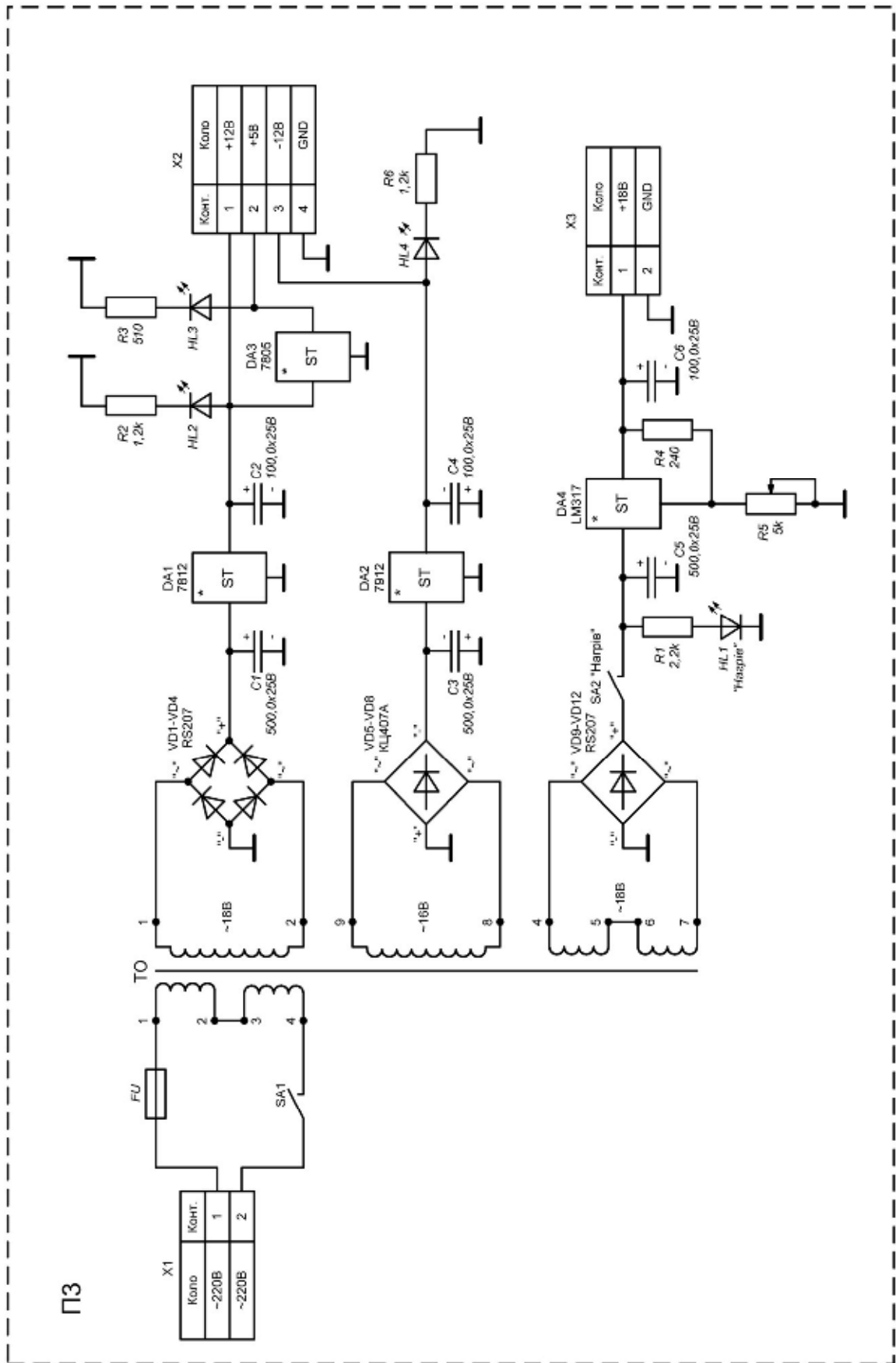


Рис. 21. Схема електрична принципова блоку живлення

На рис. 21 приведено схему електричну принципову блоку живлення (П4). Блок живлення (БЖ) складається із наступних елементів: силового трансформатора TV1, 3-х мостових випрямлячів VD1-VD4, VD5-VD8, VD9-VD12, стабілізаторів фіксованої напруги DA1, DA2, DA3 та регульованої напруги DA4.

Силовий трансформатор TV1 являється понижуючим і має 3 вторинні обмотки, причому первинною обмоткою через SA1 і запобіжник FU під'єднаний до мережі змінного струму $U=220B$, а відповідними вторинними – до виводів «~» мостових випрямлячів VD1-VD4, VD5-VD8, VD9-VD12.

Вхід «+» мостового випрямляча VD1-VD4 підключений до входу стабілізатора напруги DA1 (7812), на виході якого формується постійна напруга $U_{C1} = +12B$, причому вихід DA1 під'єднаний до входу стабілізатора DA3 (7805) з вихідною напругою стабілізації $U_{C3} = +5B$. Світлодіоди HL2, HL3 індикують наявність стабілізованих напруг $+12B$ та $+5B$.

Вихід «-» мостового випрямляча VD5-VD8 під'єднаний до входу стабілізатора DA2 (7912), на виході якого формується від'ємна напруга $U_{C2} = -12B$ наявність якої індикує світлодіод HL4.

Випрямлена напруга з мостового випрямляча VD9-VD12 (вивід «+») через тумблер SA2 подається на вхід стабілізатора регульованої напруги DA4 (LM317) і індикується світлодіодом HL1 «Нагрів». На виході DA4 за допомогою змінного резистора R5 встановлюється постійна напруга $U_{C4} = +18B$, яка використовується для підігріву спіралей нагрівача H1 або H2.

Процес автоматичного вимірювання опорів R_{t1} , R_{t2} та їх температури t_1 , t_2 починається з моменту ввімкнення тумблера SA2, при цьому засвічується світлодіод HL1 «Нагрів» і постійна напруга $+18B$ подається на об'єднаний вивід нагрівачів H1, H2 і в залежності від положення тумблерів S1.1, S1.2 відбувається підігрів спіралі H1 або H2.

Обмеження температури нагріву мікропечей до T_{max} здійснюється схемою, яка складається із компаратора напруги DA3.2 (LM358), повторювача напруги DA3.1(LM358) параметричний стабілізаторів напруги R22, VD7 та R25, VD8, електронного ключа на VT3(IRFZ44N) та світлодіодів HL1. На інвертуючий вхід компаратора DA3.2 з подільника напруги на R22, R23, R24 подається опорна напруга $U_{оп. max}$, що відповідає максимальній температурі мікропечі T_{max} , а на інвертуючий вхід компаратора, через повторювач напруги на DD3.1 і тумблер S1.1 поступає напруга з виходу термодавачів DA1 або DA2. Вихідний сигнал компаратора DA3.2 (+ $U_{нас}$) вмикає ключ VT1 через обмежуючий стабілізатор VD8 і резистор R25. Як тільки температура в мікропечі перевищує T_{max} вихідний сигнал з термодавача DA1 або DA2 через повторювач DA3.1 переключить компаратор в протилежний стан (- $U_{нас}$) і ключ VT1 закриється і засвітиться світлодіод HL1 (100°C).

3. Спеціальна частина

3.1 Розробка друкованих плат ARM експрес – дослідження параметрів терморезисторів

Розробка друкованих плат проводиться в програмі Sprint-Layout 6.0.

Крок координатної сітки – 2,5 мм.

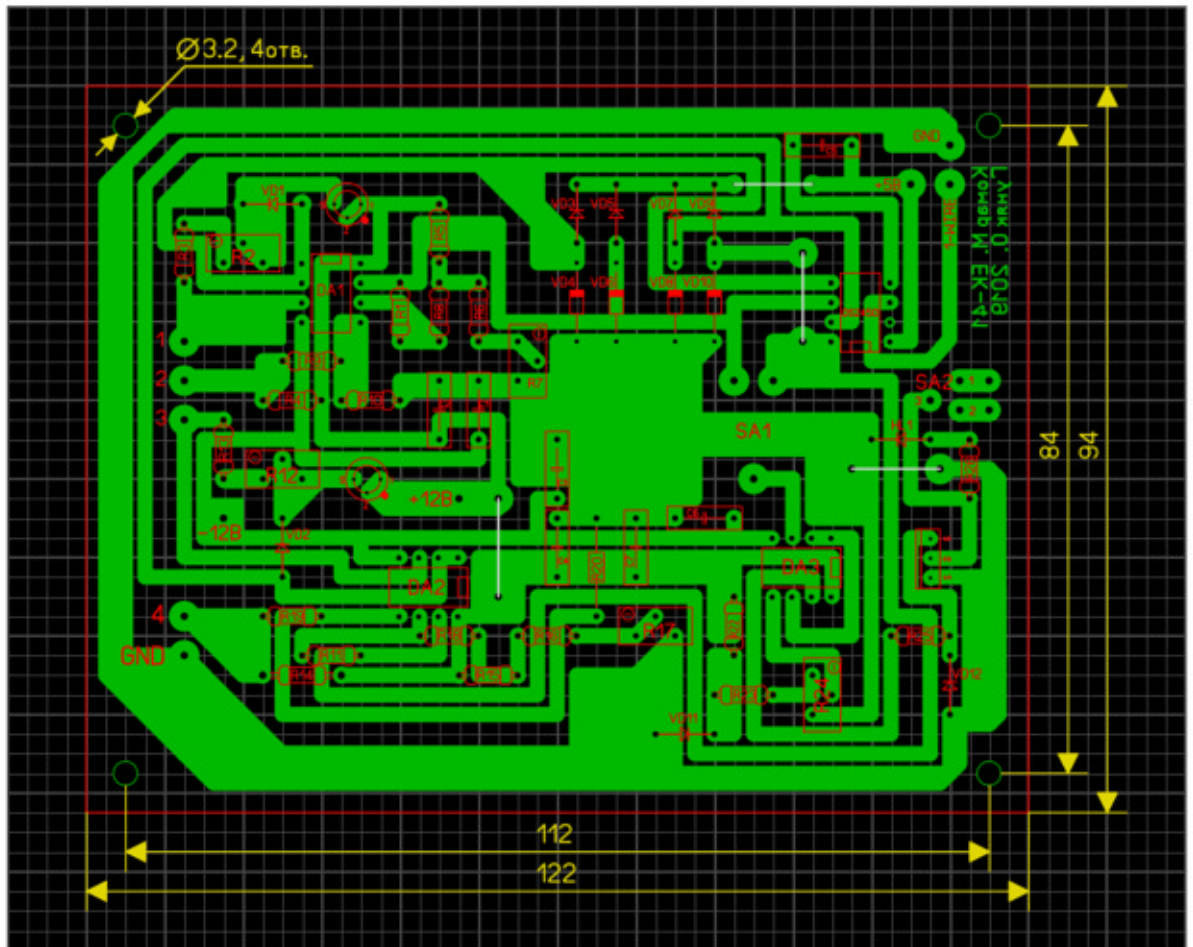


Рис. 22 Друкована плата вимірювання (П1)

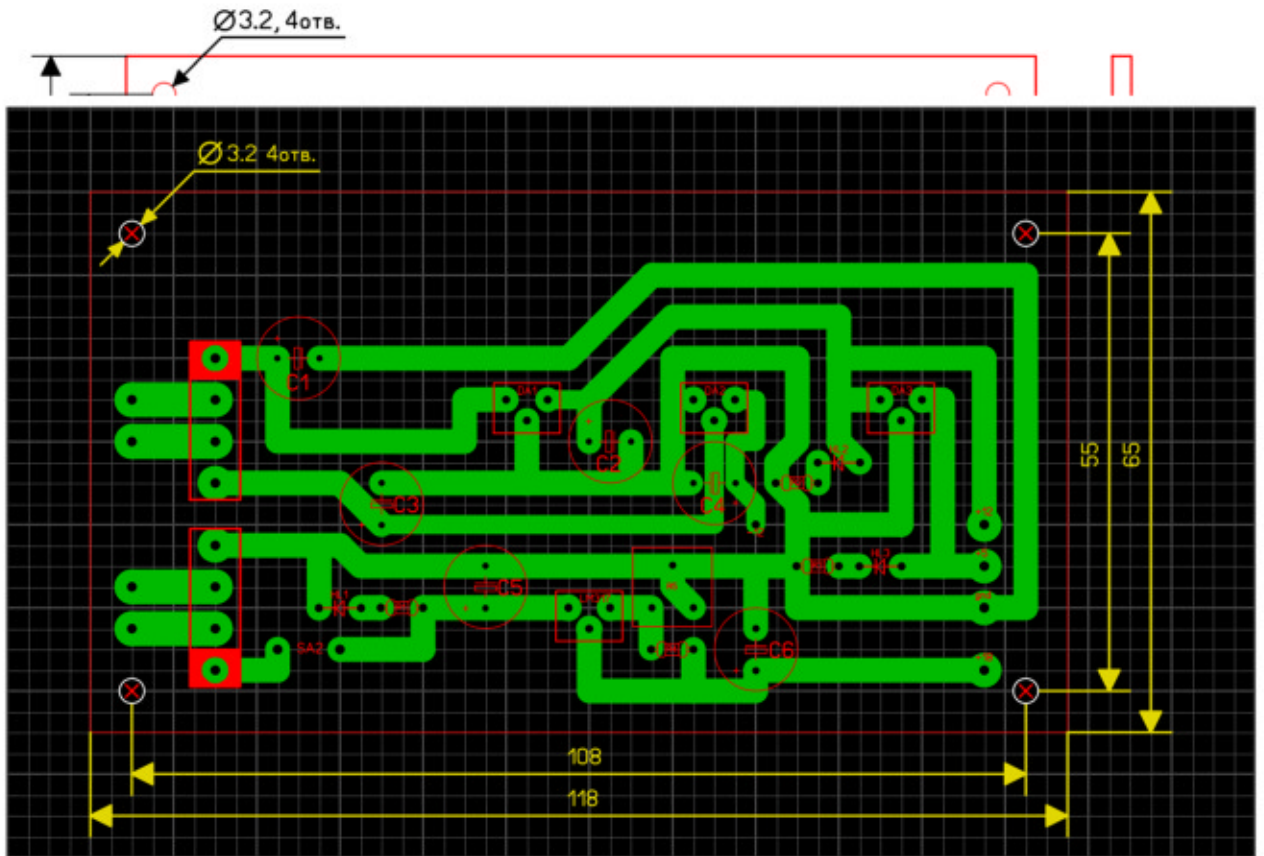


Рис. 23. Вид зверху та збоку плати вимірювання (П1)

Рис. 24. Друкована плата блока живлення (П3)

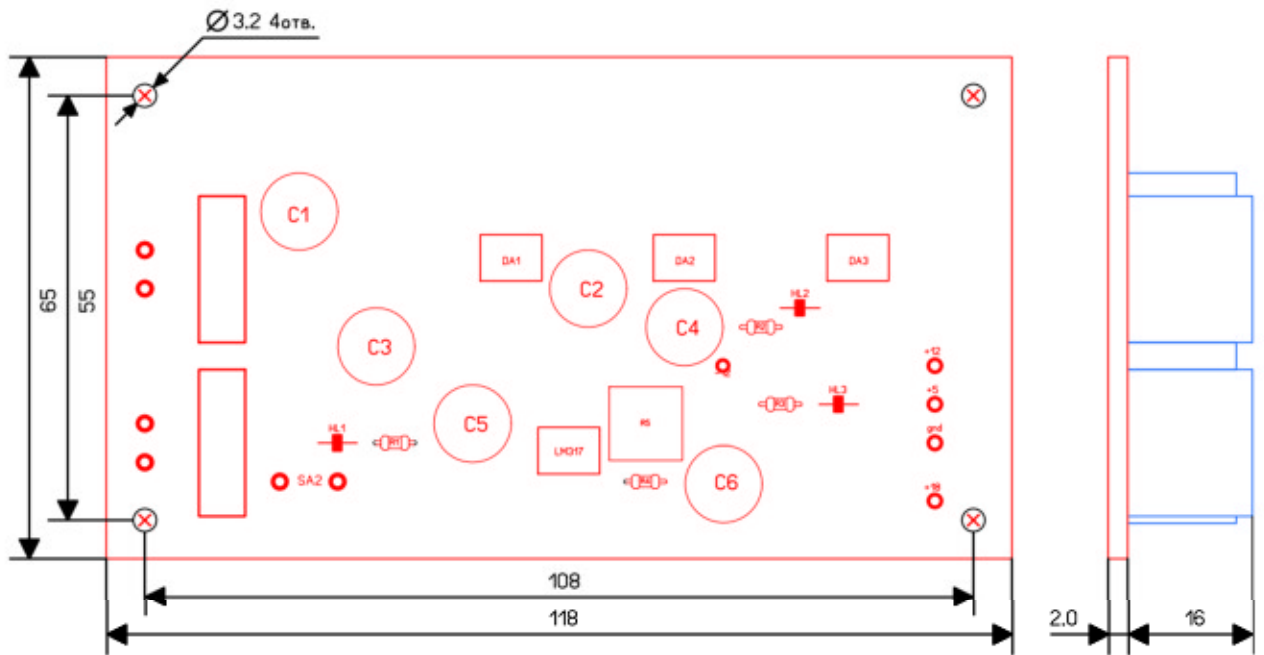


Рис. 25. Вигляд зверху та збоку плати блока живлення (ПЗ)

3.2 Розрахунок надійності

Надійність – це здатність виробу виконувати задані функції та зберігати свої технічні характеристики в допустимих межах протягом заданого проміжку часу.

У будь який момент часу прилад може знаходитися в робочому і неробочому стані. Якщо прилад чи автоматизована система в даний момент часу задовільняє всі вимоги відповідно до своїх технічних параметрів, забезпечує правильне виконання необхідних процесів і функцій, а також відповідає заданим вимогам ергономічності та естетичності, то такий стан буде називатися **робочим**. Відповідно до визначення, яке наведено вище **неробочий стан** – це стан приладу чи автоматизованої системи при якому вони не задовольняють вимоги до своїх технічних характеристик та не можуть виконувати свої функції в даний момент часу.

Для оцінки надійності вводять визначення “працездатність” і “відмова”. **Працездатність** – це стан пристрою, при якому він в даний

момент часу відповідає всім вимогам у відповідності до своїх технічних параметрів і може виконувати свої прямі функції.

Відмова – це стан пристрою, при якому він повно або частково втрачає працездатність та не може повністю виконувати свої прямі функції.

Існують такі основні експлуатаційні властивості: безвідмовність, ремонтоздатність, довговічність і збереженість.

Безвідмовність - властивість пристрою безупинно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або напрацювання. Ця властивість характеризується роботою системи до першої відмови і використовується при оцінці надійності.

Ремонтоздатність – це властивість пристрою, яка дозволяє виявляти відмови та несправності під час експлуатації, а також усувати їх за допомогою технічного обслуговування та проведення ремонту. Показниками ремонтпридатності можуть служити, наприклад, середній час для відновлення, час, який потрібний для виконання ремонту, а також ціна технічного обслуговування.

Вплив температури – це значна частина потужності, яка використовується машиною і перетворюється в теплоту. Якщо цю теплоту не відводити (АС не охолоджувати), то температура в середині АС (машини) буде зростати, що приведе до перегріву. В результаті елементи схеми, які нерозраховані на такий температурний режим почнуть виходити з ладу і це призведе до зупинки АС. Отже, чим більше виділяється теплоти, тим інтенсивніше повинна охолоджуватися АС. Поряд з температурою не менш важливим характером, який впливає на роботу АС і її пристроїв являється вологість повітря.

Вологість повітря – це величина, що характеризує вміст водяної пари в атмосфері Землі - одна з найбільш істотних характеристик погоди і клімату. Вологість повітря в насиченому стані приймається на 100 %. Нормальним станом відносності вологості є 60 – 80 %. При 40 % повітря рахується сухим, а при 80 % і більше – сирим.

Фактори які впливають на працездатність АС діляться на: кімнатні, механічні, радіаційні.

З кімнатних можна видіти наступні основні фактори: зміна температури, зміна вологості, теплові удари, наявність радіаційних потоків в атмосфері, можливість сонячного опромінення, можливість утворень грибкових мікроорганізмів, наявність мушок та гризунів.

До **механічних** відносять наявність вібрації, можливість ударів, та лінійного прискорення, акустичних ударів, наявність невагомості.

До **радіаційних** можна віднести такі фактори: космічна радіація; ядерна радіація атомних двигунів; опромінення потоками гама фотонів; швидкими нейтронами.

Тепловий удар – це вид впливу на працездатність приладу, при якому температура зовнішнього середовища збільшується різко і непередбачувано, що приводить до перегріву приладу і виходу його з ладу.

Структурна надійність будь-якого радіоелектронного апарату – це його результуюча надійність при відомій структурній схемі, відомих значеннях надійності всіх елементів, які складають структурну схему.

При складанні структурної схеми автоматизованих систем вказуються елементи пристрою і зв'язок між ними. Після чого проводять аналіз схеми, виділяють ті зв'язки, які визначають виконання основної функції даного

пристрою. З виділених основних елементів і зв'язків складається функціональна схема, при чому в ній виділяються елементи не за конструктивним, а за функціональним призначенням з таким розрахунком, щоб відмова одного функціонального елемента не викликала зміни ймовірності появи відмови у другого сусіднього функціонального елемента.

Тому при складанні окремих функціональних схем інколи необхідно об'єднувати ці конструктивні елементи відмови, які взаємозв'язані, але не впливають на відмови інших елементів.

Надійність автоматизованих систем – це властивість автоматизованих систем зберігати свої функції на протязі заданого часу при заданих умовах експлуатації.

Інтенсивність відмов розраховується експериментальним способом. Цей параметр можна охарактеризувати як число відмов, які виникають за певний проміжок часу.

$$\lambda\Sigma = \sum_{i=1}^n N_i \times a_1 \times a_2 \times \lambda_{i0}$$

n – кількість радіоелементів і елементів пристрою;

$\lambda\Sigma$ – інтенсивність відмов працюючого вузла;

λ_{i0} – інтенсивність відмов одного елементу;

n_1 – кількість елементів тієї ж серії;

a_1, a_2 – коефіцієнти.

При розрахунку надійності проекрованої РЕА інтенсивність відмов компонентів, які входять в її склад рухається постійно і визначається або технічними умовами на них, або даними, одержаними в результаті їх спеціальних випробувань на надійність. Інтенсивність відмов для різних електрорадіоелементів подана в спеціальних таблицях. Інтенсивність відмов використовується в якості основної характеристики для оцінки надійності елементів. Інтенсивність відмов елементів залежить від конструкції, якості виготовлення, від умов експлуатації і від електричних навантажень в схемі.

Таблиця №5. Інтенсивність відмов елементів

Назва елементів, які входять в блок		N_i	K_H	a_1	a_2	$\lambda_{i0}10^{-6}$	$\lambda_i = N_i \times K_H \times$ $a_1 \times a_2 \times \lambda_{i0}$ $\times 10^{-6}$
Резистори С2-33-125		29	0,3	1,07	2,0	0,22	4,10
Конденсатори	K10-17-M47	7	0,5	1,07	2,0	0,03	0,22
	SANYO-25B	6	0,5	1,07	2,0	0,02	0,13
Мікросхеми	LM358	3	0,6	1,07	1,1	0,22	0,47
	DS2450	1	0,6	1,07	1,1	0,42	0,30
	LM335	2	0,6	1,07	2,0	0,22	0,56
	LM 7812, 7805, 7905	3	0,6	1,07	1,1	0,22	0,47
	LM317	1	0,6	1,07	1,1	0,22	0,16
Датчики DS18B20		2	0,5	1,07	2,0	0,22	0,47
Діоди	Д818Е	2	0,4	1,07	2,0	0,07	0,12
	КС147	10	0,4	1,07	2,0	0,1	0,87
	RS207	8	0,4	1,07	2,0	0,045	0,31
	КЦ407А	4	0,4	1,07	2,0	0,045	0,15
Світлодіоди		5	0,4	1,07	2,0	0,1	0,43
Терморезистори		2	0,3	1,07	2,0	0,001	0,17
Транзистори		3	0,5	1,07	2,0	0,3	0,97
Тумблери		4	0,5	1,07	1,1	1,0	2,35
Запобіжник		1	0,3	1,07	1,5	0,2	0,96
Трансформатор		1	0,5	1,07	1,5	3,0	2,41
Роз'єми		10	0,4	1,07	1,0	0,5	2,14
Ручна пайка з друкованим монтажем		162	0,2	1,07	3,5	0,05	6,07
$\lambda\Sigma =$							23,83

За формулою $P(t) = e^{-\Sigma \times t}$ визначається залежність надійності від часу напрацювання приладу:

$$P_0(0) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 0} = 1$$

$$P_0(1000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 1000} = 0,98$$

$$P_0(2000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 2000} = 0,95$$

$$P_0(3000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 3000} = 0,93$$

$$P_0(4000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 4000} = 0,91$$

$$P_0(5000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 5000} = 0,89$$

$$P_0(6000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 6000} = 0,87$$

$$P_0(7000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 7000} = 0,85$$

$$P_0(8000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 8000} = 0,83$$

$$P_0(9000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 9000} = 0,81$$

$$P_0(10000) = e^{-23,83 \times 10^{-6} \times 10000} = 0,79$$

Визначаю середній час напрацювання на відмову за формулою:

$$T_{ср} = \frac{1}{\lambda \Sigma};$$

$$T_{ср} = \frac{1}{23,83 \times 10^{-6}} = 41\,963 \text{ год}$$

За даними $P(t)$ будує графік ймовірності безвідмовної роботи пристрою.

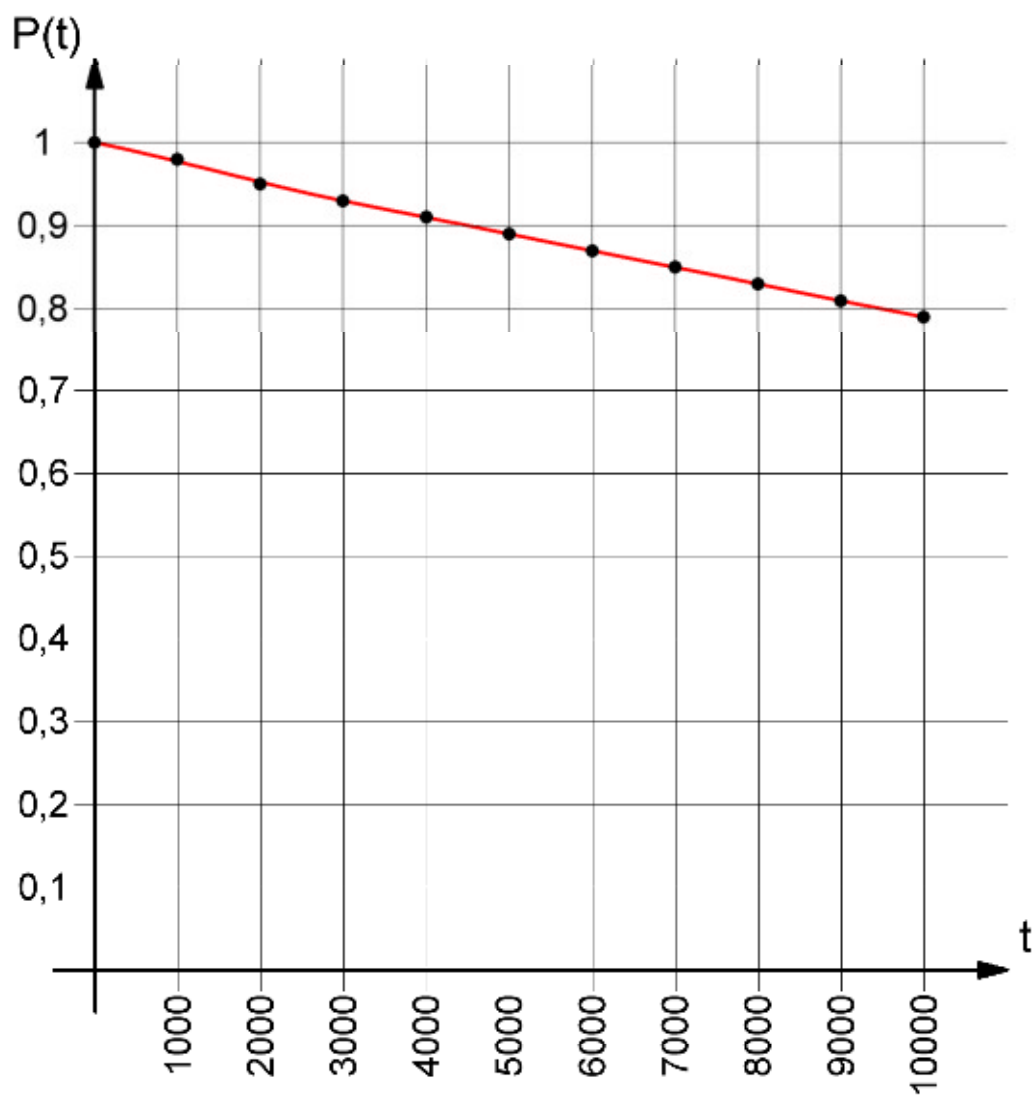


Рис. 26. Графік ймовірності безвідмовної роботи пристрою

3.3. Розрахунок споживаної потужності

1) Споживана потужність плати вимірювання П1:

$$\begin{aligned} P_{D1} &= I_c \times U_{c1} + I_c |U_{c2}| = 7 \times 10^{-3} \times 12 + 0,7 \times 10^{-3} \times 12 \\ &= 1,4 \times 10^{-3} \times 12 = 0,0168 \text{ Вт} \end{aligned}$$

- Споживана потужність ІМС DA1 (LM358)
- Споживана потужність ІМС DA2 (LM358)
- Споживана потужність ІМС DA3 (LM358)
- Споживана потужність АЦП DD1 (DS2450)

$$\begin{aligned} P_{D2} &= I_c \times U_{c1} + I_c |U_{c2}| = 7 \times 10^{-3} \times 12 + 0,7 \times 10^{-3} \times 12 \\ P_{D3} &= I_c \times U_{c1} + I_c |U_{c2}| = 7 \times 10^{-3} \times 12 + 0,7 \times 10^{-3} \times 12 \\ &= 1,4 \times 10^{-3} \times 12 = 0,0168 \text{ Вт} \end{aligned}$$

$$P_{DD1} = I_c \times U_{c1} = 0,5 \times 10^{-3} \times 5 = 0,0025 \text{ Вт}$$

- Потужність, що виділяється на ключовому транзисторі VT3

$$P_{VT3} = I_H \times U_{CB} = 0,8 \times 2 = 0,16 \text{ Вт}$$

- Потужність, що випромінюється світлодіодом HL1

$$P_{HL} = I_{HL} \times U_{HL} = 10 \times 10^{-3} \times 2,5 = 0,025 \text{ Вт}$$

- Потужність розсіювання на резисторі R26

$$\begin{aligned} P_{R2} &= I_{HL}^2 \times R_2 = (10 \times 10^{-3})^2 \times 1200 = 100 \times 10^{-6} \times 1200 \\ &= 0,12 \text{ Вт} \end{aligned}$$

2) Споживана потужність нагрівача Н1 (Н2) плати П2:

$$P_{H,2} = I_H \times U_C = 0,8 \times 18 = 14,4 \text{ Вт}$$

3) Загальна споживана потужність плати вимірювання П1 та П2:

$$\begin{aligned} P_{П1,2} &= P_{DA1} + P_{DA2} + P_{DA3} + P_{DD1} + P_{HL} + P_{VT3} + P_{HL} + P_{R2} = \\ &= 0,0168 + 0,0168 + 0,0168 + 0,0025 + 14,4 + 0,16 + 0,025 + 0,12 \\ &= 14,75 \text{ Вт} \end{aligned}$$

4) Споживана потужність блоку живлення (ПЗ):

- Потужність, що виділяється на прохідному транзисторів стабілізатора напруги DA1 (7812)

$$P_{DA1} = I_H \times \Delta U_1,$$

де ΔU_1 – спад напруги на ІМС

$$\Delta U_1 = U_{вх} - U_{вих} = 18 - 12 = 6 \text{ В}$$

$$I_H = 100 \times 10^{-3} \text{ А} = 0,1 \text{ А}$$

$$P_{DA1} = 0,1 \times 6 = 0,6 \text{ Вт}$$

- Потужність, що виділяється на прохідному транзисторі стабілізатора напруги DA3 (7805)

$$P_{DA3} = I_H \times \Delta U_3,$$

де ΔU_3 – спад напруги на ІМС

$$\Delta U_3 = U_{вх} - U_{вих} = 12 - 5 = 7 \text{ В}$$

$$I_H = 50 \text{ мА} = 0,05 \text{ А} \text{ – струм навантаження;}$$

$$P_{DA3} = 0,05 \times 7 = 0,35 \text{ Вт}$$

- Потужність, що виділяється на прохідному транзисторі стабілізатора напруги DA2 (7912)

$$P_{DA2} = I_H \times \Delta U_2,$$

де ΔU_2 – спад напруги на ІМС

$$\Delta U_2 = U_{вх} - U_{вих} = 16 - 12 = 4 \text{ В}$$

$$I_H = 50 \text{ мА} = 0,05 \text{ А} \text{ – струм навантаження;}$$

$$P_{DA2} = 0,05 \times 4 = 0,2 \text{ Вт}$$

- Потужність, що виділяється на прохідному транзисторі стабілізатора напруги DA4 (LM317)

$$P_{DA4} = I_H \times \Delta U_4,$$

де ΔU_4 – спад напруги на ІМС

$$\Delta U_4 - U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}} = 22 - 18 = 4 \text{ В}$$

$I_H = 0,9 \text{ А}$ – струм навантаження;

$$P_{DA4} = 0,9 \times 4 = 3,6 \text{ Вт}$$

- Потужність випромінювання світлодіодами HL1, HL2, HL3, HL4

$$P_{HL} = P_{HL} = P_{HL} = P_{HL} = I_{VD} \times U_{VD} = 10 \times 10^{-3} \times 2,5 = 0,25 \text{ Вт}$$

- Загальна потужність випромінювання світлодіодів HL1, HL2, HL3, HL4

$$P_{HL} = 4 \times P_{HL} = 4 \times 0,025 = 0,1 \text{ Вт}$$

- Потужність розсіювання резисторами R1, R2, R3, R4

$$P_{R1} = I_{VD}^2 \times R_1 = (10 \times 10^{-3})^2 \times 2200 = 0,22 \text{ Вт}$$

$$P_{R2} = I_{VD}^2 \times R_2 = (10 \times 10^{-3})^2 \times 1200 = 0,12 \text{ Вт}$$

$$P_{R3} = I_{VD}^2 \times R_3 = (10 \times 10^{-3})^2 \times 510 = 0,051 \text{ Вт}$$

$$P_{R4} = I_{VD}^2 \times R_4 = (10 \times 10^{-3})^2 \times 1200 = 0,12 \text{ Вт}$$

- Загальна потужність розсіювання на резисторах R1, R2, R3, R4

$$P_R = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} + P_{R4} = 0,22 + 0,12 + 0,051 + 0,12 = 0,51 \text{ Вт}$$

- Потужність втрат на вентилях мостового випрямляча VD1...VD4

$$P_{VD1...4} = I_{\text{пр}} \times U_{\text{пр}} \times N = 0,1 \times 1 \times 4 = 0,4 \text{ Вт},$$

де $N=4$ – загальна кількість вентилів у випрямлячі

- Потужність втрат на вентилях мостового випрямляча VD5...VD8

$$P_{VD5...8} = I_{\text{пр}} \times U_{\text{пр}} \times N = 0,05 \times 1 \times 4 = 0,2 \text{ Вт}$$

- Потужність втрат на вентилях мостового випрямляча VD9...VD12

$$P_{VD \dots 12} = I_{\text{пр}} \times U_{\text{пр}} \times N = 0,9 \times 1 \times 4 = 3,6 \text{ Вт}$$

5) Загальна споживана потужність БЖ (ПЗ):

$$P_{\text{ПЗ}} = P_{DA1} + P_{DA2} + P_{DA3} + P_{DA4} + P_{HL} + P_R + P_{VD1...4} + P_{VD5...8} \\ + P_{VD \dots 12} =$$

$$= 0,6 + 0,35 + 0,2 + 3,6 + 0,025 + 0,1 + 0,22 + 0,12 + 0,051 + 0,12 + 0,51 = 5,9 \text{ Вт}$$

б) Загальна споживана потужність приладу:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{П1,2}} + P_{\text{П3}} = 14,75 + 5,9 = 20,65$$

7) Споживана потужність від мережі змінного, враховуючи ККД трансформатора $\eta=0,85$

$$P_{\text{М}} = \frac{P_{\Sigma}}{\eta} = \frac{20,65}{0,85} \approx 25 \text{ Вт}$$

3.4. Експериментальна частина

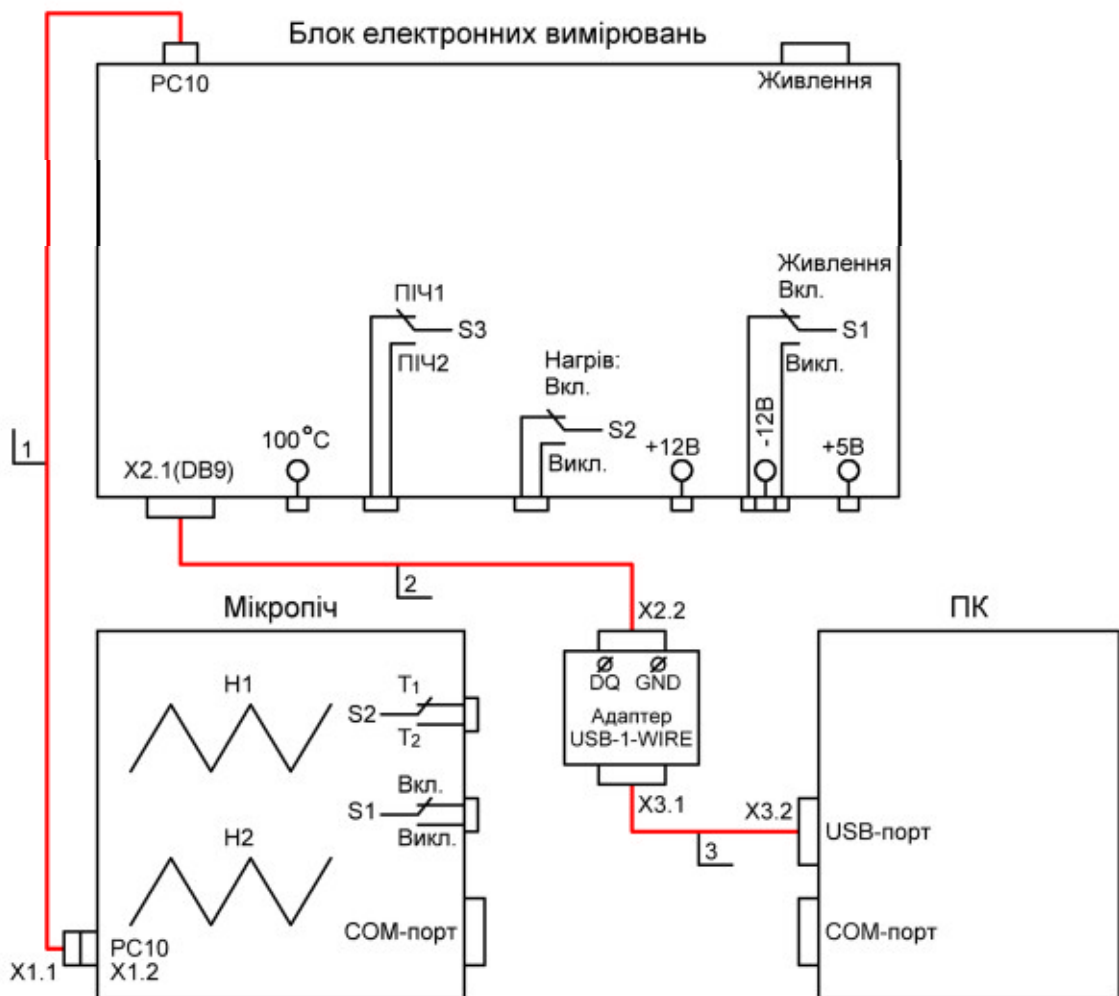


Рис. 27. Схема з'єднань АРМ

Необхідне обладнання:

- Блок АРМ (Блок електронних вимірювань, мікропечі).
- Адаптер USB-1-WIRE.
- З'єднуючі кабелі (1,2,3).
- ПК.

Програма роботи:

1. Провести дослідження температурної залежності опорів термістора і позистора.
2. Визначити енергію активації $A(\Delta E)$, константу B (коефіцієнт температурної чутливості) і температурний коефіцієнт опору (ТКО).

Порядок виконання роботи:

1. Зробити з'єднання блоків АРМ згідно схеми з'єднань зображеної на рис. 2.5.1.
2. Увімкнути ПК.
3. Увімкнути тумблер $S1$ на БЕВ, при цьому засвічуються світлодіоди, що індикують наявність напруг живлення: +12В, -12В, +5В.
4. Запустити програму **iButton Viewer 32**, при цьому на моніторі висвітиться зображення інтерфейсу програми (рис. 2.5.2).

Здійснюємо настройку багатоканального АЦП DS2450 наступним способом:

- зі списку Sample Rate (s) вибираємо період вимірювання температури і опору взірця 4 секунди;
- вимикаємо канали А, В, С, В;
- вибираємо закладку **Sutup** каналу А і встановлюємо наступні параметри АЦП:

Seale 2,55V – діапазон вимірювання $U_{вх}$.

Bit Resolution 12 – кількість розрядів АЦП.

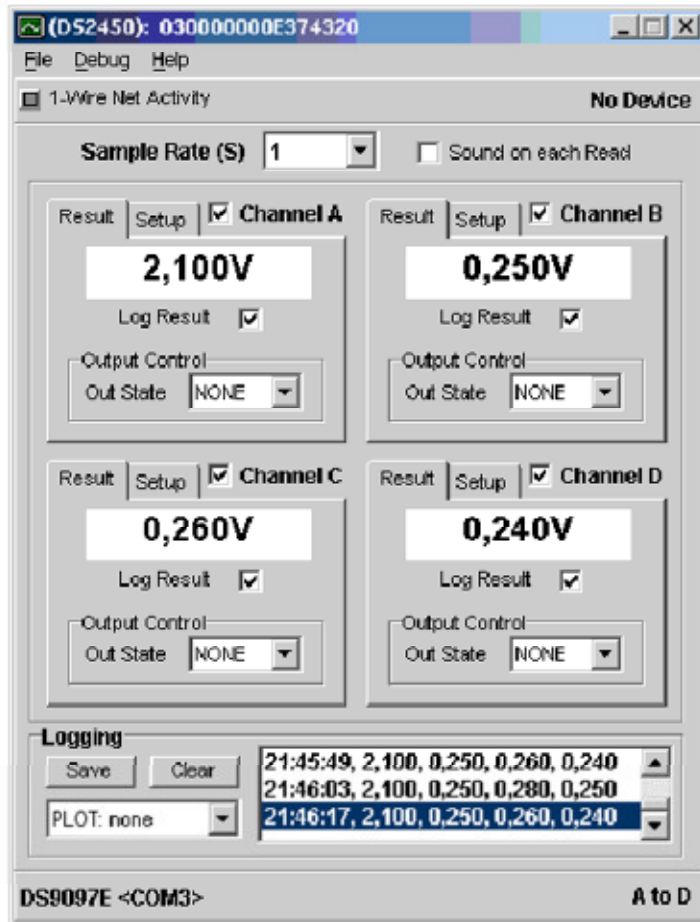


Рис. 28. Вікно програми iButton Viever

- включаємо закладку **Result**;
- параметр **Out state** встановлюємо в режим **None**;
- в аналогічній послідовності здійснюємо настройку B, C і D каналів АЦП.

5. АЦП готовий до вимірювання вхідних величин, так по каналу **A** йде вимірювання опору, а по каналу **B** – вимірювання температури, причому покази результатів визначаються так:

$$t^{\circ}\text{C} = U_{\text{вихB}} \times 10^2 [\text{B}]; \quad 21,8^{\circ}\text{C} \rightarrow 0,218 \text{ V}$$

$$R_{\text{T}}[\text{Ом}] = U_{\text{вихA}} \times 10^3 [\text{B}]; \quad 944 \text{ Ом} \rightarrow 0,944 \text{ V}$$

Програма передбачає збереження результатів вимірювання з каналів при попередній очистці даних кнопкою «Clear». Програмне забезпечення передбачає вивід графічного зображення по одному з вибраних каналів Plot: A (рис. 29).

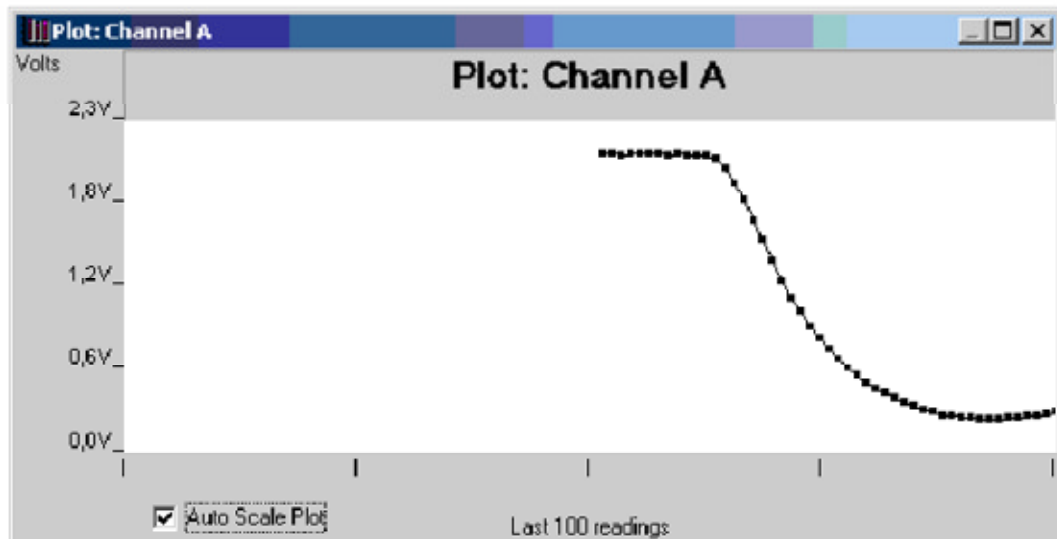


Рис. 29. Вікно програми iButton Viewer

6. Встановлюємо тумблер S2 на БЕВ в положення «Піч 2». Вибираємо об'єкт дослідження: позистор (тумблер S1 на блоці мікропечі – в положенні T1) або термистор (S1 на блоці мікропечі - в положенні T2).
7. Очищуємо дані вимірювання і вмикаємо тумблер S2, при цьому вмикається індикатор «Нагрів».
8. При досягненні температури мікропечі $t = 100^{\circ}\text{C}$, вмикається нагрівання мікропечі, індикатор « 100°C » вмикається, тумблер S2 ставимо в положення «Викл.».
9. Для збереження результатів вимірювання натискаємо кнопку „Save”.

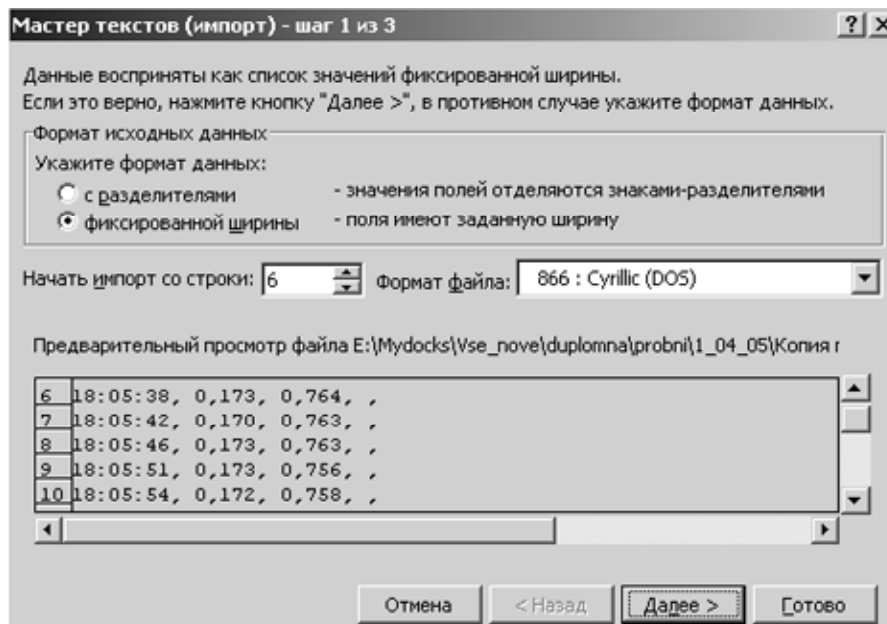


Рис. 30. Вікно програми iButton Viewer

Файлу надаємо будь-яку назву, наприклад „metal”. Дані зберігаються в текстовому файлі і записані в рядок. Перетворення даних в стовпець здійснюється за допомогою програми **Microsoft Excel**. Потрібно виконати наступні дії: **Файл** → **Открыть**. З’являється вікно **открытие документа**, вказуємо файл який потрібно відкрити. Зазначаємо в **Тип файлов**→ **Все файлы**. На екрані дисплея появляється **Мастер текстов** (рис.5.4), потрібно вказати **Начать импорт со строки 6**. Після чого потрібно натисну на кнопку **Далее**, з’явиться вікно (рис. 5.3), де потрібно вказати межі стовпців, і натискаємо клавішу **Готово**.

10.Обработка результатов измерения и построение графиков

$$R = f(T^{\circ}\text{C}) \text{ та } L R_T = F\left(\frac{1}{T}\right)$$

здійснюється програмою **Origin 6.1**. Отримані дані в **Excel** копіюємо в **Origin 6.1** і обробляємо їх. Дані результатів вимірювання і обробки оформляємо у вигляді таблиць (таблиця 5.1 і таблиця 5.2).

11. Основні параметри термістора:

Отримавши вихідні дані з графіків визначаємо енергію активації $A(\Delta E)$, константу B (коефіцієнт температурної чутливості) і температурний коефіцієнт опору (ТКО).

Таблиця №6. Дослідження термістора

	U_T [В]	U_R [В]	T °C	R_T [Ом]	$1/T$ [°K]	$\ln R$
1	0,220	2,430	22	2 430		
2	0,250	2,000	25	2 000	0,0034	7,70
3	0,270	2,020	27	2 020		
4	0,310	1,790	31	1 790		
5	0,330	1,660	33	1 660		
6	0,360	1,480	36	1 480		
7	0,400	1,270	40	1 270		
8	0,460	1,030	46	1 030		
9	0,490	0,930	49	930		
10	0,510	0,870,	51	870		
11	0,530	0,820	53	820		
12	0,560	0,750	56	750		
13	0,610	0,630	61	630		
14	0,630	0,590	63	590		
15	0,660	0,550	66	550		
16	0,690	0,510	69	510		
17	0,710	0,460	71	460		
18	0,730	0,440	73	440		
19	0,750,	0,420,	75	420		
20	0,780	0,390	78	390		
21	0,790	0,370	79	370		
22	0,810	0,340	81	340		
23	0,830,	0,320	83	320		
24	0,850,	0,310	86	310	0,0028	5,74
25	0,890,	0,280	89	280		
26	0,910	0,260	91	260		
27	0,923	0,250	92	250		

U_T [В] – значення температури у вольтах по каналу А;

U_R [В] – значення опору термістора у вольтах по каналу В.

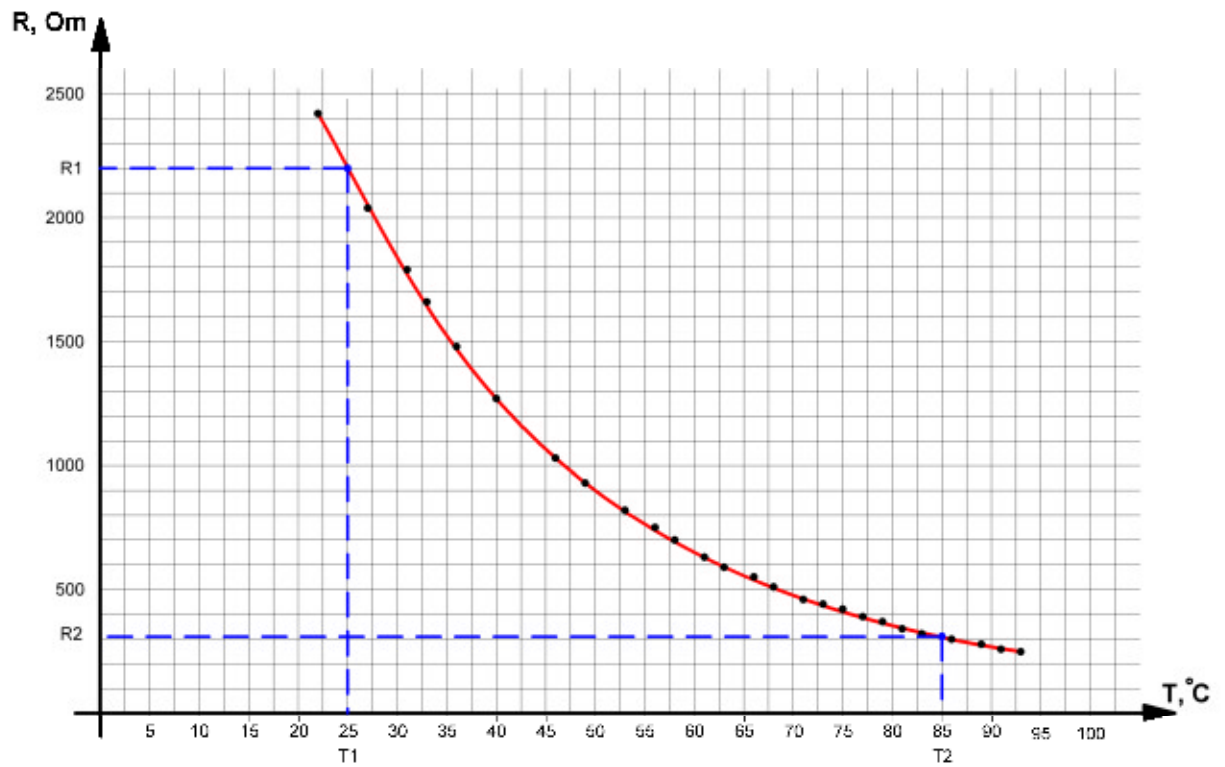


Рис. 31 Температурна характеристика термістора

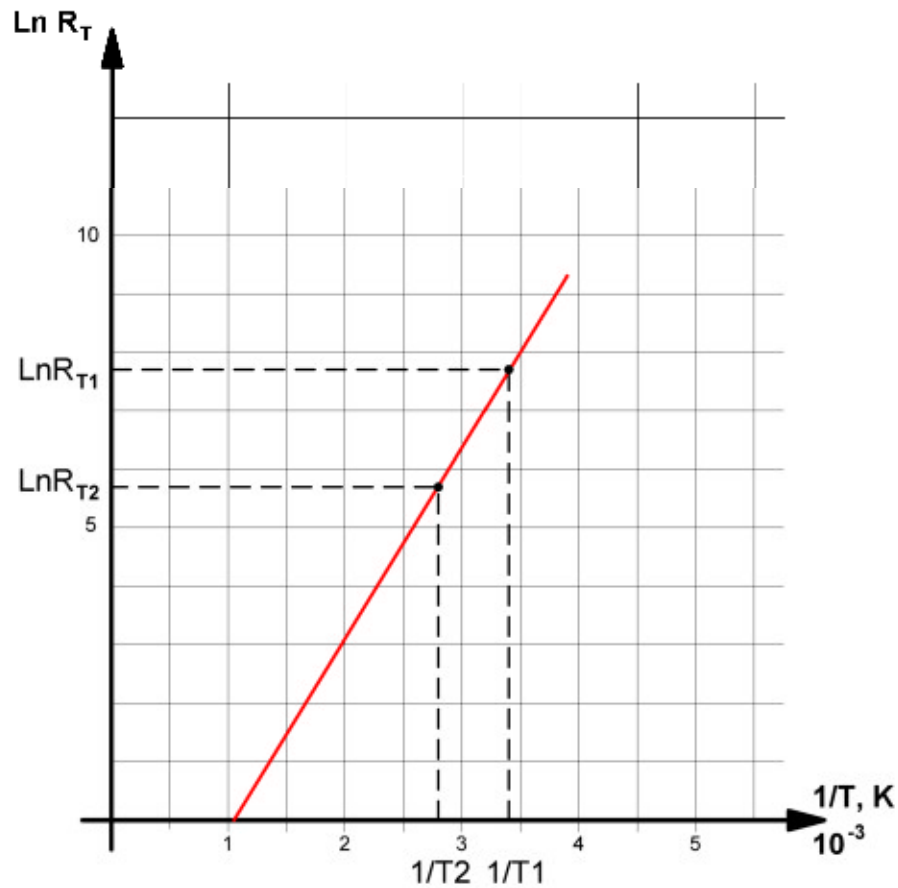


Рис. 32. Температурна характеристика термістора в координатах : $\text{Ln } R = f(1/T)$

Розрахунок основних параметрів термістора:

Вихідні дані:

- $T_1 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- $T_2 = 85^\circ\text{C} = 358,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- $R_1 = 2200 \text{ Ом}$
- $R_2 = 310 \text{ Ом}$
- $\frac{1}{T_1} [\text{K}] = 0,0034 \text{ }^\circ\text{K}$
- $\frac{1}{T_2} [\text{K}] = 0,0028 \text{ }^\circ\text{K}$
- $L R_1 = 7,70$
- $L R_2 = 5,74$

1. Визначимо енергію активації $A(\Delta E)$

$$A = \Delta E = 2K \times \frac{l R_1 - l R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = 2K \times T_1 \times T_2 \times \frac{l R_1 - l R_2}{T_2 - T_1} =$$

$$= 2 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 298,15 \times 358,15 \times \frac{7,70 - 5,74}{358,15 - 298,15} =$$

$$= 294\,719,5 \times 10^{-23} \times \frac{1,96}{60} = 9627,50 \times 10^{-23} \text{ Дж} = 0,6 \text{ e} \times \text{В}$$

$$1 \text{ Дж} = 6,24 \times 10^1 \text{ e} \times \text{В}$$

2. Визначимо константу B (коефіцієнт температурної чутливості)

$$B = \frac{A}{2K} = \frac{\Delta E}{2K} = \frac{9627,50 \times 10^{-23}}{2 \times 1,38 \times 10^{-23}} = 3\,488,22 \text{ К}$$

3. Визначимо температурний коефіцієнт опору (ТКО)

$$\lambda_T = -\frac{B}{T_1^2} = -\frac{3\,488,22}{298,15^2} = -0,039 \frac{1}{\text{К}}$$

$$\lambda_{T\%} = \lambda_T * 100\% = -3,9\%$$

Таблиця №7. Довідникові параметри термістора NTC

Параметри	Значення	Одиниця вимірювання
Значення опору при $t = 25^\circ\text{C}$	2 200	Ом
Допустима похибка значення опору	± 3	%
B значення при $t = 25/85^\circ\text{C}$	від 2280 до 4570	К
Діапазон робочих температур	Від -40 до +125	$^\circ\text{C}$
Час відгуку	$\sim 1,2$	с
Максимальна потужність при 55°C	500	мВт
ТКО	-4,8	%
Вага	$\sim 0,3$	г

Висновок: порівнюючи дані реальних вимірювань і розрахунків із довідниковими даними (таблиця 2.5.2) можна вважати що експрес-аналіз параметрів терморезистора проведений вірно.

Таблиця №8. Дослідження позистора

	U_T [В]	U_R [В]	T °C	R_T [Ом]	$1/T$ [°K]	$Ln R$
1	0,240	0,380	24	380		
2	0,250	0,390	25	390		
3	0,260	0,400	26	400		
4	0,270	0,400	27	400		
5	0,280	0,410	28	410		
6	0,300	0,420	30	420		
7	0,330	0,430	33	430		
8	0,350	0,450	35	450		
9	0,370	0,480	37	480		
10	0,400	0,520	40	520		
11	0,420	0,560	42	560		
12	0,450	0,620	45	620		
13	0,470	0,700	47	700		
14	0,500	0,800	50	800		
15	0,530	0,920	53	920		
16	0,550	1,090	55	090		
17	0,580	1,450	58	450		
18	0,600	2,010	60	2 010		

U_T [В] – значення температури у вольтах по каналу С;

U_R [В] – значення опору позистора у вольтах по каналу D.

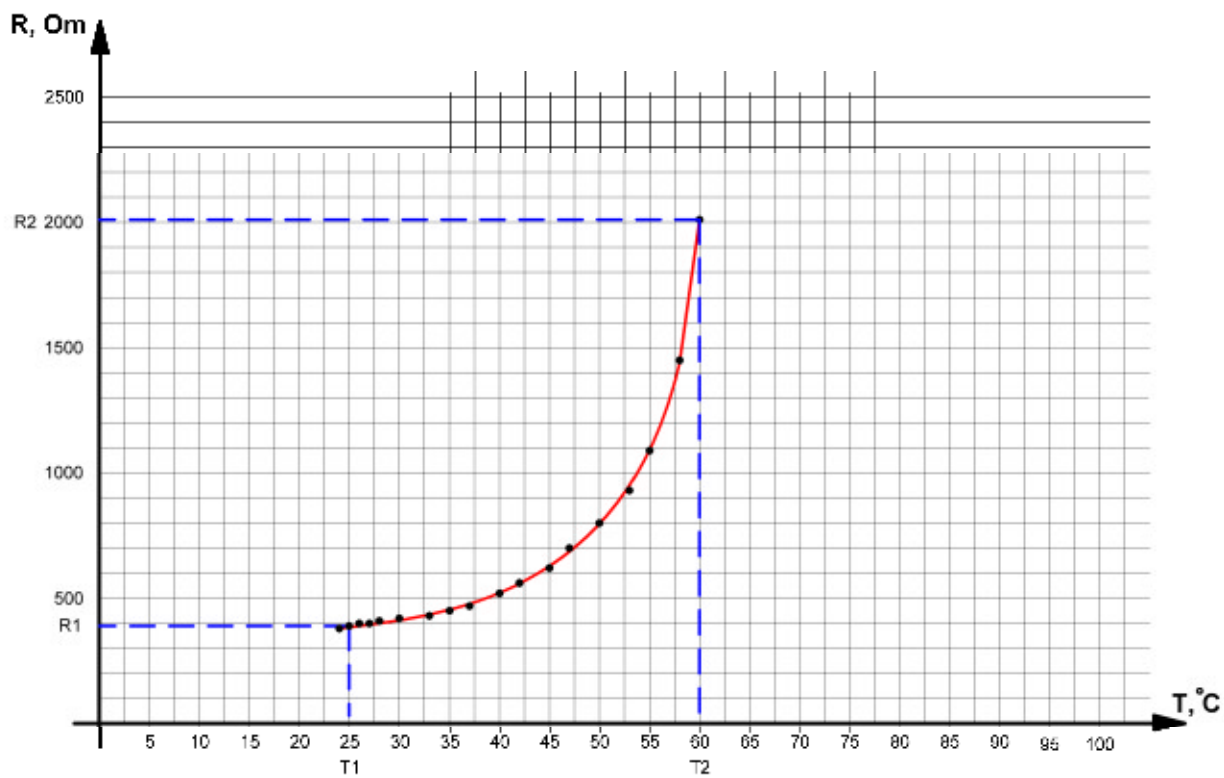


Рис. 33 Температурна характеристика позистора

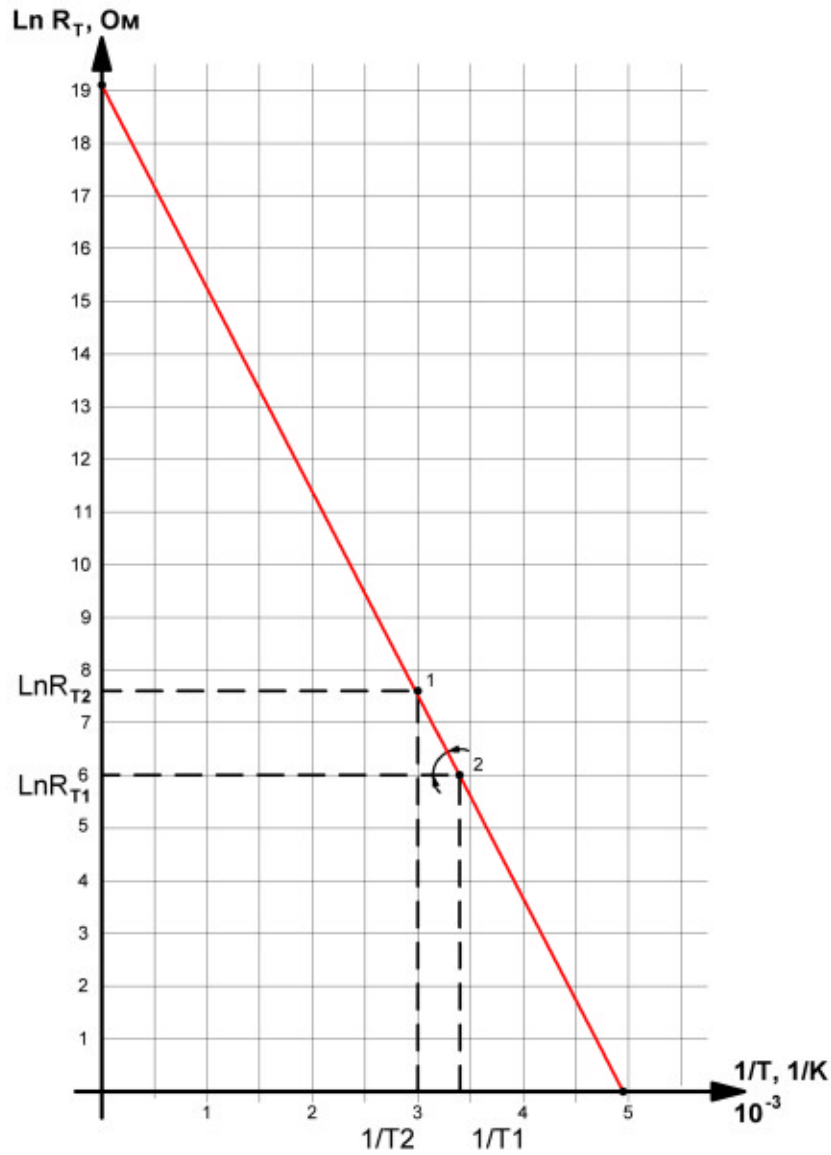


Рис. 34. Температурна характеристика позистора в координатах : $\text{Ln } R = f(1/T)$

Розрахунок основних параметрів позистора:

Вихідні дані:

- $T_1 = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- $T_2 = 60^\circ\text{C} = 333,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- $R_1 = 390 \text{ Ом}$
- $R_2 = 2010 \text{ Ом}$
- $\frac{1}{T_1} = 0,0034 \text{ }^\circ\text{K}$
- $\frac{1}{T_2} = 0,0030 \text{ }^\circ\text{K}$
- $L R_1 = 7,61$

- $L R_2 = 5,97$

1. Визначимо енергію активації $A(\Delta E)$

$$\begin{aligned}
 A = \Delta E &= 2K \times \frac{l R_2 - l R_1}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = 2K \times T_1 \times T_2 \times \frac{l R_1 - l R_2}{T_2 - T_1} = \\
 &= 2 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 298,15 \times 333,15 \times \frac{7,61 - 5,97}{333,15 - 298,15} = \\
 &= 274\,147,13 \times 10^{-23} \times \frac{1,64}{35} = 12\,488 \times 10^{-23} \text{ Дж} = 0,8 \text{ e} \times \text{В}
 \end{aligned}$$

$$1 \text{ Дж} = 6,24 \times 10^1 \text{ e} \times \text{В}$$

2. Визначимо константу B (коефіцієнт температурної чутливості)

$$B = \frac{A}{2K} = \frac{\Delta E}{2K} = \frac{12\,488 \times 10^{-23}}{2 \times 1,38 \times 10^{-23}} = 4\,524,63 \text{ К}$$

3. Визначимо температурний коефіцієнт опору (ТКО)

$$\lambda_T = \frac{B}{T_1^2} = \frac{4\,524,63}{298,15^2} = 0,05 \frac{1}{\text{К}}$$

4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

4.1 Охорона праці в Україні

4.1.1 Охорона праці в законах та підзаконних актах

Законодавчими актами, що визначають основні положення про охорону праці належать: «Конституція України», Закон України «Про охорону праці», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», Кодекс законів про працю.

В **статті 43** Конституції України записано: «Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає або на яку вільно погоджується», «Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, заробітну плату, не нижчу від визначеної законом», «Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється».

4.1.2 Статистика нещасних випадків в Україні

Як свідчать статистичні дані 2020 року, на підприємствах, в установах, організаціях України всіх форм власності щоденно травмується в середньому понад 200 працівників, з них близько 30 стають інвалідами і 5—6 осіб одержують травми зі смертельними наслідками. Випадки загибелі людей, зайнятих у суспільному виробництві, в Україні трапляються частіше, ніж у Великобританії в 6 разів, і частіше ніж у Японії — в 5.

Найбільша кількість травм на виробництві зафіксована в соціально-культурній сфері та торгівлі – 23% від їх загальної кількості (1017 випадків), а також вугільній промисловості – 20% (864 випадки). Ще 13% травм (578 випадків) припадає на агросектор.

Тобто, ці три галузі сукупно дають понад половину усіх травматичних випадків, отриманих за минулий рік на українських підприємствах.

Натомість, найменш травматичними є котлонагляд та обслуговування підйомних споруд – лише 20 травм. Не набагато вищим є показник травматизму в легкій промисловості та нафтогазовидобувній галузі. Проте деякі з цих галузей вирізняє важкий характер отриманих травм. Зокрема, в сфері котлонагляду та обслуговування підйомних споруд з 20 травматичних випадків 6 (майже третина) мали смертельні наслідки.

4.2 Вимоги безпеки при виготовленні АРМ експрес - дослідження параметрів терморезисторів

4.2.1 Загальні положення

Одним із найважливіших завдань охорони праці є забезпечення таких умов праці, які б виключали можливість дії на працівників різних небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Для запобігання травматизму на робочому місці з усіма працівниками проводяться навчання і перевірка знань з питань охорони праці, видом якого є інструктажі з охорони праці – первинний, повторний, позаплановий, цільовий – по інструкціях з охорони праці, розроблених згідно Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 29 січня 1998р. №9.

4.2.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи необхідно:

- пройти інструктаж;
- підготувати робоче місце;
- звільнити його від зайвих матеріалів та предметів;
- перевірити освітленість робочого місця;
- ознайомитися з приладами та обладнанням.

4.2.3 Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи необхідно:

- складати електричні схеми та виконувати в них перемикання тільки за відсутності напруги живлення;
- схему складати так, щоб проводи не перехрещувалися та не були натягнуті;
- під час паяння як флюс використовувати каніфоль;
- під час роботи стежити, щоб руки, одяг, волосся не торкалися оголених проводів;
- складену схему вмикати тільки після детального огляду;
- не перевіряти наявність напруги пальцями;
- в усіх випадках виявлення пошкодження електропроводки, обладнання, вимірювальних приладів негайно вимкнути рубильник.

4.2.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після закінчення роботи необхідно:

- вимкнути схему (прилад) з мережі живлення;
- відключити напругу у всій лабораторії;
- вимірювальні прилади, інструменти покласти у відведене для цього місце;
- прибрати робоче місце від відходів, пилу, та зайвих деталей;
- при виявленні в процесі роботи недоліків повідомити про них керівника робіт.

4.2.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

При виникненні аварійних ситуацій, працівник повинен:

- при пошкодженні обладнання, кабелів, дротів, несправності заземлення, появі запаху горілого, появі незвичного шуму та інших несправностях, негайно вимкнути електроживлення обладнання та сповістити про те, що сталося, безпосереднього керівника робіт;

- при виявленні ознак горіння (дим, запах горілого) відімкнути електроживлення, знайти джерело загорання та вжити заходів щодо гасіння пожежі за допомогою наявних первинних засобів пожежогасіння, сповістити про ситуацію безпосереднього керівника робіт та не допускати в небезпечну зону сторонніх осіб;
- у будь-яких випадках збоїв технічного обладнання або інших нештатних ситуацій негайно повідомити про це керівника робіт;
- у разі раптового погіршення здоров'я негайно залишити робоче місце, сповістити про подію безпосереднього керівника робіт і за необхідності звернутися до лікаря.

При нещасному випадку та наявності травмованих:

- усунути вплив шкідливих факторів, що загрожують здоров'ю та життю потерпілих (звільнити від дії електричного струму, погасити палаючий одяг і т.д.);
- надати домедичну допомогу;
- викликати швидку медичну допомогу або лікаря за телефоном 103, або вжити заходів для транспортування потерпілого до найближчої лікувальної установи;
- зберегти, по можливості, обстановку на місці події;
- сповістити про те, що трапилося, безпосереднього керівника.

4.3 Вимоги пожежної безпеки

4.3.1 Причини виникнення пожеж в Україні

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що поширюється в часі та просторі і створює загрозу життю та здоров'ю людей.

Щодня в нашій країні виникає більш 100 пожеж, в яких гине 5-6 осіб. Наносяться значні матеріальні збитки – близько 2,0 млрд.грн. на рік.

Згідно зі статистичними даними основними причинами виникнення пожеж в Україні є:

- необережне поводження з вогнем 58-60%;
- порушення правил монтажу та експлуатації електроустаткування та побутових електроприладів 18-20%;
- порушення правил монтажу та експлуатації приладів опалення 11-12%;
- пустощі дітей з вогнем 7-8%;
- підпали 2% .

4.3.2 Засоби пожежогасіння

Для ліквідації невеликих осередків пожеж, а також для гасіння пожеж у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна або повсті, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати), пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири тощо). Їх застосовують для ліквідації невеликих загорянь до приведення в дію стаціонарних та пересувних засобів гасіння пожежі або до прибуття пожежної команди. Кожне приміщення, відділення, цех, транспортні засоби повинні бути забезпечені такими засобами у відповідності з нормами.

4.3.3 Дії працівника під час пожежі

Під час виникнення пожежі необхідно:

- повідомити про це пожежно-рятувальну службу (номер телефону для виклику - 101). При цьому необхідно назвати точну адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- припинити всі роботи, які не пов'язані з ліквідацією пожежі;
- вжити (по можливості) заходів щодо евакуації людей, гасіння пожежі з використанням наявних вогнегасників та інших засобів пожежогасіння;
- повідомити про виникнення пожежі керівника робіт;

- за потреби - викликати медичну та інші служби.

4.4 Екологічні вимоги

Прилади, які використовують на виробництвах чи в лабораторних умовах повинні функціонувати з урахуванням екологічної безпеки і здоров'я людей, які будуть з цим приладом працювати, а також на безпеку і здоров'я людей, на яких цей прилад може впливати тим чи іншим чином.

Під екологічною безпекою розуміються умови, при яких відсутні фактори, що призводять до порушення екологічної рівноваги в навколишньому середовищі, що викликають напружений стан у взаєминах між суспільством і природою і впливають на середовище існування живих організмів. Екологічну рівновагу і, відповідно, екологічну безпеку, порушують природні й антропогенні фактори.

При виготовленні АРМ експрес - дослідження параметрів терморезисторів (через USB - порт ПК) виконувалися такі операції як травлення друкованих плат, паяння, лакування та фарбування. Під час травлення друкованих плат використовували хлорне залізо, випари якого є шкідливими і негативно впливають на навколишнє середовище та організм людини. При потраплянні хлорного заліза на шкіру або слизову оболонку очей необхідно негайно промити їх протічною водою. Під час паяння виділяються шкідливі для здоров'я випари олова та свинцю. В жодному разі не можна нахилитися над місцем паяння і вдихати випари.

При вдиханні, вміщених в лаку та фарбі, хімічних речовини можуть виникати серйозні проблеми зі здоров'ям. Фарби містять потенційно шкідливі хімікати, такі як розчинники і леткі органічні сполуки. При фарбуванні ці компоненти виділяються в повітря, отруйні пари яких і вдихає в свої легені людина.

Тому робоче місце повинно бути обладнане спеціальною вентиляцією для того, щоб забезпечити чисте повітря в навколишньому середовищі.

Висновки

1. В ході виконання дипломного проекту було теоретично розроблено автоматизовану установку для дослідження температурної залежності опору металів та напівпровідників яку встановлено в лабораторії електроніки Дрогобицького механіко-технологічного коледжу. Установка призначена для проведення експериментальних робіт по вивченню температурної залежності металів та напівпровідників. До установки розроблено інструкцію.
2. Установка представляє собою інформаційно – вимірювальну систему з використанням персонального комп'ютера (ПК), який працює в режимі реального часу при проведенні вимірювання фізичних величин.
3. Апаратна частина системи виконана з використанням сучасної елементної бази провідних зарубіжних фірм, зокрема Dallas Semiconductor.
4. Програмне забезпечення інформаційно вимірювальної системи складається з 3-х програм:
 - iButton Viewer 32 (керує роботаю аналого – цифрового перетворювача (АЦП) DS2450S, що здійснює вимірювання).
 - Microfost Excel (перетворення даних вимірювання із рядка в стовбець).
 - Origin 6.1 (обробка результатів вимірювання і побудова графіків)
5. Проведено дослідження температурної залежності опору 3-х зразків:
 - Напівпровідникового терморезистора (Rt1);
 - Напівпровідникового терморезистора (Rt2);
 - Напівпровідникового позистора.

Список використаної літератури

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології»
Укладачі: к.т.н., доцент Савків В.Б, к.т.н., доцент Капаціла Ю.Ю, к.т.н., доцент Михайлишин Р.І.
2. В.І. Сенько, М.В. Панасенко, Є.В. Сенько, М.М. Юрченко, Л.І. Сенько, В.В. Ясінський
Електроніка і мікроелектроніка: У 4-х т. Том 3 Цифрові пристрої: Підручник/За ред.. В.І. Сенька.-К. Каравела,2012.-400с. табл.-72.Шл-279. Бібліогр.-39.
3. Колонтаєвський Ю.П., Соколов А.Г.
Електроніка і мікроелектроніка: Підручник.2-е вид/За ред. А.Г. Соскова.-К.:Каравела,2009.-416с.
4. Микросхеми пам'яті, ЦАП и АЦП: справочник-2-е изд./ О.Н. Лебедев, А-Й.К Багданский и др.-М.:КУБК-а, 1996.-384 с.
5. Зубчик В.Н., Сигорський В.П., Шкуро А.Н. Справочник по цифровой схемотехнике.-К.: Техніка, 1990.480 с.
6. Справочник по интегральным микросхемам/ Б.В. Тарабарин, С.В. Якубовський, Н.А. Барканов и др; Под. Ред. Б.В. Тарабарина.-2-е изд., перераб. И доп.-М.: Энергия, 1980.-816 с.,ил.
7. Иванов В.Н. и др.
Полупроводниковые оптоэлектронные приборы:
Справочник/В.Н. Иванов, А.И. Аксенов, А.М. Юшин-2-е изд., перераб. И доп.-М., Энергоатомиздат, 1988.-448 с.: ил
8. Федоров Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, Параметры, применение.-М.: Энергоатомиздат, 1990.-320 с.
9. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х т.: Пер. с англ. 4-е изд., перераб. И доп.-М.:Мир, 1993.
- 10.Под. ред. Уолта Кастера Аналого-цифровое преобразование, Москва: Техносфера, 2007.-1016 с. ISBN 978-594836-147-8