

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Цифровий осцилограф Scope Meter

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

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Корницький А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яворський Б.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Марценюк А.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Корницькому Арсену Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Цифровий осцилограф Scope Meter

Керівник роботи Яворський Богдан Іванович, д.т.н. проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 3 » 06 2024 року № 4/7-581.

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

та вихід на міську телефонну лінію. \_\_\_\_\_

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Основна частина

2. Охорона праці та безпека життєдіяльності

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема

2. Схема електрична принципова

3. Плата друкована

4. Друкований вузол.



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Цифровий осцилограф Score Meter». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАС-41. // Тернопіль, 2024р. //с.- 78, рис.- 24, табл.- 0, бібліог. – 23, додат.- 8.

Ключові слова: ОСЦИЛОГРАФ, СТРУКТУРНА СХЕМА, ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА, ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА СХЕМА, ДРУКОВАНИЙ ВУЗОЛ.

У рамках кваліфікаційної роботи було створено ЕО, призначений для реєстрації, підсилення та візуалізації досліджуваного сигналу на моніторі ПК. Розробка включала схемотехнічне та конструкторське проектування цього приладу. Основні технічні характеристики розробленого ЕО включають: Амплітуда ВС: до 15 В. Чутливість: мінімум 0,05 мВ на поділку. Вхідний опір: мінімум 1 МОм. Вхідна ємність: максимум 15 пФ. Діапазон робочих частот: від 0,0001 до 10 МГц. Процес виконання кваліфікаційної роботи включав розгляд ключових етапів проектування та застосування РЕА.

## ANNOTATION

The topic of the qualification work: «Scope Meter digital oscilloscope». Bachelor's qualification thesis// Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Radio Engineering Systems Department, group RA-41. // Ternopil, 2024. //p.- 78, fig.- 24, tabl.- 0, references - 23, annexes. - 8.

Keywords: OSCILLOSCOPE, STRUCTURAL DIAGRAM, FUNCTIONAL DIAGRAM, ELECTRICAL CIRCUIT DIAGRAM, PRINTED CIRCUIT.

As part of the qualification work, an electronic device was created for recording, amplification and visualization of the signal under study on a PC monitor. The development included the circuitry and design of this device. The main technical characteristics of the developed ES include: Amplitude of the EO: up to 15 V. Sensitivity: at least 0.05 mV per division. Input impedance: minimum 1 M $\Omega$ . Input capacitance: maximum 15 pF. Operating frequency range: from 0.0001 to 10 MHz.

The process of performing the qualification work included consideration of the key stages of design and application of the radio electronic equipment.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....   | 7  |
| 1. Основна частина.....   | 8  |
| 1.1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ .....  | 8  |
| 1.1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи .....                  | 8  |
| 1.1.2 Аналіз інформації .....   | 26 |
| 1.2 Розробка структурної та функціональної схеми пристрою.....                      | 28 |
| 1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової<br>схеми пристрою..... | 33 |
| 1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази.....                                    | 57 |
| 1.5 Розробка компоновки і конструкції ДВ.....                                       | 61 |
| 1.6 Висновок до розділу 1 .....   | 66 |
| 2 Охорона праці та безпека життєдіяльності.....                                     | 67 |
| 2.1 Проведення інструктажів з охорони праці.....                                    | 67 |
| 2.2 Психологічні причини нещасних випадків і травматизму .....                      | 71 |
| 2.3 Висновок до розділу 2 .....   | 74 |
| Висновки .....  | 67 |
| Список використаних джерел.....   | 76 |
| Додатки   |    |

|                    |             |                        |               |             |   |  |  |                         |             |                |
|--------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------|---|--|--|-------------------------|-------------|----------------|
|                    |             |                        |               |             | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i>   |  |  |                         |             |                |
| <i>Змн.</i>        | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>        | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | Цифровий осцилограф<br><i>Scope Meter</i><br><br>Пояснювальна записка |  |  |                         |             |                |
| <i>Розроб.</i>     |             | <i>Корницький А.О.</i> |               |             |   |  |  | <i>Літ.</i>             | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i>    |             | <i>Яворський Б.І.</i>  |               |             |   |  |  |                         | 6           |                |
| <i>Консультант</i> |             |                        |               |             |   |  |  | <i>ТНТУ, ФПТ, РА-41</i> |             |                |
| <i>Н. Контр.</i>   |             | <i>Марценюк А.С.</i>   |               |             |   |  |  |                         |             |                |
| <i>Затверд.</i>    |             | <i>Дунець В.Л.</i>     |               |             |   |  |  |                         |             |                |

## ВСТУП

Термін «вимірювання» стосується процесу встановлення значень певних фізичних параметрів через проведення експериментів та використання спеціалізованого обладнання. Визначення фізичних параметрів є ключовим способом дослідження світу, оскільки воно ґрунтується на фіксації фізичних величин та їхніх значень. ВВ може бути статичним, коли параметр залишається незмінним, та динамічним, коли він змінюється. Існують прямі та непрямі МВ: у прямих МВ значення величини відчитується безпосередньо з приладу, каліброваного в належних одиницях, тоді як непрямі МВ вимагають спочатку провести пряме ВВ одного параметра, а потім використовують знання про функціональні залежності для визначення потрібної величини.

Обладнання, яке використовується для ВВ і відповідає стандартам метрологічних характеристик, називається засобами вимірювання. До цієї категорії належать різноманітні прилади, пристрої та перетворювачі.

Прилади для вимірювань перетворюють інформацію в формат, що є зручним для аналізу дослідником. Всі ці прилади поділяють на показові та реєстраційні. Показові прилади оснащені шкалою із цифрами та індикатором, наприклад, стрілкою. Цифрові прилади, які відображають дані тільки у ЦФ і не мають індикаторів, вважаються цифровими. Найзручнішим для сприйняття є графічне представлення інформації, яке забезпечують такі прилади, як осцилографи, проектування яких є важливим завданням.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 7    |

# 1. ОСНОВНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз технічного завдання

### 1.1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи

Осцилограф – це інструмент, походження назви якого веде від латинського слова “oscillo”, що означає коливатися, та грецького “γραφο”, що перекладається як писати. Цей прилад застосовується для аналізу ЕС у часовій площині. Завдяки осцилографу можливо не тільки візуально спостерігати за графіком сигналу на екрані чи здійснювати його запис на фотострічку, але й вимірювати амплітудні та часові параметри сигналу, аналізуючи його графічне зображення. Осцилографи забезпечують можливість вивчення функціональних зв'язків між різними параметрами, перетворюючи їх у ЕС. Сигнали подаються на відхиляючі пластини осцилографічної ЕПТ, що дозволяє отримати візуальне зображення цих залежностей на екрані, відоме як осцилограма. Осцилограма зображує характеристики ЕС у часі, такі як полярність, амплітуду та тривалість. Осцилографи часто оснащені шкалами, розміченими в вольтах та секундах, що сприяє одночасному вимірюванню і спостереженню за часовими та АХС.

Компенсаційний МВ ґрунтується на нейтралізації вимірюваної напруги за допомогою струму, створеного на відомому опорі з допомогою допоміжного джерела. КМ застосовується не тільки для електричних параметрів, але й для ВВ різних фізичних характеристик, які зазвичай конвертуються в електричні значення.

КМ є різновидом порівняльного методу, де вплив ВВ зменшується до 0, що дозволяє досягти нульових показань на вимірювальному приладі. Точність КМ залежить від чутливості 0-го індикатора, який регулює процес компенсації, а також від точності визначення ВВ.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 8    |



У процесі КМ вимірювання напруги в ланцюгу DC, напруга  $U_x$  нейтралізується завдяки зниженню напруги на резисторі  $r$ , що створюється струмом  $IR$  від допоміжного джерела  $U_{\text{доп}}$ . Гальванометр, який слугує 0-им приладом, вмикається у ланцюг порівнюваних напруг. Як тільки напруги балануються, потік струму в гальванометрі перестає тече, що підкреслює переваги КМ для точних вимірювань ЕРС джерела  $U_x$ , незалежно від опору з'єднувальних проводів та самого гальванометра.

Робочий струм регулюється відповідно до стандартного джерела  $E_n$  із відомою ЕРС, яка нейтралізується завдяки спаду напруги на резисторі  $R$ . Величину напруги  $U_x$  обчислюють за формулою  $U_x = \frac{E_n \cdot r}{R}$ , де  $r$  – опір, що компенсує  $U_x$ .

Під час КМ ВВ сили струму  $I_x$ , даний струм проходить через відомий резистор  $R_0$ , а падіння напруги на цьому резисторі визначається як  $I_x R_0$ . Резистор  $R_0$  використовується замість джерела напруги  $U_x$ . Для ВВ потужності потрібно окремо визначити напругу та силу струму. ВВ опору здійснюють, підключивши до допоміжного ланцюга послідовно з відомим резистором та порівнюючи падіння напруги на обох.

КМ вимірювання забезпечує високий рівень точності та надійності результатів, використовуючи принцип порівняння до нуля та мінімізуючи вплив зовнішніх опорів на результати вимірювань.

Основні якості осцилографа, які впливають на експлуатаційні можливості, включають:

- КВ – показник, що визначає, як напруга ВС перетворюється на відхилення променя на екрані.
- СП – діапазон частот, у якому КВ зменшується не більше ніж на 3 дБ від середнього значення на опорній частоті.
- Час наростання – інтервал часу, за який сигнал осцилографа зростає від 10% до 90% його амплітуди, що є ключовим для оцінки СП.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                  | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

– КР – співвідношення між часом розгорнення та КВ променя, створеного напругою розгорнення.

– Швидкість запису – максимальна швидкість переміщення променя по екрану, що забезпечує можливість фотографування або запам'ятовування сигналів.

Ці параметри визначають амплітудний, часовий та частотний спектри досліджуваних сигналів.

Помилки вимірювання визначаються неточностями у КВ та КР, які зазвичай становлять приблизно 2-5%. Коректність також залежить від частоти сигналу та ширини СП. Якщо параметр ВВ сигналу дорівнює  $5t_n$ , він відображається з похибкою у 2%.

Водночас для аналізу двох чи більше сигналів застосовують багатопроменеві осцилографи та багатоканальні електронні комутатори, інтегровані у вертикальний ланцюг відхилення. Електронний комутатор дозволяє отримувати зображення кількох сигналів на одно-ЕПТ шляхом послідовного підключення джерел цих сигналів. Вони часто використовуються для дослідження часових взаємозв'язків кількох синхронних сигналів.

Осцилографи з модульними блоками у вертикальних та горизонтальних трактах відхилення мають найширший спектр функціональних можливостей. Змінюючи ці блоки, можна налаштувати осцилографи з різними характеристиками: широкосмуговий, високочутливий, на два або чотири канали, диференціальний, тощо (див. табл. Б.1 у додатку Б).

УО мають унікальну конструкцію та схему роботи.

Оснащені спеціалізованою трубкою для зберігання зображень, ЗО дозволяють тримати зображення сигналу на тривалій період. Ця властивість робить їх незамінними для вивчення унікальних чи епізодичних сигналів. Швидкість запису в таких пристроях може сягати декілька тисяч кілометрів за секунду, а час перегляду записаного зображення може варіюватися від 1 до 30

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 10   |





використовуються трубки з електростатичним відхиленням. Це відрізняє їх від телевізорів та моніторів, які застосовують магнітне відхилення. Електростатичні трубки, попри складність виготовлення, мають більший частотний діапазон.

Зміщення електронного променя і візуальний слід на екрані прямо залежать від напруги, яка подається на пластини для вертикального зміщення. Напруга на пластинках горизонтального зміщення змінюється послідовно, що дозволяє відбуватися горизонтальному розгортанню. Мінімальна частота, за якої зображення залишається читабельним, становить приблизно 10 Гц, але особливі трубки з великим часом післясвітіння можуть підтримувати навіть нижчу частоту. Максимальна робоча частота залежить від характеристик підсилювача вертикального зміщення та ємності між зміщувальними пластинами.

Останнім часом на ринку спостерігається зростання популярності ЦО, які мають численні переваги порівняно з аналоговими моделями. Втім, традиційні АО реального часу все ще користуються попитом завдяки їх доступності. Завдяки прогресу в розвитку компонентів, АО збагатились новими можливостями, такими як курсори з цифровим показником значень та зручним цифровим управлінням. Застосування вхідного мультиплексора дозволяє відображати кілька сигналів на одно-ЕПТ, що робить можливою організацію спільної розгортки для декількох каналів.

ЦО пропонують розширені можливості порівняно з аналоговими моделями, а зниження вартості цифрових компонентів робить їх більш доступними для користувачів. Загалом, ЦО складається з таких елементів: вхідний дільник, нормалізуючий підсилювач, АЦП, блок RAM, а також пристрої управління та відображення, які зазвичай базуються на рідкокристалічній панелі.

|             |             |                 |               |             |                         |             |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|
|             |             |                 |               |             | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                         | <i>13</i>   |



Рисунок 1.3 – ЦО змішаних сигналів RIGOL DS1102CD

ЦО, як наприклад модель RIGOL DS1102CD для змішаних сигналів, вирізняються своїми значними перевагами завдяки ЦОС. Вони нормалізують ВС, перетворюють їх у ЦФ та зберігають у RAM. Швидкість запису, визначена кількістю вибірок за секунду, регулюється пристроєм управління і залежить від швидкодії АЦП. Оскільки ЦО не мають практичних обмежень на мінімальну швидкість, вони надають значні переваги порівняно з аналоговими моделями.

ЦОС дозволяє вирішити проблеми, пов'язані з обмеженнями реального часу, покращує стабільність зображення, уможливорює зберігання даних, полегшує масштабування та коригування зображень, а також дозволяє додавати анотації. Заміна осцилографічної трубки дисплеєм розширює можливості приладу, зокрема відображення додаткової інформації та керування його функціями через меню.

На екрані ЦО для змішаних сигналів, як-от моделі RIGOL, навігація та перегляд осцилограм значно спрощені. Версії преміум-класу цих приладів зазвичай оснащені кольоровими дисплеями.





| Меню           | Установки                                   | Коментарі   |
|----------------|---|---|
| <b>Operate</b> | $A + B$                                     | складання сигналів джерела А і джерела В                              |
|                | $A - B$                                     | різниця сигналів джерела А і джерела В                                |
|                | $A \times B$                                | добуток сигналів джерела А і джерела В                                |
|                | FFT<br><ШПФ>                                | виберіть швидке перетворення Фур'є                                    |
| <b>Source</b>  | CH1<br>CH2                                  | вибір каналу CH1 або CH2 як джерела FFT (ШПФ)                         |
| <b>Window</b>  | Rectangle<br>Hanning<br>Hamming<br>Blackman | вибір типу вікна для FFT (ШПФ)  |
| <b>Display</b> | Split                                       | відобразити результат FFT (ШПФ) на половині екрана                    |
|                | Full Screen                                 | відобразити результат FFT (ШПФ) на всьому екрані                      |
| <b>Scale</b>   | Vrms  | вибрати розмірність по вертикалі у Vrms ( $B_{\text{ефф}}$ )          |
|                | dBVrms                                      | вибрати розмірність по вертикалі у Vrms ( $\text{дБВ}_{\text{ефф}}$ ) |

Рисунок 1.5 – Використання ШПФ в ЦО RIGOL серії DS1000

Осцилографи, які використовують цифрові процесори для ЦОС, здатні аналізувати спектр сигналу через ШПФ. Цифрове кодування даних дозволяє зберігати результати вимірювань у RAM ПК або безпосередньо друкувати їх. Крім того, деякі осцилографи оснащені пристроями для зберігання зображень у формі файлів, що дозволяє згодом архівувати чи обробляти ці дані.

ЦО з технологією «ЦЛ».

Цей вид ЦО базується на прогресивній технології «ЦЛ», яка дозволяє в ЦФ і імітувати зміни інтенсивності зображення, характерні для АО реального часу. Це дає можливість розробникам бачити на екрані модульовані сигнали та їхні деталі з такою ж точністю, як на АО, забезпечуючи при цьому зберігання, вимірювання та аналіз цих даних, як у запам'ятовуючих ЦО. Так само, як і інші сучасні ЦО, моделі з технологією ЦЛ оснащені RAM, що дозволяє зберігати дані про часові затримки між різними сигналами.



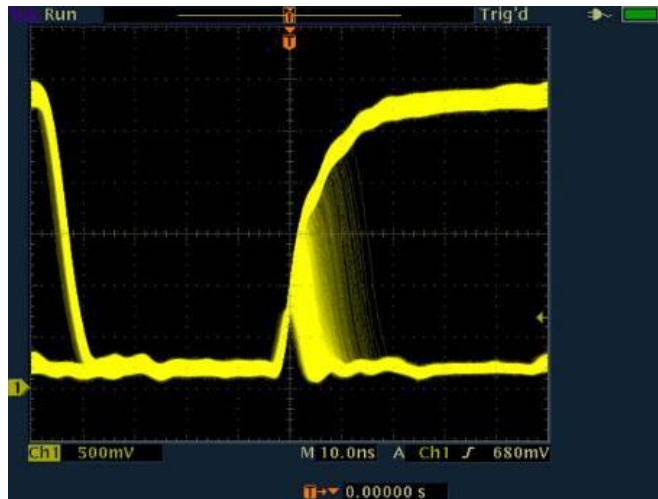


Рисунок 1.6 – Осцилограма на екрані ЦЛ-ого осцилографа

Наприклад, можливість ЦЛ-них осцилографів відображати інформацію з різною інтенсивністю значно спрощує діагностику проблем в імпульсних блоках живлення, особливо при виявленні надмірної глибини модуляції сигналу в системах регулювання вихідної напруги, що може спричинити їх нестабільну роботу. Такі осцилографи ефективно поєднують найкращі характеристики аналогових та цифрових приладів, пропонуючи ще більші переваги. Вони володіють усіма плюсами запам'ятовуючих ЦО, від збереження даних до складних методів синхронізації, а також забезпечують унікальні можливості АО реального часу, зокрема швидку реакцію на зміни сигналу та відображення змінної інтенсивності, яке досягається завдяки цифровій емуляції флюоресценції.

Стробоскопічні ЦО використовують методику послідовного стробування миттєвих значень сигналу для компресії його спектра; при кожному повторенні сигналу фіксується миттєве значення в певній точці.



Рисунок 1.7 – Осцилограма на екрані стробоскопічного ЦО

На осцилограмі екрану стробоскопічного ЦО можна спостерігати, як після кожного сигналу точка відбору зсувається за сигналом, що дозволяє послідовно стробувати весь діапазон. Перетворений сигнал, який представляє оболонку миттєвих значень ВС, відтворює його форму. Загальна тривалість цього перетвореного сигналу значно перевищує тривалість вихідного, що призводить до зменшення спектра і водночас розширення смуги пропускання. Стробоскопічні осцилографи мають надзвичайно широку смугу пропускання (до 100 ГГц), що робить їх ідеальними для аналізу періодичних сигналів з короткою тривалістю. Однак, такі осцилографи є досить коштовними і переважно використовуються для складних технічних та виробничих завдань.

ВО представляють собою новий клас цих приладів, які можуть бути як зовнішніми пристроями з підключенням через USB або паралельний порт для передачі даних, так і внутрішніми, що працюють на базі PCI або ISA карт. ПЗ для ВО забезпечує повний контроль над пристроєм та пропонує широкий спектр сервісних функцій, включаючи експорт та імпорт даних, математичну обробку сигналів, розширені можливості вимірювань, цифрову фільтрацію та інше.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 18   |



Рисунок 1.8 – ВО

Різноманітні моделі осцилографів, які базуються на ПК, застосовуються у широкому спектрі вимірювань, включно з розробкою та технічним обслуговуванням радіоелектроніки, секторами телекомунікацій та зв'язку, виготовленням комп'ютерної техніки, а також діагностикою автотранспорту на сервісних станціях. Ці прилади також широко використовуються у галузях, де критично важливо тестувати та аналізувати тимчасові, змінювані процеси. Завдяки своїм ключовим перевагам, таким як висока швидкість обробки, компактність, простота використання та доступна ціна, ці пристрої стали гідною альтернативою традиційним запам'ятовуючим ЦО. Проте, їх основним недоліком є нездатність вимірювати постійну складову сигналів.

Портативні осцилографи.

Сучасний прогрес у цифрових технологіях сприяв трансформації традиційних стаціонарних осцилографів у портативні версії, які поєднують в собі компактність і низьке споживання енергії.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 19   |



Рисунок 1.9 – Портативний осцилограф Fluke 199C

Ці мобільні пристрої, що живляться від батарей, не поступаються у функціональності стаціонарним осцилографам. Вони знайшли широке застосування у різноманітних галузях промисловості, технічному обслуговуванні та наукових дослідженнях.

Характеристики приладів.

Модифікації осцилографів С1.

Модель: УО С1–65 (А)

Короткий опис: одноканальний, діапазон частот 35 (40) МГц, габарити Е-48х80, П-300х180х470, маса 16 кг.



Рисунок 1.10 – УО С1–65 (А)

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 20   |

Детальний опис:

Цей прилад розроблений для аналізу форми ЕС з можливістю візуального спостереження та вимірювання їх амплітудних (від 25 мВ до 300 В) і тимчасових (від 25 нс до 0,5 с) параметрів у виробничих, лабораторних та польових умовах.

Характеристики, Осцилографи С1-65А

|   |  |
|---|--|
| Вертикальне відхилення                                |  |
| Смуга пропуску  | 0-50 МГц   |
| Час наростання  | 7-10 нс  |
| Коефіцієнт відхилення                                 | 5 мВ/поділ-10 В/поділ, 5 мВ/поділ (0-25 МГц)                         |
| Вхідний опір та ємність                               | 1 МОм, 30 пФ; 10 МОм, 10 пФ (з виносним дільником)                   |
| Горизонтальне відхилення                              |  |
| Коефіцієнт розгортки                                  | 0,01 мкс/поділ-50 мс/поділ (з 10-кратною розтяжкою)                  |
| Режим роботи розгортки                                | автоколивальний, чекаючий, одноразовий                               |
| Синхронізація   |  |
| внутрішня   | при зображенні 4,8 мм (до 5 МГц) та при зображенні 8 мм (5МГц-35МГц) |
| зовнішня  | сигналами амплітудою 0,5-30 В з частотою до 35 МГц                   |
| Похибка вимірювань амплітуди та тимчасових інтервалів | 6 та 10% (на розгортці 0,01 мкс/с)                                   |
| Тип індикатора  | ЕЛТ 11ЛО2І   |
| Робоча частина екрану                                 | 64Х80 мм   |
| живлення  | 220, 50 Гц; 115 або 220 В, 400 Гц                                    |
| споживана потужність                                  | 125 В·А<br>Габаритні розміри: 300х180х420 мм                         |
| Маса  | 16 кг  |

Рисунок 1.11 – Витяг з технічного паспорта моделі С1-65 (А)



Рисунок 1.12 – УО С1-166

Універсальний АО моделі С1-166 розроблено для аналізу ЕС у діапазоні від 0 до 50 МГц. Цей прилад дозволяє візуально оцінювати форму сигналів на екрані ЕПТ та вимірювати їх амплітудні та часові параметри за допомогою шкал, нанесених на екран. Осцилограф знаходить застосування у ремонті, обслуговуванні та діагностиці несправностей у радіоелектронному обладнанні, включаючи обладнання, що знаходиться у важкодоступних місцях.

Ця модель осцилографа вирізняється зручністю у використанні та технічному обслуговуванні, міцною конструкцією, високою стабільністю в роботі за різних температур, а також компактними розмірами та невеликою вагою.

**Технічні характеристики С1-166:**

Смуга пропускання – від 0 до 50 МГц .

Чутливість – 2 мВ/поділ.

Похибка установки:

- вертикального відхилення –  $\pm 4\%$ ;
- горизонтального відхилення із розтяжкою  $\pm 7\%$  –  $\pm 5\%$ .

Вертикальне відхилення для осцилографа С1-166:

- число каналів – 2;
- вхідний імпеданс – 1 МОм; 30 пФ;
- вхідний імпеданс з дільником 1:10 – 10 МОм; 15 пФ;
- коефіцієнти відхилення – від 2 мВ / справ. до 10 В/поділ.

Горизонтальне відхилення:

- коефіцієнти розгортки – від 0,05 мкс / справ. до 0,5 с/поділ.;
- розтяжка розгортки –  $\times 10$ ;
- режими розгортки – автоколивальний; чекає.

Параметри перехідної характеристики кожного каналу:

- час наростання ПХ – трохи більше 7 нс;
- викид – трохи більше 5%;
- час встановлення – не більше 35 нс;
- нерівномірність на ділянці встановлення –  $\pm 5\%$ ;
- нерівномірність після часу встановлення –  $\pm 2\%$ .

Вхідна напруга вертикального відхилення С1-166:

- з відкритим входом – не більше 90 В;
- із закритим входом – не більше 300 В;
- з дільником 1:10 – не більше 400 Ст.

Коефіцієнт розв'язки між каналами вертикального відхилення частотах 17 МГц і 50 МГц

- щонайменше 2000.

Опір ізоляції ланцюга живлення щодо корпусу:

- у нормальних кліматичних умовах – не менше 20 МОм;
- при підвищеній температурі навколишнього повітря – не менше 5 МОм;
- при підвищеній вологості навколишнього повітря – не менше 2 МОм.

Електричний опір між зовнішнім контактом захисного заземлення осцилографа та металевими частинами корпусу – не більше 0,5 Ом.

Межі основної відносної похибки коефіцієнтів розгортки С1-166 –  $\pm 4\%$ .

Межі допустимої відносної похибки коефіцієнтів розгортки в інтервалі кожного фактора, що впливає, –  $\pm 6\%$ .

Межі допустимих основних відносних похибок амплітуди та частоти проходження імпульсів:

- калібратора –  $\pm 1\%$ ;
- калібратора в інтервалі кожного фактора, що впливає –  $\pm 1,5\%$ .

Ширина лінії променя шкали екрану ЕПТ – трохи більше 0,1 справ.

Ширина лінії променя при коефіцієнті відхилення:

- 2 мВ/поділ. – трохи більше 0,3 дел.;
- 5 мВ/поділ. – трохи більше 0,2 справ.

Дрейф променя кожного каналу осцилографа С1-166 на екрані ЕЛТ:

- довготривалий - трохи більше 1 дел./ч;
- короткочасний - трохи більше 0,2 дел./мин.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 22   |

Рисунок 1.13 – Витяг з технічного паспорта моделі С1-166

УО ScopeMeter.

Цей двоканальний осцилограф має смугу пропускання до 40 МГц і комплектується інтегрованим мультиметром з дисплеєм на 5000 відліків. Він здатен вимірювати середньоквадратичні значення змінної складової сигналу. Режим TrendPlot дозволяє двоканальному самопису візуалізувати тренди, а автоматичне налаштування розгортки ефективно розпізнає сигнали та оптимізує їх відображення на екрані. Завдяки цим характеристикам, пристрій є вельми ефективним у моніторингу електричних систем.



Рисунок 1.14 – УО ScopeMeter

Осцилограф оснащений оптично ізольованим інтерфейсом RS-232, що дозволяє зберігати та аналізувати дані за допомогою спеціалізованого ПЗ. Зручність користування гарантована завдяки парі універсальних вимірювальних щупів, які придатні для використання як в режимі осцилографа, так і мультиметра. Пристрій також здатен виявляти причини несправностей шляхом реєстрації пікових значень та імпульсних сплесків.

Основні функції осцилографа охоплюють:

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 23   |

– Двоканальний ЦО зі смугою пропускання 40 МГц та вбудований двоканальний цифровий мультиметр, що може виявляти дефекти тривалістю від наносекунд до декількох місяців.

– Цифровий мультиметр з реальними значеннями (true-rms) та дисплеєм на 5000 відліків з точністю 0,5 %, що здатний здійснювати 26 різних видів вимірювань, включно з ВВ напруги DC та AC, частоти в герцах, тривалості імпульсів, фазового зсуву між двома сигналами, струму, температури, пік-фактору, опору, параметрів діодів, ємності та іншого.

– Функція двоканальної TrendPlot, яка виявляє збої за допомогою безперервного запису даних з інтервалами від кількох хвилин до кількох днів. Під час запису фіксуються максимальні та мінімальні значення з відмітками дати та часу, що дозволяє проводити аналіз залежностей між причинами та наслідками подій.

Технологія «Connect and View» («підключай та переглядай») забезпечує надійне відображення сигналів на дисплеї, усуваючи необхідність у використанні кнопок, навіть для складних сигналів, таких як управління двигунами та відеосигнали. Виробники вимірювального обладнання знають, наскільки складно може бути налаштування елементів управління, а неправильні налаштування часто призводять до нестабільних чи неправильних результатів. Унікальна функція «Connect and View», розроблена компанією Fluke, автоматично визначає сигнали та автоматично налаштовує елементи керування приладу для оптимального відображення. Ця функція забезпечує стабільне, точне та чітке відображення майже будь-якого сигналу, зокрема сигналів для керування електродвигунами, і робить це без потреби вручну налаштовувати прилад. Зміни у сигналах миттєво визначаються, а налаштування елементів керування відповідно коригуються для забезпечення незмінної точності індикації.

Прилад ScopeMeter від Fluke дозволяє швидко та зручно вимірювати параметри в різних точках, що робить його відмінним від звичайних

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 24   |



вимірювальних приладів з автоматичним налаштуванням і вибором діапазонів. ВС, амплітуда та синхронізація автоматично регулюються, щоб забезпечити стабільне відображення складних ЦС. Ця технологія значно зменшує час, потрібний для діагностики проблем, та допомагає скоротити час простою виробничих систем. Зміни у сигналах виявляються миттєво, а налаштування постійно коригуються для забезпечення точної індикації.

Основні переваги цього приладу:

– Можливість швидкого і ефективного вимірювання параметрів одночасно у кількох точках, що робить його переважним над індикаторними приладами з автоматичним налаштуванням діапазонів вимірювань.

– Інтуїтивно зрозуміле управління з функцією проведення всіх вимірювань за один тест. Щуп, який використовується, підходить для осцилографічних спостережень, вимірювань за допомогою мультиметра, ВВ опору та ємності, а також інших параметрів електричних ланцюгів.

– Великий і яскравий флуоресцентний дисплей з фоновим освітленням та холодним катодом забезпечує відмінну контрастність та видимість у різних умовах освітлення.

– Ергономічний дизайн і мала вага приладу (1100 г.) забезпечують його портативність і зручність у використанні навіть однією рукою. Ударостійкий корпус з чохлам-футляром гарантує довговічність і надійність у різноманітних виробничих умовах.

– Час неперервної роботи від акумуляторів досягає 5 годин, прилад оснащений індикатором стану заряду батареї та можливістю швидкого перезарядження.

– Сумісність з широким спектром аксесуарів від Fluke, включно з затискачами для ВВ великих струмів і температурних датчиків.

– Осцилографи можуть бути обладнані оптично ізольованим інтерфейсом RS-232 для підключення до ПК та принтера, а також ПЗ

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 25   |

FlukeView для Windows, що дозволяє легко вести документацію та обробляти результати вимірювань, розширюючи функціональність приладу.

Технічні характеристики осцилографа ScopeMeter Fluke 124.

| Режим осцилографа  |   |
|--|---|
| Смуга пропускання, МГц   | 40  |
| Максимальна частота квантування, ГГц   | 1,25  |
| Кількість каналів  | 2   |
| Кількість дигитайзерів   | 2   |
| Час наростання характеристики, нс  | < 17,5  |
| Швидкість розгортки  | від 10 нс до 1 хв/под.  |
| Вхідна чутливість  | 5 мВ - 500 В/под.   |
| Режими запуску вимірів   | Автоматичний Connect-and-View, вільний запуск, однократний, за фронтом сигналу, відео |
| Реєстрація імпульсних викидів, нс  | 40  |
| Довжина запису, байт   | 512   |
| Пам'ять екранів/установок  | 20  |
| Затримка запуску розгортки, поділок  | від -10 до 10   |
| Режим цифрового мультиметра з автоматичним визначенням меж вимірювань та вимірювань діючих значень |   |
| Кількість каналів мультиметра  | 2   |
| Розрядність дисплея (відліків)   | 5000  |
| Основна похибка при змінному струмі  | 0,005   |
| Вимірювані параметри   | Напруга, струм, опір, температура, тестування діодів і електричних кіл на обрив       |
| Запис TrendPlot™ з оцінками дати і часу  | 2 канали  |
| Загальні технічні дані   |   |
| Тривалість роботи від NiMH - батареї з зарядним пристроєм, годин                                   | 7   |
| Автоматичне налаштування   | 26 вимірів  |
| Сертифікація безпеки (EN61010-1)   | <b>600 В CAT III</b>  |
| Спосіб підключення до персонального комп'ютера   | оптично ізольований адаптер і кабель RS-232   |
| Діапазон робочих температур, °C  | 0 ~ 50  |
| Розміри екрану   | 72 x 72 мм (2.83 x 2.83 дюйма)  |
| Розширення екрану, пікселів  | 240 x 240   |
| Габаритні розміри, мм  | 232 x 115 x 50  |
| Маса, кг   | 1,2   |

Рисунок 1.15 – Витяг з технічного паспорта на ScopeMeter

ПЗ включає інструкції, які дозволяють передавати форми сигналів та результати ВВ з приладу ScopeMeter на ПК для подальшого друку. Програма також забезпечує можливість додавати користувацькі тексти до налаштувань осцилографа. Функція архівації даних дозволяє створювати колекцію форм сигналів з користувацькими коментарями, що можуть використовуватися для подальшого аналізу та порівняння. Порівняння форм сигналів уможливує зіставлення зареєстрованих кривих сигналів із тими, що вже є у базі даних.

### 1.1.2 Аналіз інформації

Аналізуючи тему кваліфікаційної роботи, важливо відмітити, що обговорюваний пристрій відноситься до самостійного класу переносного обладнання професійного рівня, як це визначено в даній класифікації.

|      |      |          |        |      |  |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      |  | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |                         | 26   |

Цей пристрій призначений для використання у закритих просторах з природним провітрюванням, що не потребують постійного опалення, а також у приміщеннях з контрольованим кліматом, де встановлено системи опалення чи кондиціонування.

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи, осцилограф класифікований як прилад категорії «У» за 4.2 ДСТУ 15150-82, що передбачає наступні кліматичні умови для його експлуатації:

- Прилад зберігає свою працездатність та зовнішній стан при температурах від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ .
- Вологість повітря може коливатися в межах до  $85\pm 3\%$  при температурі  $+20^{\circ}\text{C}$ .
- Атмосферний тиск має бути в межах від 80 кПа до 100 кПа.
- Механічне навантаження на прилад має бути мінімальним та відповідати вимогам ДСТУ 20790-82.

Цей пристрій призначений для використання у приміщенні.

Дизайн пристрою має бути виконаний у прямокутній формі, з усіма індикаторами та елементами управління, розміщеними на передній панелі, які повинні чітко показувати різні режими роботи.

Щодо умов зберігання, пристрій слід зберігати згідно з ДСТУ 15150-82 у групі умов «Л» у сухих і час від часу провітрюваних приміщеннях при відносній вологості не більше 80% та температурі від  $+1$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ , у відсутності пилу, кислотних парів, лугів та газів, які можуть спричинити корозію металів.

З електричної точки зору, схема має забезпечувати реєстрацію, підсилення та відображення досліджуваного ЕС на екрані ПК.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 27   |

## 1.2 Розробка структурної та функціональної схеми пристрою

У цьому розділі, враховуючи вимоги до РЕП та завдання, які треба вирішити, а також на основі результатів моделювання, розробляються основні функціональні блоки та їх взаємозв'язки. Визначаються методи, за допомогою яких блоки виконують свої функції, параметри вхідних і вихідних напруг, необхідні діапазони їх змін, а також оптимізуються режими роботи окремих компонентів та блоків загалом. Забезпечується оптимальне балансування між конфліктуючими режимами роботи компонентів, синхронізується робота блоків та використовуються різноманітні засоби та методи для досягнення потрібної взаємодії. На цьому етапі формується функціональна блок-схема РЕП, яка представляє собою графічний результат проектування.

На основі цієї концепції розроблена ССП, яка охоплює основні компоненти:

- Блок мікроконтролера: включає сам мікроконтролер та необхідну схему, що забезпечує його стабільну функціональність.
- Драйвер живлення: забезпечує відповідні рівні напруги для цифрових та аналогових частин схеми.
- Вихідний блок: в кожному з каналів підсилення забезпечує роботу осцилографа у режимах «відкритий вхід» або «закритий вхід», встановлюючи стандартний вхідний опір схеми.
- Початковий каскад підсилення: підсилює ВС у кожному з каналів.
- Проміжний каскад підсилення: збільшує амплітуду сигналу з виходу початкового каскаду до необхідного рівня для наступного каскаду.
- Кінцевий каскад підсилення: завершує процес підсилення сигналу в кожному каналі, оптимізуючи використання динамічного діапазону АЦП мікроконтролера.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 28   |

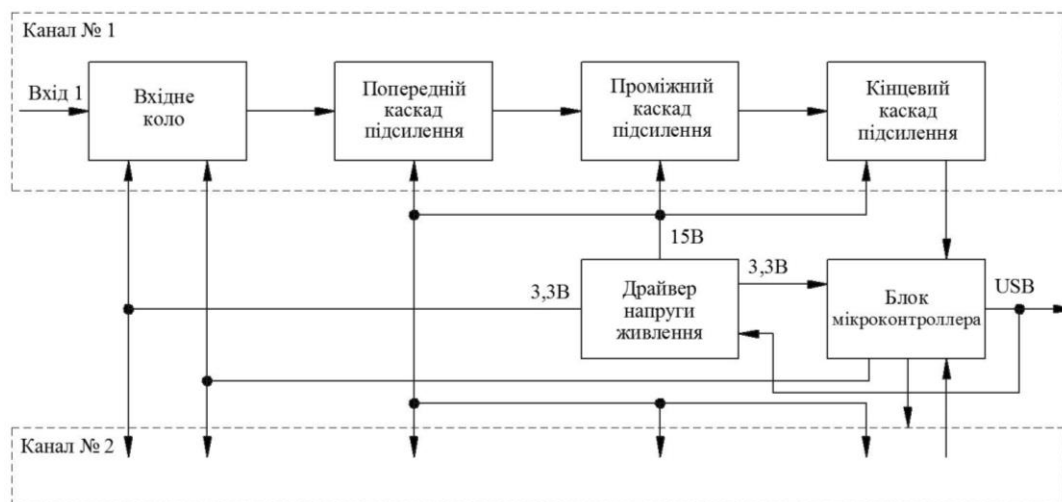


Рисунок 1.16 – ССП

Сигнал в кожному з каналів (А чи В) вводиться через вхідне коло, що забезпечує необхідний опір (імпеданс). Керування мікроконтролером сигналу дозволяє осцилографу переключатися між режимами «відкритий вхід» та «закритий вхід» шляхом шунтування вхідного розділового конденсатора. Сигнал спочатку проходить через етап попереднього підсилення, далі через проміжний каскад підсилення, і, нарешті, до кінцевого каскаду, який підсилює амплітуду сигналу до потрібної ширини динамічного діапазону АЦП мікроконтролера. Це забезпечує оптимальне використання бінарного представлення сигналу після його цифрового квантування. Оброблені дані мікроконтролером передаються на ПК через USB-інтерфейс, що дозволяє реалізувати режим роботи віртуального COM-порту (Communication Device Class, CDC).

ССП розробляється на ранніх стадіях проектування і є передвісником створення інших типів схем. Вона окреслює ключові функціональні елементи продукту, їх призначення та взаємозв'язки, відтворюючи загальний принцип дії продукту.

На ССП фізичне розміщення компонентів не враховується, а методи їхнього зв'язку залишаються невказаними. ССП повинна забезпечувати чітке розуміння складу продукту і логіку взаємодії між його частинами.

Функціональні частини на ССП зображені як прямокутники або за допомогою стандартизованих графічних символів. У випадку, коли використовуються прямокутники, всередині них вказуються назви, типи та інші характеристики цих елементів.

Напрямок процесів у продукті відображається стрілками, що поєднують ці функціональні частини. У схемах простих продуктів елементи впорядковані послідовно, у формі ланцюга від лівого до правого краю згідно з робочим процесом. Для схем, що включають кілька основних робочих ліній, рекомендується використовувати зображення у вигляді паралельних горизонтальних рядів.

Функціональна схема призначена для ілюстрації процесів, які відбуваються в окремих частинах або в цілому виробі. Для складних виробів створюють кілька таких схем, що демонструють роботу у різних режимах. Кількість та детальність цих схем визначаються розробниками, виходячи з особливостей продукту.

На схемі відображені функціональні компоненти виробу (елементи, пристрої, групи) та їхні взаємозв'язки. Графіка схеми чітко показує послідовність процесів у виробі, при цьому реальне розташування компонентів може ігноруватися.

Функціональні елементи та їх зв'язки зображуються за допомогою стандартизованих графічних символів. При створенні таких схем застосовуються правила розробки принципів схем. Окремі компоненти на схемі можуть бути представлені у формі прямокутників, що має відповідати правилам ССП.

На функціональній схемі вказуються наступні елементи:

– Для функціональних груп використовуються позначення, призначені на принциповій схемі, або назви (якщо функціональна група представлена за допомогою умовного графічного символу, то назва не вказується).

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 30   |

– Для кожного компонента або елемента, зображеного умовними графічними символами, використовується буквено-цифрове позиційне позначення, присвоєне на принциповій схемі, та вказується його тип.

– Для кожного компонента, зображеного прямокутником, зазначається позиційне позначення, присвоєне на принциповій схемі, його назва та тип, або позначення документа, який обґрунтовує застосування цього компонента. Позначення документа також вказується для компонентів, зображених у формі умовного графічного символу. Рекомендується вписувати назви, типи та позначення функціональних частин, які зображені прямокутниками, безпосередньо всередину цих прямокутників. Скорочення та умовні назви повинні бути роз’яснені на полях схеми.

У функціональній схемі вказуються технічні характеристики компонентів, параметри в критичних точках, допоміжні пояснення та інша інформація. За потреби на схемі можуть бути показані електричні кола відповідно до стандарту ДСТУ 2.709-72.

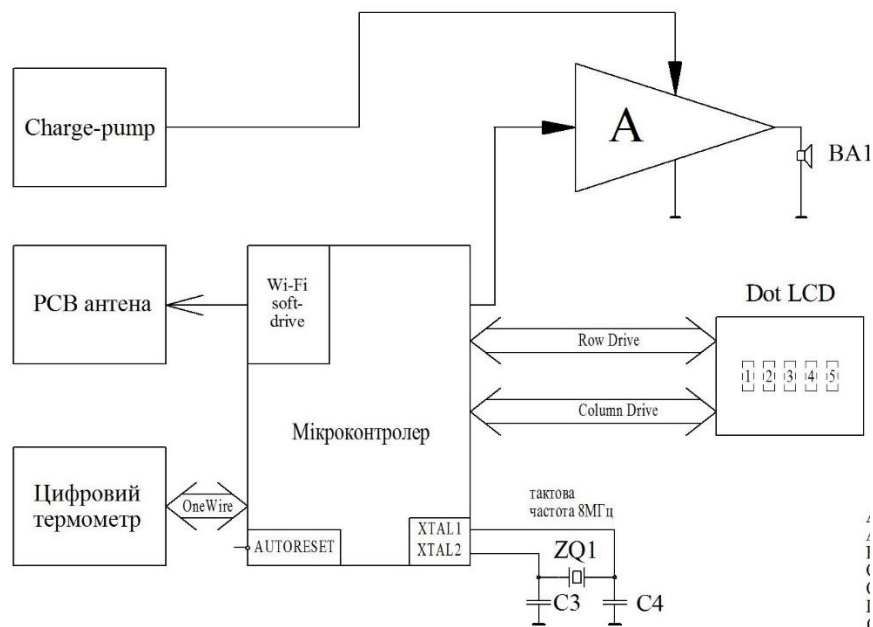


Рисунок 1.17 – Функціональна схема

У випадках, коли пристрій включає елементи різних типів, бажано створювати кілька схем для кожного типу або одну комбіновану схему, що об'єднує елементи та з'єднання різних видів.

Основною для вивчення принципів роботи, налаштування, регулювання, контролю та ремонту пристрою служить ЕЗ.

ЕО складається з двох основних частин: тракту підсилення та тракту ЦОС. У тракті ЦОС основним елементом є блок мікроконтролера, який управляє роботою вхідного кола, дозволяючи перемикання між режимами «Відкритий вхід» та «Закритий вхід». Оцифрований сигнал з аналогових трактів перетворюється за допомогою АЦП мікроконтролера та передається на ПК для подальшої обробки спеціальною програмою. Вхідне коло може змінювати режими роботи шляхом активації чи деактивації розділового конденсатора.

Попередній каскад підсилення має на меті узгодження вхідного опору підсилювача з вихідним опором ДС. Ідеальна ситуація полягає в тому, щоб вихідний опір був еквівалентним вхідному опору наступного каскаду, а вхідний опір підсилювача відповідав опорі ДС для ефективного передавання потужності. В такому разі, попередній каскад зазвичай налаштовується на максимальне узгодження опорів. Зазвичай у якості попереднього каскаду підсилення використовують буферні підсилювачі з одиничним коефіцієнтом підсилення за напругою.

У цій схемі застосовано підсилюваний каскад на базі одного транзистора, який включений за схемою зі СЕ для досягнення максимального підсилення потужності. Особливо важливим є використання розділових конденсаторів між каскадами підсилення, адже вони формують пасивний фільтр на НВЧ. Схема зі СЕ дозволяє підключати конденсатор після каскаду з мінімальним вихідним опором та перед каскадом з максимальним вхідним опором. Це має значення, тому що зміни у навантаженні та динамічні коливання вхідної напруги впливають на частотні характеристики, призводячи

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 32   |



до додаткових частотних спотворень. Інтермедіальні та кінцеві каскади підсилення реалізовані з використанням транзисторів у режимі класу А, що мінімізує частотні спотворення. Живлення пристрою забезпечується через шину USB.

### 1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

Серцем схеми є мікроконтролерний блок DD1, який відповідає за передачу даних на ПК та управління роботою вхідного ланцюга. В цьому ланцюгу можна змінювати режими роботи за допомогою підключення або відключення розділових конденсаторів C1/C2 через твердотільні реле DA1/DA2. Це надає змогу обирати між режимом «Відкритий вхід» та «Закритий вхід». Посилений сигнал із виходу кожного аналогового тракту перетворюється в ЦФ за допомогою 10-бітного АЦП мікроконтролера і передається на ПК у 8-бітному форматі для подальшої обробки через інтерфейсну програму. Це забезпечує можливість цифрової атенюації з редукацією у чотири рази. Інтерфейс EO реалізований через програму з відкритим кодом, встановлену на ПК. Передбачено передачу цифрових послідовностей через UART/USART (COM-порт). Також можливе використання спеціалізованих драйверів для створення віртуального COM-порту (стандарт USB-CDC).

Для належного функціонування передавального тракту встановлено наступні програмні вимоги відповідно до специфікації USB-CDC:

- Використання CDC як базового шаблону. Існують дві кінцеві точки BULK, для підвищення швидкості CDC можливі дрібні модифікації.
- Вибір значення VCOMPORT\_IN\_FRAME\_INTERVAL залежить від апаратних можливостей та характеристик USB-модуля мікроконтролера.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 33   |

Зазвичай, значення рівне 1 не є оптимальним для повнодуплексної передачі, тому рекомендоване значення повинно відповідати 2.

– Залежно від ОС ПК може знадобитися коригування параметру USART\_RX\_DATA\_SIZE. За замовчуванням, цей параметр становить 8192 байт (2 x 4 Кб), але його можна збільшити до 4096 байт.

– Необхідна зміна параметру Handle\_USBAynchXfer на протилежний, оскільки передача даних не відбудеться, якщо USART\_Rx\_Buffer буде повністю заповнений. Так, після кожного SOF-сигналу буде відправлено максимальний байт за номером.

Під час роботи важливо переконатися, що ПЗ на ПК завжди готове до прийому даних та має найвищий пріоритет читання серед інших процесів.

На платі відсутній конектор JTAG/SWD, адже прошивку необхідно завантажувати через UART. Для активації режиму завантаження слід натиснути і утримувати кнопку BOOT на інтерфейсі програми одразу після натискання кнопки RESET. Програма завантаження ефективно співпрацює з BOOTLOADER у режимі USB-UART. Мікроконтролер підтримує нормальну напругу 5 В, що дозволяє використовувати як 5 В, так і 3.3 В логічні рівні. Кнопку RESET можна натискати в будь-який час – мікроконтролер перейде в режим завантаження, якщо утримувати кнопку BOOT, і USB буде підключено. Оскільки USB підключено без підтягуючих резисторів на 1,5 кОм, пристрій потрібно підключити заново після прошивки.

Внутрішній механізм скидання мікроконтролера при його запуску забезпечує ініціацію скидання лічильника команд при включенні пристрою. Цей механізм критично важливий для уникнення помилкової роботи функціональних блоків у початкові моменти після подачі електроживлення, доки не стабілізуються усі перехідні процеси.

Тактування мікроконтролера забезпечує точні часові рамки для виконання команд, що є необхідним для забезпечення його високої продуктивності, адже внутрішня тактова схема працює на значно нижчій

|      |      |          |        |      |                  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                  |  |  |  | 34   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | КАО 2.899.000 ПЗ |  |  |  |      |

частоті, ніж зовнішні джерела. Стабільність резонансної частоти кварцового кристалу сприяє точному вимірюванню часу. Частотозадаючий ланцюг містить шунтуючі конденсатори кварцу, які разом з елементами внутрішньої структури мікроконтролера формують генератор.

Система тактування мікроконтролера використовує модуль PLL (фазовий помножувач частоти). Цей контролер може приймати різні типи тактових імпульсів (синусоїдальні, трикутні або прямокутні з робочим циклом 1/2), як від зовнішніх джерел, так і від кварцового генератора, як у даному випадку. Хоча така конфігурація потребує використання трьох додаткових компонентів, вона дозволяє ефективно збільшувати тактову частоту. У цій ситуації модуль PLL налаштований на роботу з частотою 72 МГц. Стабільність частоти критично важлива для належного функціонування комунікаційних модулів.

Давайте детальніше розглянемо схему підсилювача першого каналу (схема другого каналу побудована аналогічно). Принципова схема ЕО включає попередній, проміжний та кінцевий етапи підсилення. Всі ці етапи використовують конфігурацію транзистора зі СЕ.

Кожен етап підсилення організований на базі одного транзистора у конфігурації зі СЕ, яка ефективна для підсилення ЕС за струмом, напругою та потужністю. У такій схемі Е-ний вивід транзистора слугує загальним для ВС та вихідного сигналів у ланцюгу АС. Ключовий компонент каскаду – біполярний транзистор, у базовій ланці якого малий струм від ДС керує значно більшим струмом К, збільшеним у  $\beta$  разів, де  $\beta$  – коефіцієнт підсилення транзистора за струмом. Значення  $\beta$  залежить від типу транзистора і може коливатися від кількох десятків до сотень. Також підсилення напруги ВС досягається через високий опір К-ного переходу транзистора. У схемі заміщення підсилювального каскаду К-на ланка транзистора представлена як кероване джерело струму з внутрішнім опором, яке в конфігурації зі СЕ може становити кілька десятків кОм.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 35   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

КАО 2.899.000 ПЗ

Якщо ігнорувати вплив конденсаторів у середньочастотному діапазоні, з ростом опору до певної межі, де зберігається відповідна нерівність, не відбудеться значного зниження К-ного струму сигналу. Таке збільшення опору призведе до зростання падіння напруги сигналу на цьому опорі і, як наслідок, до збільшення коефіцієнта підсилення за напругою в каскаді.

У модельній схемі ємність К-ного переходу складає 100...400 Ом, що відображає об'ємний опір бази біполярного транзистора. Диференційний опір Е-ного переходу становить 25 Ом, тоді як опір резистивного діляника за АС позначено символом  $\parallel$ .

При аналізі ЕЗ важливо враховувати, що транзистор може бути представлений як лінійний опір, керований ВС, між К-ом та Е-ор. Внаслідок цього утворюється діляник напруги, сформований опорами, який відповідно до ВС змінює напругу на К-і. Таким чином, енергія ДЖ трансформується у енергію вихідного сигналу. Опір резистора не враховується, адже при середніх та НВЧ він шунтується конденсатором.

Додавання резистора в ланцюг Е вносить НЗЗ по DC, що стабілізує струм у ланцюзі та забезпечує стабільне положення точки спокою незалежно від зовнішніх впливів. Такі впливи можуть бути зумовлені змінами температури навколишнього середовища, нестабільністю напруги живлення, змінами характеристик компонентів схеми та іншими факторами. Принцип роботи НЗЗ полягає в тому, що зі збільшенням струму через Е зростає напруга на резисторі. Це спричиняє підвищення потенціалу Е-а відносно загальної точки при сталому потенціалі Б, який визначається резистивним діляником напруги. Це зменшує різницю потенціалів між Б та Е-ом, обмежуючи приріст базового та Е-ного струмів. Зі збільшенням опору резистора зростає ефективність НЗЗ та стабільність роботи каскаду, але водночас збільшуються енергетичні втрати в схемі.

Конденсатор, що підключений паралельно до резистора в ланцюзі АС, допомагає нейтралізувати НВЧ завади у системі змінних компонентів. Без

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 36   |

конденсатора коефіцієнти підсилення можуть знизитись. Резистор у К-ному ланцюзі транзистора створює змінну напругу у вихідному колі.

Електричне живлення схеми забезпечується драйвером напруги, який базується на підвищувальному перетворювачі DA4 та інтегральному лінійному стабілізаторі. Цей стабілізатор відповідає за стабілізацію і перетворення вхідної напруги з USB до необхідних параметрів 3,3 В та 15 В для забезпечення енергією цифрової та аналогової частин схеми відповідно.

### Перевірочний аналіз ЕЗ

Завдання визначає такі параметри для підсилювача ВС: опір генератора  $R_G$  становить 200 Ом; коефіцієнт підсилення  $K_{\text{під}}$  дорівнює 60; опір навантаження  $R_H$  складає 75 Ом; нижня частота  $f_H$  встановлена на рівні 100 Гц; верхня частота  $f_B$  досягає 10 МГц;  $M_H$  і  $M_B$  обидва мають значення 3; вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$  складає 3 В; коефіцієнт гармонік  $K_T$  становить 3 %.

Далі пропонується схема підсилювача ВС для одного з каналів (інший канал аналогічний).

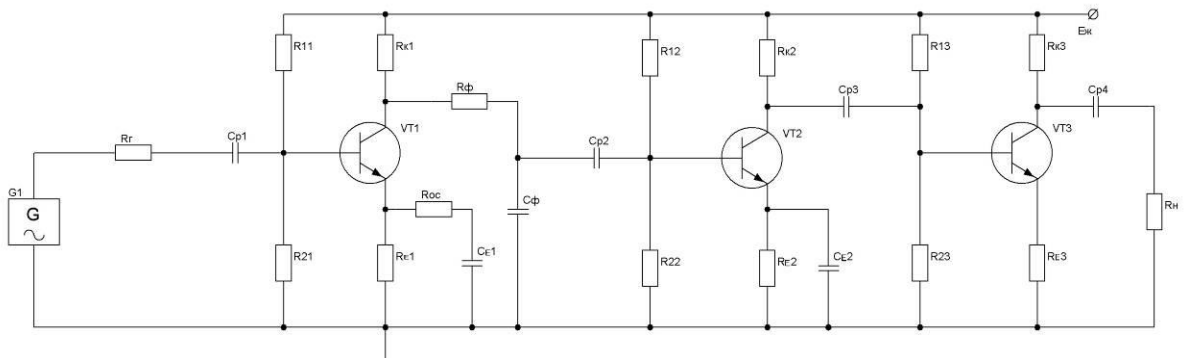


Рисунок 1.18 – Схема підсилювача

Рисунок 1.18 демонструє схему підсилювача.

$$E_n = 2U_{\text{вих}} + U_{KE_{\text{нас}}} + U_{\text{зап}} \quad (1.1)$$

Визначення напруги  $E_{ж}$  згідно із формулою (1.1) включає в себе:  $U_{вих}$  – максимальна вихідна напруга;  $U_{KE_{нас}}$  приблизно 1 В, що вказує на падіння напруги на транзисторі у стані насичення;  $U_{зап}$  приблизно 9 В як запас по напрузі. Згідно з вихідними даними задачі, при  $U_{вих}$  рівній 3 В, ми маємо  $E_{п} = 15$  В.

При виборі транзистора для вихідного каскаду слід враховувати наступні параметри: верхня гранична частота  $f_{в}$ , максимальний струм К  $I_{КО}$ , максимальна допустима напруга К  $U_{KE_{доп}}$  та максимальна розсіювальна потужність транзистора. Важливо, щоб гранична частота передачі СБ  $f_{Б}$  була принаймні у 5 разів вищою за верхню частоту підсилювача  $f_{в}$ :

$$f_{Б} \geq 5 \cdot f_{в} \quad (1.2)$$

Припустимо,  $f_{в}$  складає 10 МГц, тоді  $f_{Б}$  повинна бути не менше 50 МГц. Максимальний струм К визначається з розрахунку:

$$I_{КО_{max}} \geq 1,5 \cdot \frac{2U_{вих}}{R_{н}} \quad (1.3)$$

Вибір здійснюється на  $I_{КО_{max}} = 240$  мА, а потім струм  $I_{КО}$  обирається як половина від  $I_{КО_{max}}$ , тобто  $I_{КО} = 0,5 \cdot I_{КО_{max}} = 120$  мА.

Напруга живлення підсилювача  $E_{ж}$  має бути меншою за  $0,8 \cdot U_{KE_{доп}}$ . Максимальна потужність, яка розсіюється транзистором, повинна бути вищою за  $I_{КО} \cdot U_{KE_0} = 0,9$  Вт, де  $U_{KE_0}$  – це падіння напруги на переході К-Е транзистора у робочій точці, що визначається за навантажувальною характеристикою:  $U_{KE_0} = 7,5$  В.

Транзистор ВС846 відповідає наступним технічним характеристикам:

- Частота бази  $f_{Б}$  становить 450 МГц.
- Допустимий К-ний струм  $I_{КО_{доп}}$  більший за 0,24 А, а саме 1,3 А.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

– Допустима напруга К-Е  $U_{KE_{доп}}$  дорівнює 30 В, при чому робоча напруга  $E_{ж}$  становить 15 В, що є менше ніж 0,8 від  $U_{KE_{доп}}$ , а саме 24 В.

– Допустима потужність  $P_{доп}$  складає 1,5 Вт, що більше ніж продукт струму і напруги на К  $I_{K_0} \cdot U_{KE_0}$ , який є 0,9 Вт.

Розрахунок резисторів  $R_K$  і  $R_E$ :

Максимальна напруга на К  $U_{K0_{max}}$  дорівнює напрузі живлення  $E_{ж} = 15$  В.

Опір у ланцюзі Е  $R_E$  вибирається таким чином, щоб падіння напруги на ньому становило 0,1-0,3  $E_{ж}$ .

$$U_{RE} = 0,1 \cdot E_{ж} \quad (1.4)$$

За напругою живлення 15 В,  $U_{RE}$  складає 1,5 В.

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_{E_0}} \approx \frac{U_{RE}}{I_{K_0}} \quad (1.5)$$

Виходячи з К-ного струму 0,12 А,  $R_E$  визначається як 12,5 Ом.

Опір у ланцюзі К  $R_K$  розраховується на основі напруги на ньому, яка складає 6 В:

$$U_{RK} = E_n - U_{RE} - U_{EE_0} \quad (1.6)$$

Таким чином, за формулою 1.7, отримуємо опір 50 Ом.

$$R_K = \frac{U_{RK}}{I_{K_0}} \quad (1.7)$$

На рисунках 1.19 і 1.20 представлені вихідні та вхідні характеристики вихідного каскаду відповідно.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |





Опір навантаження при АС  $R_{H\sim}$  формується за допомогою паралельного з'єднання  $R_H$  та  $R_K$ , і розраховується за наступною формулою:

$$R_{H\sim} = \frac{R_H R_K}{R_H + R_K} \quad (1.8)$$

За заданими значеннями отримуємо:  $R_{H\sim} = 30$  Ом.

Визначення вхідної провідності транзистора:

Обчислюємо СБ в робочій точці:  $I_B = 2$  мА.

На вхідній характеристиці в цій точці знаходимо дотичну і визначаємо вхідну провідність:

$$y_{11} = \frac{\Delta I_B}{\Delta U_{BE}} |_{U_{KE} = 5V} \quad (1.9)$$

Обчисливши, отримуємо:  $\Delta I_B = 8$  мА,  $\Delta U_{BE} = 0,1$  В,  $y_{11} = 0,08$  см.

Визначення крутизни транзистора:

$$S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{BE}} |_{U_{KE}} = const \quad (1.10)$$

$\Delta I_K = 0,15$  А,  $\Delta U_{BE} = 0,03$  В,  $S = 5$  А/В.

Розрахунок резисторного дільника:

Резисторний дільник встановлює положення робочої точки, обчислюємо  $U_{0B}$ :

$$U_{0B} = U_{0E} + U_{0BE} \quad (1.11)$$

За вхідними характеристиками обчислюємо:  $U_{0BE} = 0,67$  В,  $U_{0E} = U_{RE} = 1,5$  В. Застосовуючи значення, маємо  $U_{0B} = 2,17$  В.

Розрахунок номіналів резисторів проводиться згідно з формулами:

$$R1 = \frac{E_{ж} - U_{0Б}}{I_{Д} + I_{0Б} - I_{КО}}, R2 = \frac{U_{0Б}}{I_{Д}}, I_{Д} \approx \frac{5}{10} I_{0Б} \quad (1.12)$$

Ігноруючи зворотний струм  $I_{КО}$  та обираючи  $I_{Д} = 5I_{0Б}$ , обчислюємо номінали резисторів:

$$R1 = 1069 \text{ Ом}, R2 = 217 \text{ Ом} \quad (1.13)$$

Розрахунок вхідного опору для каскаду АС виглядає наступним чином:

Визначаємо вхідний опір як загальний опір паралельно з'єднаних  $R1$ ,  $R2$  та додаткового опору, який розраховуємо за формулою  $(1/y_{11}) \cdot \gamma$ , де  $\gamma = 1 + SR_E$  – коефіцієнт НЗЗ:

$$R_{BX\approx} = R1 // R2 // [(1/y_{11})(1 + SR_E)], \quad (1.14)$$

$$R_{BX\approx} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R1} + \frac{y_{11}}{(1 + SR_E)}} \quad (1.15)$$

Після підстановки числових даних маємо:  $R_{BX\approx} = 146 \text{ Ом}$ .

Коефіцієнт підсилення каскаду обчислюється так:

$$K_U = \frac{SR_{H\approx}}{1 + SR_E} \quad (1.16)$$

За даними  $S = A/B$ ,  $R_{H\approx} = 30 \text{ Ом}$ ,  $R_E = 12,5 \text{ Ом}$ , отримуємо  $K_U = 1,36$ .

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 42   |

Далі, розрахунок проміжного каскаду починається з визначення напруги живлення  $E_{ж}$ , яка є однаковою з напругою живлення вихідного каскаду та становить 15 В.

Підбір транзистора для проміжного каскаду відбувається аналогічно вихідному каскаду, з урахуванням верхньої граничної частоти  $f_B$ , максимального СК  $I_{K_{max}}$ , максимальної розсіюваної потужності та максимальної допустимої напруги на колекторі  $U_{KE_{доп}}$ .

Визначаємо максимальний СК на основі:

$$I_{K_{max}} \geq 1,5 \cdot \frac{2U_{вих}}{K_{U_3} R_{ВХ_3}}, \quad (1.17)$$

З  $K_{U_3} = 1,36$  – коефіцієнт підсилення вихідного каскаду,  $R_{ВХ_3} = 146$  Ом – вхідний опір каскаду АС.

З підставлених даних отримуємо  $I_{K_{max}} \geq 51$  мА. Встановлюємо  $I_{K_{max}} = 60$  мА, при цьому струм  $I_{K_0}$  встановлюємо на рівні половини  $I_{K_{max}}$ :  $I_{K_0} = 0,5 \cdot I_{K_{max}} = 30$  мА.

Напруга живлення підсилювача  $E_{п}$  повинна бути менше  $0,8 \cdot U_{KE_{доп}}$ . Максимальна потужність, яка може бути розсіяна транзистором, повинна бути вищою за  $I_{K_0} U_{KE_0} = 0,225$  Вт, де  $U_{KE_0}$  – напруга на переході К-Е в робочій точці, яка дорівнює 7,5 В.

Транзистор ВС817 відповідає встановленим вимогам, маючи наступні характеристики:

- Частота бази  $f_B = 200$  МГц.
- Допустимий СК  $I_{K_{доп}} = 400$  мА, значно більший за максимальний струм  $I_{K_{max}} = 60$  мА.
- Допустима напруга К-Е  $U_{KE_{доп}} = 40$  В, при  $E_{п} = 15$  В, що становить менше ніж  $0,8 \cdot U_{KE_{доп}} = 32$  В.

– Допустима потужність  $P_{\text{доп}} = 0,3\text{Вт}$ , що вище ніж  $I_{K_0} \cdot U_{KE_0} = 0,225$  Вт.

Розрахунок резисторів  $R_K$  і  $R_E$ :

Максимальна напруга на К-і  $U_{K_{\text{max}}}$  дорівнює живильній напрузі  $E_{\text{ж}} = 15$  В.

Опір у ланцюгу емітера  $R_E$  обирається таким, щоб падіння напруги на ньому не перевищувало  $[0,1-0,3] \cdot E_{\text{ж}}$ :

$$U_{RE} = 0,2 \cdot E_{\text{п}} \quad (1.18)$$

При  $E_{\text{ж}} = 15$  В, напруга  $U_{RE}$  становить 3 В.

За формулою 1.19, при встановленому СК  $I_{K_0} = 30$  мА, отримуємо:  
 $R_E = 100$  Ом.

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_{E_0}} \approx \frac{U_{RE}}{I_{K_0}} \quad (1.19)$$

Опір у ланцюгу К-а  $R_K$  розраховується також, виходячи з напруги на ньому:

$$U_{RK} = E_{\text{п}} - U_{RE} - U_{KE_0}, \quad (1.20)$$

Отримуємо  $U_{RK} = 4,5$  В. Опір  $R_K$  обчислюємо за формулою:

$$R_K = \frac{U_{RK}}{I_{K_0}} \quad (1.21)$$

Отже,  $R_K = 150$  Ом.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                  | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

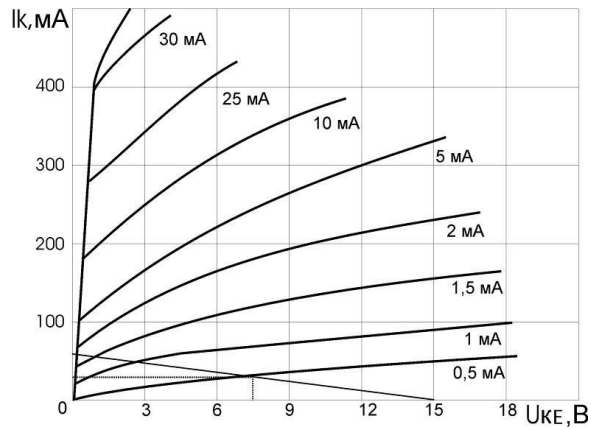


Рисунок 1.21 – Проміжний каскад: Вихідні характеристики та навантажувальна пряма

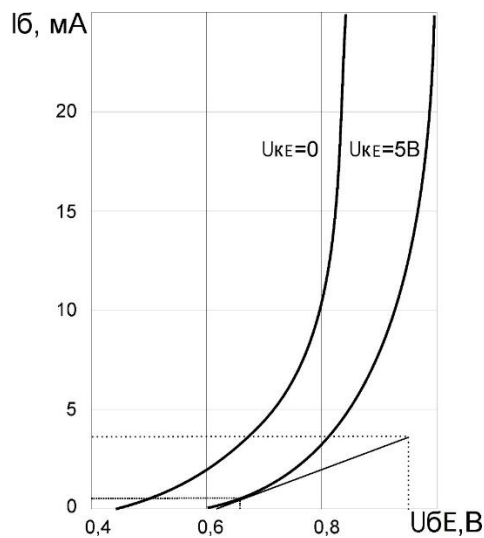


Рисунок 1.22 – Проміжний каскад: Вхідні характеристики

Обрахунок опору навантаження АС  $R_{H\sim}$ :

Опір навантаження для АС  $R_{H\sim}$ , який утворений паралельним з'єднанням  $R_H$  та  $R_K$ , визначається за формулою:

$$R_{H\sim} = \frac{R_H R_K}{R_H + R_K} \quad (1.22)$$

За заданими значеннями  $R_H = 146 \text{ Ом}$  та  $R_K = 150 \text{ Ом}$ , ми маємо:

$$R_{H\sim} = 74,2 \text{ Ом.}$$

Визначення вхідної провідності транзистора:

Для визначення СБ в робочій точці встановлюємо:  $I_B = 0,5$  мА.

Після проведення дотичної до вхідної характеристики в цій точці визначаємо вхідну провідність транзистора:

$$y_{11} = \frac{\Delta I_B}{\Delta U_{BE}} \parallel U_{KE} = 5 \text{ В} \quad (1.23)$$

Значення зміни струму  $\Delta I_B = 4$  мА та напруги  $\Delta U_{BE} = 0,3$  В, тому:

$$y_{11} = 0,013 \text{ См.}$$

Визначення крутизни транзистора:

$$S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{BE}} \parallel U_{KE} = \text{const} \quad (1.24)$$

З підставленими значеннями  $\Delta I_K = 30$  мА і  $\Delta U_{BE} = 0,05$  В маємо:

$$S = 0,45 \text{ А/В}$$

Розрахунок резисторного дільника:

За допомогою резисторного дільника встановлюється положення робочої точки, обчислимо  $U_{0B}$ :

$$U_{0B} = U_{0E} + U_{0BE} \quad (1.25)$$

Виходячи з вхідних параметрів,  $U_{0BE}$  становить 0,64 В, а  $U_{0E} = U_{PE} = 3$  В. Після підстановки отримуємо:

$$U_{0B} = 3,64 \text{ В}$$

Номінали резисторів визначаються за наступними формулами:

$$R1 = \frac{E_{ж} - U_{0B}}{I_D + I_{0B} - I_{K0}}, R2 = \frac{U_{0B}}{I_D}, I_D \approx (5 \div 10) I_{0B} \quad (1.26)$$

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 46   |

Ігноруючи зворотний струм  $I_{K0}$  і встановлюючи  $I_D = 5I_{0D}$ , обчислюємо номінали резисторів:  $R1 = 360 \text{ Ом}$ ,  $R2 = 1456 \text{ Ом}$ .

Також проводимо обчислення вхідного опору каскаду за АС.

Ця величина визначається як сумарний опір паралельно включених  $R1$ ,  $R2$  та  $(1/y_{11})$ :

$$R_{BX\approx} = R1//R2//(1/y_{11}), \quad (1.27)$$

$$R_{BX\approx} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + y_{11}} \quad (1.28)$$

Після підстановки числових значень отримуємо:  $R_{BX\approx} = 71,6 \text{ Ом}$ .

Коефіцієнт підсилення каскаду обчислюється за формулою:

$$K_U = SR_{H\approx}, \quad (1.29)$$

де  $S = 0,45 \text{ А/В}$ ,  $R_{H\approx} = 74,2 \text{ Ом}$ . В результаті  $K_U = 33,4$ .

Вибір опору для фільтра.

Встановлюємо опір  $R_\phi$  на рівні  $5 \text{ Ом}$ , щоб забезпечити мінімальне ослаблення амплітуди сигналу, який проходить через ділянку напруги, створений спільно з  $R_{BX2}$ .

Розрахунок вхідного каскаду.

Напруга живлення  $E_{ж}$  для вхідного каскаду встановлена на рівні  $15 \text{ В}$ , що відповідає напрузі живлення вихідного каскаду.

Вибір транзистора для вхідного каскаду.

Транзистор для вхідного каскаду вибирається за такими ж критеріями, що і для вихідного та проміжного каскадів, з урахуванням верхньої граничної частоти  $f_B$ , максимального СК  $I_{Kmax}$ , максимальної розсіюваної потужності та

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 47   |

найбільшої допустимої напруги колектора  $U_{KE_{доп}}$ . Вибір максимального СК здійснюється за наступним правилом:

$$I_{K_{max}} \geq 1,5 \cdot \frac{2U_{вих}}{K_{U3}K_{U2}R_{н1}}, \quad (1.30)$$

Формула (1.30) враховує коефіцієнти підсилення вихідного  $K_{U3} = 1,36$  та проміжного  $K_{U2} = 33,4$  каскадів, а також загальний опір  $R_{н1} = R_{вх2} + R_{ф} = 76,6$  Ом. Виходячи з цих даних,  $I_{K_{max}}$  має бути не менше 3 мА. Встановлюємо  $I_{K_{max}}$  на рівні 10 мА. Струм  $I_{K0}$  вибираємо рівним половині  $I_{K_{max}}$ , тобто  $I_{K0} = 5$  мА. Максимальна розсіювана транзистором потужність повинна бути вище, ніж  $I_{K0}U_{KE0} = 0,0375$  Вт, де  $U_{KE0}$  – це напруга на переході К-Е в робочій точці, яка дорівнює 7,5 В.

Транзистор BC546В відповідає наступним параметрам:

- Частота гранична  $f_B = 250$  МГц.
- Допустимий СК  $I_{K_{доп}} = 100$  мА, що більше від 10 мА.
- Допустима напруга К-Е  $U_{KE_{доп}} = 40$  В, при  $E_{ж} = 15$  В менше ніж  $0,8U_{KE_{доп}} = 32$  В.

- Допустима потужність  $P_{доп} = 0,15$  Вт, більша за  $I_{K0}U_{KE0} = 0,0375$  Вт.

Розрахунок резисторів  $R_K$  та  $R_E$ :

Максимальна напруга на К-і  $U_{K_{max}}$  дорівнює  $E_{ж} = 15$  В.

Опір у ланцюзі Е-а  $R_E$  вибирається так, щоб падіння напруги на ньому не перевищувало 0,1-0,3 від  $E_{ж}$ :

$$U_{RE} = 0,2 \cdot E_{ж} \quad (1.31)$$

$U_{RE} = 0,2 \cdot E_{ж} = 3$  В, враховуючи  $E_{ж} = 15$  В.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 48   |



$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_{E0}} \approx \frac{U_{RE}}{I_{K0}} \quad (1.32)$$

$R_E = U_{RE}/I_{K0} = 600 \text{ Ом}$ , враховуючи  $I_{K0} = 5 \text{ мА}$ .

Опір у ланцюзі К-а  $R_K$  розраховується аналогічно, виходячи з напруги на ньому:

$$U_{RK} = E_n - U_{RE} - U_{KE0}, \quad (1.33)$$

$$U_{RK} = E_n - U_{RE} - U_{KE0} = 4.5 \text{ В.}$$

$$R_K = \frac{U_{RK}}{I_{K0}} \quad (1.34)$$

$R_K = U_{RK}/I_{K0} = 900 \text{ Ом}$ , де  $I_{K0} = 5 \text{ мА}$ .

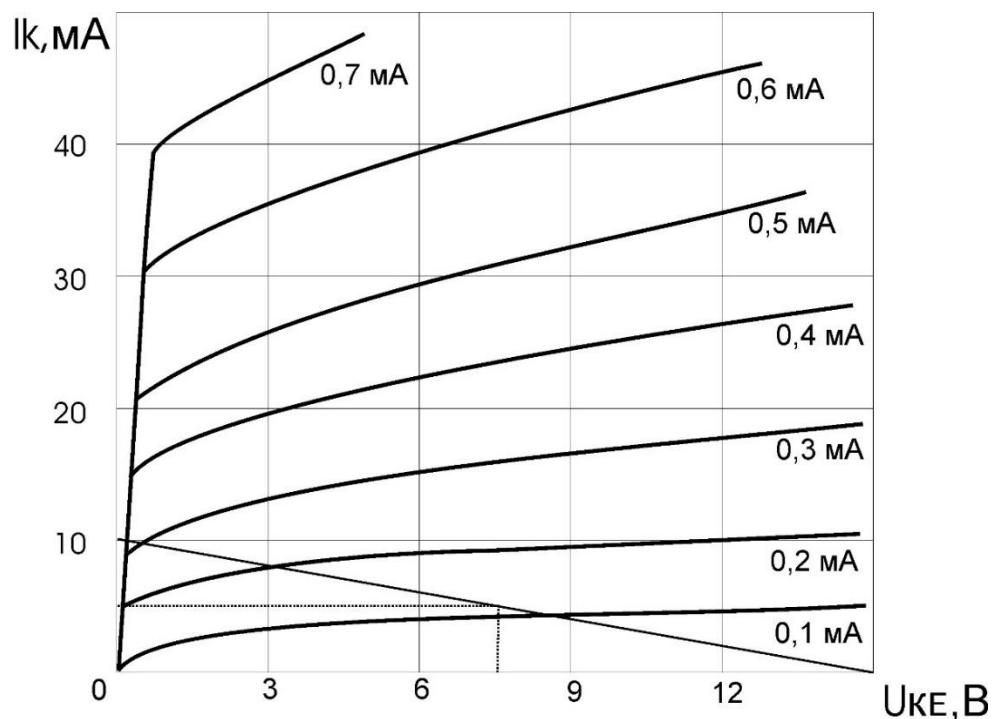


Рисунок 1.23 – Вхідний каскад: Вихідні характеристики та навантажувальна пряма.

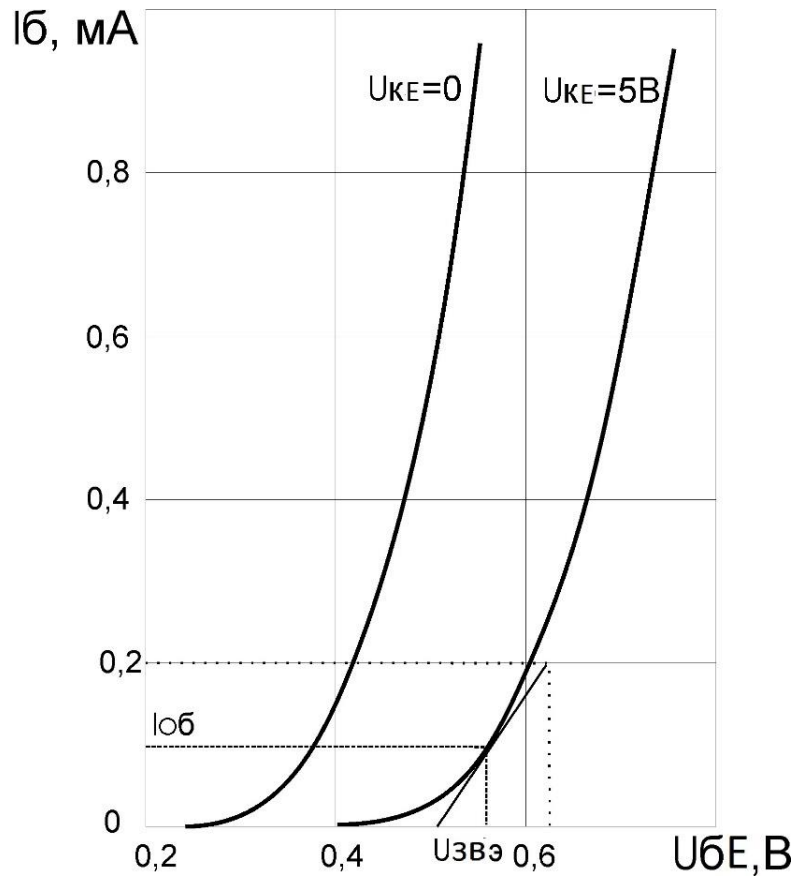


Рисунок 1.24 – Вхідний каскад: Вхідні характеристики.

Розрахунок опору навантаження для АС  $R_{H\sim}$ :

Опір навантаження для змінного струму  $R_{H\sim}$  утворюється за допомогою паралельного з'єднання  $R_H$  і  $R_K$  та обчислюється так:

$$R_{H\sim} = \frac{R_H R_K}{R_H + R_K} \quad (1.35)$$

З використанням значень  $R_H = R_{H1} = 76,6$  Ом та  $R_K = 900$  Ом, маємо:  
 $R_{H\sim} = 70,6$  Ом.

Обрахування вхідної провідності транзистора.

Знаходимо СБ в робочій точці:  $I_{об} = 0,12$  мА.

Проводимо дотичну до цієї точки на вхідній характеристиці та визначаємо вхідну провідність з використанням формули:

$$y_{11} = \frac{\Delta I_B}{\Delta U_{BE}} | U_{KE} = 5 \text{ В} \quad (1.36)$$

За  $\Delta I_B = 0,2 \text{ мА}$  та  $\Delta U_{BE} = 0,15 \text{ В}$ , отримуємо  $y_{11} = 0,0013 \text{ См}$ .

Визначення крутизни транзистора:

$$S = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{BE}} | U_{KE} = \text{const} \quad (1.37)$$

При  $\Delta I_K = 10 \text{ мА}$  та  $\Delta U_{BE} = 0,1 \text{ В}$ , маємо  $S = 0,1 \text{ А/В}$ .

Розрахунок резисторного дільника:

Встановлюємо робочу точку за допомогою резисторного дільника і визначаємо  $U_{0B}$ :

$$U_{0B} = U_{0E} + U_{0BE}, \quad (1.38)$$

Виходячи з вхідних параметрів, маємо  $U_{0BE} = 0,56 \text{ В}$  та  $U_{0E} = U_{RE} = 3 \text{ В}$ . Виконуючи підстановку, отримуємо  $U_{0B} = 3,56 \text{ В}$ .

Виразуємо номінали резисторів за наступними формулами:

$$R1 = \frac{E_{\Pi} - U_{0B}}{I_D + I_{0B} - I_{K0}}; R2 = \frac{U_{0B}}{I_D}; I_D \approx (5 \div 10) I_{0B} \quad (1.39)$$

Ігноруючи зворотний струм  $I_{K0}$  і приймаючи  $I_D = 5 I_{0B}$ , вираховуємо значення резисторів:  $R_1 = 15888 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5933 \text{ Ом}$ .

Визначаємо коефіцієнт глибини НЗЗ для АС та вхідний опір каскаду за АС для досягнення бажаного коефіцієнта підсилення пристрою:

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 51   |

$$K_U = K_{\text{вх.діл}} \cdot K_{U1} \cdot K_{U2} \cdot K_{U3}, \quad (1.40)$$

$$\text{де } K_{\text{вх.діл}} = \frac{R_{\text{ВХ}\approx}}{R_{\Gamma} + R_{\text{ВХ}\approx}}.$$

Потрібний коефіцієнт підсилення  $K_{UT} = 60$ . У коло Е-а вхідного каскаду включено ланцюг НЗЗ за АС, де коефіцієнт підсилення визначається як:

$$K_{U1} = \frac{SR_{H\sim}}{1 + S \frac{R_{OC}R_E}{R_{OC} + R_E}}, \quad (1.41)$$

Глибина НЗЗ обраховується за формулою:

$$\gamma_{\sim} = 1 + S \frac{R_{33}R_E}{R_{33} + R_E} = \frac{K_{\text{вх.діл}} \cdot SR_{H\sim} \cdot K_{U2} \cdot K_{U3}}{K_{UT}} \quad (1.42)$$

Вхідний опір каскаду для АС визначається як загальний опір, який складається з паралельно з'єднаних резисторів  $R1$ ,  $R2$  та додаванням  $(1/y_{11}) \cdot \gamma_{\sim}$ , де  $\gamma_{\sim}$  обчислюється як  $1 + S(R_{OC} // R_E)$  – глибина НЗЗ.

$$R_{\text{ВХ}\approx} = R1 // R2 // \left( \frac{1}{y_{11}} (1 + S(R_{OC} // R_E)) \right) \quad (1.43)$$

$$R_{\text{ВХ}\approx} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{y_{11}}{1 + S \frac{R_{OC}R_E}{R_{OC} + R_E}}} \quad (1.44)$$

Результат розв'язку цих рівнянь визначає такі значення:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 52   |

$$\frac{K_{UT}}{K_{U2}K_{U3}} = \frac{R_{BX\approx}}{R_{\Gamma} + R_{BX\approx}} \cdot \frac{SR_{H\sim}}{1 + S \frac{R_{OC}R_E}{R_{OC} + R_E}} \quad (1.45)$$

$$R_{BX\approx} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{y_{11}}{1 + S \frac{R_{OC}R_E}{R_{OC} + R_E}}} \quad (1.46)$$

$$R_{BX\approx} = 2077 \text{ Ом}, R_{33} = 45,1 \text{ Ом}.$$

Обираючи ємність конденсаторів  $C_{E1}$  і  $C_{E2}$ , необхідно врахувати, що їх опір у ланцюзі АС є істотним лише на найнижчій частоті.

$$C_{E1} \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot \frac{R_{E1}R_{33}}{R_{E1} + R_{33}}} \quad (1.47)$$

$$C_{E2} \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot R_{E2}} \quad (1.48)$$

Вставляючи значення, отримаємо:  $(C_{E1} \geq 37) = 50 \text{ мкФ}$ ,  $(C_{E2} \geq 15) = 22 \text{ мкФ}$ .

Розрахунок параметрів фільтра.

Фільтр створено з метою забезпечення певної верхньої граничної частоти. Частота  $f_B$  обчислюється відповідно до наступної формули:

$$f_B = \frac{1}{2\pi(R_{\Phi} + R_{\text{вих1}})C_{\Phi}}, \quad (1.49)$$

де  $R_{\text{вих1}}$  дорівнює  $R_{K1}$ .  $R_{\Phi}$  становить 5 Ом, відповідно  $C_{\Phi}$  дорівнює 17,6 пФ.

Здійснимо обчислення  $C_{\Phi}$ , враховуючи коефіцієнт частотних спотворень на верхній робочій частоті  $M_B$ .

Коефіцієнт  $M_B$  у даній схемі визначається через спотворення, що їх вносить ланцюг фільтра  $R_{\Phi}C_{\Phi}$ :

$$M_B = \frac{1}{\sqrt{1 + [2\pi \cdot f_B \cdot ((R_{\Phi} + R_{\text{вих1}})C_{\Phi})]^2}}, \quad (1.50)$$

Здійснимо визначення  $C_{\Phi}$ , беручи до уваги заданий коефіцієнт частотних спотворень  $M_B$ :

$$C_{\Phi} = \frac{1}{2\pi \cdot f_B \cdot (R_{\Phi} + R_{\text{вих1}})} \sqrt{\frac{1}{M_B^2} - 1}, \quad (1.51)$$

$C_{\Phi}$  складає 13,2 пФ.

Обрахунок роздільних ємностей здійснюється з врахуванням певного КГС на найнижчій робочій частоті:

$$M_H = M_{H1} \cdot M_{H2} \cdot M_{H3} \quad (1.52)$$

$$C_{P_i} = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_{\text{вих}_i} + R_{\text{вих}_{i+1}})} \sqrt{\frac{1}{M_{H_i}^2} - 1} \quad (1.53)$$

Припустимо, що спотворення на нижній частоті є однаковими в кожному каскаді:

$$M_{H_i} = M_{H1} \cdot M_{H2} \cdot M_{H3} \quad (1.54)$$

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 54   |

Таким чином:

$$M_{H_i} = \sqrt[3]{M_H} \quad (1.55)$$

$$M_{H_i} = 0,887.$$

Формули для визначення роздільних ємностей в даній схемі підсилювача виглядають так:

$$C_{P1} = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_{\Gamma} + R_{\text{вх}1\approx}) \sqrt{\frac{1}{M_{H_i}^2} - 1}}, \quad (1.56)$$

$$C_{P2} = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_{k1} + R_{\text{вх}2\approx} + R_{\Phi}) \sqrt{\frac{1}{M_{H_i}^2} - 1}}, \quad (1.57)$$

$$C_{P3} = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_{k2} + R_{\text{вх}3\approx}) \sqrt{\frac{1}{M_{H_i}^2} - 1}}, \quad (1.58)$$

$$C_{P4} = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot (R_{k3} + R_H) \sqrt{\frac{1}{M_{H_i}^2} - 1}}, \quad (1.59)$$

Підставляючи числові значення в ці формули, отримуємо:  $C_{P1} = 1,3$  мкФ,  $C_{P2} = 3,1$  мкФ,  $C_{P3} = 10,3$  мкФ,  $C_{P4} = 24,5$  мкФ.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

Оцінка нелінійних спотворень здійснюється в умовах, коли вхідні та проміжні ступені працюють у режимі слабкого сигналу, а основні нелінійності виникають на етапі вихідного каскаду. Для аналізу цих спотворень використовується метод п'яти ординат, який допомагає визначити гармонічні складові. Вхідні ЕРС визначені як  $E_{\Gamma m1}$ ,  $E_{\Gamma m2}$ ,  $E_{\Gamma m3}$ , на основі яких розраховується КГС.

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{(E_{\Gamma m2}^2 + E_{\Gamma m3}^2)}}{E_{\Gamma m1}}, \quad (1.60)$$

На навантажувальній кривій фіксуються точки миттєвих значень струму  $I_{K1}$ ,  $I_{K2}$ ,  $I_{K3}$ ,  $I_{K4}$ ,  $I_{K5}$ , які відповідають показникам  $I_{Kmin}$ ,  $(I_{K0} - I_{Kmin})/2$ ,  $I_{K0}$ ,  $(I_{Kmax} - I_{K0})/2$ ,  $I_{Kmax}$ . Відповідно до вихідних характеристик визначаються СБ  $I_{\beta_1}$ ,  $I_{\beta_2}$ ,  $I_{\beta_3}$ ,  $I_{\beta_4}$ ,  $I_{\beta_5}$ . Вхідні характеристики допомагають встановити миттєві значення напруги Б-Е  $U_{\beta_1}$ ,  $U_{\beta_2}$ ,  $U_{\beta_3}$ ,  $U_{\beta_4}$ ,  $U_{\beta_5}$ :

$$E'_{\Gamma m} = U_{B5} - U_{B3} + R_{K2}(I_{B5} - I_{B3}),$$

$$E''_{\Gamma m} = U_{B4} - U_{B3} + R_{K2}(I_{B4} - I_{B3}),$$

$$E'''_{\Gamma m} = U_{B3} - U_{B2} + R_{K2}(I_{B3} - I_{B2}),$$

$$E''''_{\Gamma m} = U_{B3} - U_{B1} + R_{K2}(I_{B3} - I_{B1}),$$

на основі яких обчислюються амплітуди перших трьох гармонічних складових ЕРС.

$$E_{\Gamma m1} = 0,33 \cdot (E'_{\Gamma m} + E''_{\Gamma m} + E'''_{\Gamma m} + E''''_{\Gamma m}),$$

$$E_{\Gamma m2} = 0,25 \cdot (E'_{\Gamma m} - E''''_{\Gamma m}),$$

$$E_{\Gamma m3} = 0,17 \cdot (E'_{\Gamma m} - 2E''_{\Gamma m} - 2E'''_{\Gamma m} - E''''_{\Gamma m}),$$



Далі визначається КГС каскаду з використанням відповідної формули:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{(E_{\Gamma m2}^2 + E_{\Gamma m3}^2)}}{E_{\Gamma m1}} \cdot \frac{1}{\gamma'} \quad (1.61)$$

де  $\gamma$  є коефіцієнтом нелінійних змін.

Після проведення всіх розрахунків, КГС може бути визначений як 1,43%.

#### 1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

Мікроконтролери активно розвиваються і знаходять широке застосування у багатьох сучасних промислових та побутових пристроях, таких як верстати, автомобілі, мобільні телефони, телевізори, холодильники, пральні машини та навіть кавомашини. Серед відомих виробників мікроконтролерів можна виокремити такі компанії як Intel, Motorola, Hitachi, Microchip, Atmel, Philips, Texas Instruments, та Infineon Technologies.

Мікроконтролери на базі ядра ARM посідають значне місце на ринку завдяки своїм властивостям. Великий вибір моделей мікроконтролерів ARM робить їх придатними для різноманітних застосувань, особливо в портативних пристроях, де вони вирізняються ефективним управлінням енергоспоживанням. Це досягається завдяки наявності численних режимів роботи, опцій синхронізації та інших особливостей, які дозволяють мікроконтролерам STM серії ARM демонструвати найкращі показники енергоспоживання у своєму класі.

Ці ІМС пропонують п'ять варіантів економії енергії:

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 57   |



режими роботи: потоковий режим “Thread” та режим обробки “Handler”, кожен з яких може використовувати свої стеки. Це дозволяє створювати більш розвинуте ПЗ та підтримувати ОС реального часу з кооперативною та превентивною багатозадачністю. Контролер векторизованих вкладених переривань може обслуговувати до 255 векторів переривань, включно з 15 винятками, що генеруються ядром ЦП. Для кожного вектору можна встановити один з 16 рівнів пріоритету. Вхід у процедуру обробки переривання займає всього 12 машинних циклів, а кожне наступне вкладене переривання обробляється за 6 циклів. Ефективність забезпечується автоматичним збереженням контексту перерваної програми та перемиканням стеків, що виконується завдяки спеціальному мікрокоду в середині ЦП.

Цей пристрій оснащений центральним контролером серії STM32f100, який керує різними функціональними модулями. Ця модель є оптимальним вибором через свою доступність і компактні розміри (LQFP48 7×7 мм), що дозволяє ефективно розміщувати компоненти на платі.

Основні характеристики включають:

- ЦП: Cortex-M3.
- Частота процесора: від 0 до 24 МГц.
- Пам’ять: 16 КБ Flash.
- RAM: 4 КБ.
- Кількість I/O портів: 37.
- Таймери: 6 шт. (16-біт).
- Кількість каналів ШІМ: 3.
- RTC: Так.
- UART портів: 2 шт.
- SPI портів: 1 шт.
- I2C портів: 1 шт.
- DMA: 1 шт.
- АЦП: 12 біт, 10 каналів.

|             |             |                 |               |             |                         |      |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------|
|             |             |                 |               |             | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
|             |             |                 |               |             |                         | 59   |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                         |      |

- ЦАП: 12 біт, 2 канали.
- Діапазон напруг живлення: від 2 до 3.6 В.
- Температурний діапазон: від -40 до +105 °С.
- Тип корпусу: LQFP-48.

Додаткові особливості:

- ШІМ таймери: 7 шт. (16-біт), з розширеним керуванням, загалом 26 каналів.
- Три незалежні ШІМ таймери з комплементарними виходами та генератором пауз.
- Вбудований подвійний 12-бітний ЦАП з підтримкою DMA та буферизованими виходами.
- Інтерфейси для керування електронікою (СЕС).
- Підтримка І<sup>2</sup>С (400 кГц), SPI (до 12 Мбіт/сек), USART (до 3 Мбіт/сек).
- 32-бітний набір інструкцій ARM Cortex-M3 Thumb-2 і 7-канальний DMA.
- Прискорювач CRC з підтримкою DMA.
- Вбудовані схеми скидання при подачі живлення та при зниженні напруги, сторожовий таймер, RC-генератор частоти (8 МГц та 40 кГц) для синхронізації RTC та сторожового таймера.

Переваги:

- Ідеально підходить для систем керування.
- Оптимальний варіант для електрообладнання, зокрема для пристроїв індукційного нагріву.
- Зменшує вартість та складність систем.
- Мінімізує використання ресурсів процесора, I/O портів та RAM.
- Покращує комунікаційні можливості.
- Висока продуктивність завдяки 16-бітній щільності коду.
- Спрощує перевірку цілісності Flash-пам'яті.
- Ефективно знижує вартість системи.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 60   |

## 1.5 Розробка компоновки і конструкції ДВ

Пристрій створимо на основі ОДП. Згідно зі стандартом ГОСТ 23751-86, проектування ОДП має включати такі технологічні методи, як КПМ та ЕМ.

ЕМ відомий своєю високою точністю та щільністю провідного малюнка. Проте, ключовою вимогою для розробки пристрою є його висока надійність, яка досягається застосуванням КПМ завдяки ефективному зчепленню провідників з платою. Цей КПМ є найбільш вживаним на виробництві замовника.

ТП створення ДП КПМ включає кілька взаємозалежних етапів. Вхідний контроль фольгованого діелектрика (СФ-1-35Г) передбачає перевірку розмірів аркуша, стану поверхні, міцності зчеплення фольги в первісному стані та під впливом таких факторів, як розплавлений припій, гальванічні розчини (відповідно до ГОСТ 10316-78). В процесі візуального огляду можливе виявлення проколів, міхурів та інших дефектів. Викривлення та вигини діелектрика перевіряються шляхом занурення матеріалу в розплавлений припій.

Міцність зчеплення фольги з діелектриком вимірюється за допомогою зусилля, потрібного для відділення фольги від основи. Також оцінюється штампувальність матеріалу, яка показує його здатність до обробки без утворення сколів на краях отворів та тріщин між ними.

Матеріал тестується на обробку свердлінням через аналіз шліфу отворів для ідентифікації дефектів як оплавлення, що важливо для металізації. Стандарт: ДСТУ 23752-83.

Заготовки з фольгованого діелектрика ріжуться з припуском 10 мм дисковими фрезами, роликівими чи гільйотинними ножицями. Виробництво отворів здійснюється без охолоджувальної рідини, з точністю до 0,02 мм на верстатах з ЧПУ (напр. SHMOP, ALPHA-Z) для мінімізації вібрацій.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 61   |

Гальванічна металізація включає:

- Підготовку (знежирення, етчінг, сенсibiliзація, активація).
- Хімічне міднення для формування шару 0,25-0,5 мкм.
- Гальванічне міднення до 25 мкм.

Контроль якості металізованих поверхонь здійснюється установкою СПФ-2-40, фоторезист застосовується у процесі експонування.

Електролітичне міднення та осадження сплаву «олово-свинець» виконується на лінії «Блазер» для захисту і збільшення товщини мідного шару.

ДП формується фрезеруванням, маркуванням для збірки, і консервується флюсом ФКСП для збереження від корозії.

#### Оптимізація компоновки, ДВ

ТП виробництва пристрою включає серію кроків: використання стандартних ТР і ТП, вибір економічно виправданого обладнання, застосування стандартного ріжучого та вимірювального інструменту. Основні етапи ТП складання електронних пристроїв:

1. Підготовка компонентів.
2. Монтаж на ДП.
3. Формування ел. з'єднань.
4. Перевірка збірки.
5. Консервація продукції.

Деталізація процесу:

– Комплектація: Збір матеріалів за картою, запис у техн. журнал, розміщення у тару.

– Контроль якості: Інспекція ІМС та ДП на наявність дефектів, перевірка працездатності на контрольному стенді.

– Розконсервування ДП: Занурення у ванну зі спиртом та бензином, очищення металізованих отворів, перевірка зовнішнього стану.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 62   |

– Підготовка до лудіння: Обробка поверхонь хім. способом, занурення у суміш, промивання.

– Лудіння: Покриття деталей припоєм, занурення виводів у флюс та припій, тривалість 1 с.

Ці процедури дозволяють ефективно і без зайвих витрат досягти високої якості збірки електронних пристроїв.

Монтаж електронних компонентів на ДП передбачає розміщення навісних компонентів на ДП, включаючи їх подачу до зони монтажу, орієнтування стосовно монтажних висновків чи контактних площадок та їх закріплення у потрібному положенні. Залежно від характеру виробництва та конструктивних особливостей ДП, монтаж може бути вручну, механізований або автоматизований. Автоматизовані методи застосовуються у масовому виробництві, тоді як механізовані методи використовуються для ДП з високою щільністю компонентів. Ручне складання є особливо вигідним і включає візуальний контроль якості. Компоненти монтуєть на ДП за наступним порядком: спочатку резистори, потім конденсатори, ІМС та провідники трансформатора. Для ІМС згинають лише два діагонально розташовані виводи. Встановлення ІМС також включає заходи з нейтралізації статичної електрики, як-от використання заземленого браслета. Транзистори на радіаторах і трансформатори встановлюються в останню чергу згідно зі складальним кресленням, де трансформатори кріпляться гвинтами, гайками та шайбами.

Підготовчі операції включають обрізання виводів електронних компонентів та роз'ємів за допомогою бокорізів. Перед паянням на виводи елементів наносять флюс, який розчиняє та усуває оксидні плівки на металі та припої, знижуючи поверхневий натяг розплавленого припою. В монтажному паянні часто використовують безкислотні флюси, зокрема каніфоль і флюси на її основі з додаванням неактивних речовин (наприклад, спирт або гліцерин). Такі флюси не викликають корозію і є діелектриками, не притягуючи вологу.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 63   |

Ми вибрали флюс марки ФСК, який складається з 10-40% розчину соснової каніфолі в етиловому спирті.

Паяння є ТП, який включає декілька важливих кроків:

- Стабілізація з'єднувальних елементів на підготовлених до паяння поверхнях.
- Нагрівання цих поверхонь до потрібної температури протягом визначеного періоду часу.
- Додавання флюсу та припою в потрібних кількостях у зону паяння.
- Розплавлення припою для забезпечення максимального змочування поверхні.
- Остигання припою в умовах, які запобігають переміщенню деталей, що паяються.

Якість ПЗ значно залежить від вибору припою. Він повинен мати відповідні електричні характеристики, ефективно заміщати флюс, утворювати міцне ПЗ з основним металом, а також мати певну щільність, коефіцієнт теплового розширення і властивості проти корозії. Високу якість ПЗ забезпечує евтектичний припій, який кристалізується в вузькому діапазоні температур. Припій ПОС61 відповідає всім цим критеріям, маючи низьку температуру плавлення і високу корозійну стійкість. Час утримання при температурі припою 240 °С складає від 2 до 5 секунд. Також важливо підтримувати стабільний рівень припою в ванні та забезпечувати чистоту його поверхні, при необхідності очищуючи від оксидної плівки.

Видалення флюсу після ПЗ є критичним етапом, що вимагає ретельного очищення вузлів та з'єднань від залишків, які можуть спричинити корозію та зниження опору діелектричних матеріалів. Чистка включає послідовне занурення у ванну зі спиртобензиною сумішшю та промивання гарячою та холодною водою, кожен з етапів триває приблизно хвилину.

Контроль якості ПЗ здійснюється візуально: паяна поверхня повинна бути чистою, гладенькою, без дефектів. Виявлені недоліки усуваються за

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                         | 64   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



допомогою паяльника і флюсу ФКС, застосовуючи невелику кількість флюсу на дефектні місця та знімаючи надлишки припою.

Маркування виробів включає нанесення номера пристрою, дати виготовлення та коду заводу-виробника чорним чорнилом для підвищення відповідальності виробника, а також ведення записів у ТП блоку.

Перевірка працездатності виконується на спеціалізованих стендах, де використовують осцилограф для порівняння тимчасових діаграм роботи з еталонними. У разі виявлення дефектів робляться відповідні записи у ТП і картку відмови з указанням причин дефекту та необхідності заміни компонентів.

Вторинний монтаж включає демонтаж несправних елементів, при цьому частка виявлених несправностей не повинна перевищувати 5,5%, інакше виріб вважається бракованим. Повторна ПЗ виконується вручну, час торкання паяльником висновків елементів обмежений трьома секундами.

Очищення після повторної ПЗ проводиться за допомогою щетинної кисті і спиртобензинової суміші.

Вихідний контроль включає перевірку відповідності фізичних і електричних параметрів, а також зовнішнього вигляду ДП, що не повинні мати дефектів, які можуть вплинути на якість.

Лакування ДП та їх сушіння допомагають нівелювати вплив кліматичних умов та підвищувати стійкість до корозії. У цьому процесі використовується лак УР231. Сушіння здійснюється за допомогою гарячого повітря при температурі від 40 до 60 °С. Після завершення цього процесу ДП розміщується в тару та упаковується.

Всі компоненти монтуються на ДП, виготовлену з односторонньо фольгованого склотекстоліту. Виводи ІМС вставляють у передбачені для них отвори, потім загинають та припаюють зі сторони друкованих провідників.

|             |             |                 |               |             |                         |             |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|
|             |             |                 |               |             | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                         | <i>65</i>   |

В першому розділі кваліфікаційної роботи описані етапи проектування осцилографа, а саме було розроблено ССП, на базі якої була створена ЕЗ, а також здійснено розрахунок ДВ для правильного вибору компонентів.

Технологія виготовлення ДВ детально описана в конструкторському розділі.

### 1.6 Висновок до розділу 1

На підставі проведеного аналізу ринку існуючих осцилографів, як з мінімальним, так і з широким функціональним набором Tektronix (США), Agilent Technologies (США), Le Croy (Швейцарія), RIGOL Technologies, Inc. (Китай), Fluke (США), GOOD WILL Instek (Тайвань), Rohde & Schwarz (Німеччина), можна стверджувати, що дана галузь є досить розвиненою. Представлені на ринку осцилографи дають змогу ефективно використовувати їх за призначенням.

Однак існуючі осцилографи характеризуються високою вартістю і є недоступними більшості споживачів, тому проектування нового пристрою, який би задовольняв вимогам споживачів та характеризувався невисокою вартістю є актуальною інженерно-технічною задачею.

Тому, в розділі розроблено структурну схему пристрою, на базі якої розроблено конструкцію осцилографа, а саме його функціональну схему та описано її основні функціональні вузли. Шляхом розрахунку функціональних вузлів вибрано та обґрунтовано компонентну базу пристрою і розроблено схему електричну принципову. На базі схеми електричної принципової розроблено компонування та конструкція друкованого вузла пристрою.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 66   |

## 2 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

### 2.1 Проведення інструктажів з охорони праці.

Відомо, що відповідальність за безпеку праці несе роботодавець. Одним з обов'язків роботодавця є організація і проведення інструктажів з охорони праці. Які види інструктажів з охорони праці існують і як повинні проводитися з'ясував Prostopravo.com.ua

#### Порядок проведення

Навчання та інструктаж з питань охорони праці повинен проводитися з усіма працівниками в процесі їх трудової діяльності незалежно від форми власності та видів діяльності підприємства. Крім того, наказом Держнаглядохоронпраці від 23.12 1993р. № 196 затверджено Перелік робіт з підвищеною небезпекою, які передбачають спеціальне навчання і перевірку знань з питань охорони праці не рідше одного разу на рік. На підприємствах на основі Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці (Наказ Держнаглядохоронпраці від 04.04.1994р. №30) з урахуванням специфіки виробництва опрацьовуються та затверджуються їх керівниками відповідні Положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці, формуються плани-графіки проведення цієї роботи, з якими повинні бути ознайомлені всі працівники.

Перед перевіркою знань з охорони праці на підприємстві організовуються заняття, лекції, семінари та консультації. Перелік питань для перевірки знань з охорони праці з урахуванням специфіки виробництва складають члени комісії з перевірки знань з питань охорони праці, узгоджує служба охорони праці і затверджує керівник підприємства. У складі комісії по перевірці знань з питань охорони праці повинно бути не менше трьох осіб, які в установленому порядку пройшли навчання та перевірку знань з питань

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 67   |

охорони праці. Результати перевірки знань працівників з питань охорони праці оформляються протоколом.

Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання і перевірки знань з питань охорони праці, забороняється.

Відповідальність за організацію навчання і перевірку знань з охорони праці на підприємстві покладається на його керівника, а в структурних підрозділах (цеху, дільниці, лабораторії, майстерні і т.д.) - на керівників цих підрозділів.

Контроль за навчанням і періодичністю перевірки знань питань охорони праці здійснює служба охорони праці або працівники, на яких покладено ці обов'язки керівником (правлінням) підприємства.

#### Види інструктажів

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на: вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний інструктаж з охорони праці проводиться з:

- усіма працівниками, що тільки поступили на роботу (постійну або тимчасову) незалежно від їх освіти, стажу роботи за цією професією або посади;
- працівниками, які знаходяться у відрядженні на підприємстві і беруть безпосередню участь у виробничому процесі;
- з водіями транспортних засобів, які вперше в'їжджають на територію підприємства;
- учнями, вихованцями та студентами, які прибули на підприємство для проходження виробничої практики;
- учнями, вихованцями та студентами в навчально-виховних закладах перед початком трудового і професійного навчання в лабораторіях, майстернях, на полігонах і т.п.

Вступний інструктаж проводить спеціаліст з охорони праці або особа, на яку наказом по підприємству (рішенням правління) покладено ці обов'язки за

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 68   |

програмою, розробленою службою охорони праці з урахуванням особливостей виробництва.

Первинний інструктаж проводиться на робочому місці до початку роботи з:

- працівником, новоприбулим (постійно або тимчасово) на підприємство;
- працівником, який переводиться з одного цеху виробництва до іншого;
- працівником, який буде виконувати нову для нього роботу;
- відрядженим працівником, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві;
- студентом, учнем і вихованцем, який прибув на виробничу практику, перед виконанням ним нових видів робіт, перед вивченням кожної нової теми під час проведення трудового і професійного навчання в навчальних лабораторіях, класах, майстернях, на ділянках;
- під час проведення позашкільного навчання в гуртках та секціях.

Первинний інструктаж проводиться індивідуально або з групою осіб загальної спеціальності за програмою, складеною з урахуванням вимог відповідних інструкцій з охорони праці для працівників, інших нормативних актів про охорону праці, технічної документації.

Програма первинного інструктажу розробляється керівником цеху, дільниці, узгоджується зі службою охорони праці затверджується керівником підприємства, навчального закладу або їх відповідного структурного підрозділу.

Повторний інструктаж проводиться на робочому місці з усіма працівниками: на роботах з підвищеною небезпекою - I раз в квартал, на інших роботах - I раз на півріччя. Повторний інструктаж проводиться індивідуально або з групою працівників, які виконують однотипні роботи, за програмою первинного інструктажу в повному обсязі.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 69   |

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативних актів про охорону праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;
- при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструменту, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на охорону праці;
- при порушенні працівником, студентом, учнем або вихованцем нормативних актів про охорону праці, що можуть призвести або призвели до травми, аварії чи отруєння;
- на вимогу працівників органу державного нагляду за охороною праці, вищої господарської організації або державної виконавчої влади в разі, якщо виявлено незнання працівником, студентом або учнем безпечних методів, прийомів роботи або нормативних актів про охорону праці;
- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів - для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт - понад 60 днів.
- Позаплановий інструктаж проводиться індивідуально або з групою працівників загальної спеціальності. Обсяг і зміст інструктажу визначаються в кожному окремому випадку в залежності від причин і обставин, що призвели до необхідності його проведення.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками при:

- виконанні разових робіт, не пов'язаних з безпосередніми обов'язками за фахом (навантаження, розвантаження, разові роботи за межами підприємства, цеху і т.п.);
- ліквідації аварії, стихійного лиха;
- проведенні робіт, на які оформляється наряд-допуск, дозвіл та інші документи;
- екскурсіях на підприємства.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 70   |

Цільовий інструктаж фіксується нарядам-допуском або іншою документацією, що дозволяє проведення робіт.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі проводить безпосередньо керівник робіт (начальник виробництва, цеху, дільниці, майстер, інструктор виробничого навчання, викладач тощо). Після проведення інструктажу повинно бути проведене усне опитування, а також перевірка придбаних практичних навичок безпечних методів праці. Знання перевіряє той, хто проводив інструктаж. Про проведення первинного, повторного, позапланового інструктажів, стажування та допуск до роботи особа, яка проводила інструктаж, робить запис в журнал. При цьому обов'язкові підписи як того, кого інструктували, так і того, хто інструктував. Журнали інструктажів повинні бути пронумеровані, прошнуровані та скріплені печаткою.

Керівник підприємства зобов'язаний видати працівнику примірник інструкції з охорони праці за його професією або вивісити її на його робочому місці.

## 2.2 Психологічні причини нещасних випадків і травматизму

Аналіз фактів травматизму вказує на вирішальну роль людини в створенні передумов формування травмонебезпечних ситуацій: значна їх кількість виникає із суб'єктивних причин, які пов'язані з особистістю та поведінкою працівника.

Практика показує, що момент виникнення нещасного випадку спрогнозувати неможливо. Однак аналіз причин травматизму в системі “людина – машина – середовище” свідчить, що навіть найпростіший нещасний випадок залежить від комплексу факторів, у яких визначальну роль відіграє людина.

Існуюча система заходів, що дозволяють знизити ймовірність нещасних випадків, зазвичай містить вдосконалення техніки і технології, створення й

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 71   |

встановлення колективних та індивідуальних засобів захисту, оптимізацію санітарно-гігієнічних умов праці, розроблення спеціальних правил та інструкцій, навчання прийомам і способам безпечного виконання робіт та ін. Проте всіх цих заходів замало. На думку спеціалістів, низька ефективність заходів, які направлені на попередження травматизму, є наслідком недооцінення, а часом і незнання чисельної групи травмонебезпечних дій, що обумовлені суб'єктивними причинами: психофізіологічними та особистими особливостями працюючих.

Урахування індивідуальних характеристик має велике значення у створенні безпечних умов праці. Звичайно, людина, яка прийшла на роботу в хворобливому стані, наражається на небезпеку в суттєво більшому ступені, ніж здорова. Із працівниками, які регулярно вживають алкогольні напої, нещасні випадки трапляються на 35% частіше, а пошкодження внаслідок травмування у них важчі, ніж в осіб, які не вживають алкоголь. Встановлено, що однією з причин настання нещасного випадку є відсутність інтересу до професійної діяльності. Необхідно враховувати також деякі індивідуальні відмінності працівників.

Психофізіологічні проблеми безпеки можна умовно поділити на дві групи:

- такі, що пов'язані з особистістю працівника безпосередньо на робочому місці, тобто належать до небезпек, які, з одного боку, провокуються його діями, а з іншого – формуються незалежними від нього об'єктивними умовами;
- проблеми психології інженерно-технічних працівників, які є організаторами й виконавцями робіт, внаслідок неправильних дій або бездіяльності яких створюються передумови для виникнення нещасних випадків та аварій.

Можна нарахувати більш ніж десять психологічних причин свідомого порушення правил безпеки праці. До числа найрозповсюджених слід віднести:

|             |             |                 |               |             |                         |             |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|-------------|
|             |             |                 |               |             | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                         | <i>72</i>   |



- гонитву за швидким результатом, для чого вибираються легші, але не безпечніші дії;

- звичку працювати з порушеннями (коли до певного часу все сходить з рук), упевненість, що формує у свідомості людини спокій, викликає адаптацію до небезпеки, що в результаті призводить до нещасного випадку;

- самоствердження в очах колег, прагнення виділитися шляхом демонстрації рішучості, сміливості в умовах підвищеної небезпеки тощо.

Установлено, що порушники правил охорони праці – люди хвацькі або користолобці, алкоголіки, ледарі, егоїсти. Такі працівники більше за інших схильні до травматизму та формування небезпечних ситуацій для інших.

Нерідко під час розслідувань нещасних випадків події, які сталися, класифікуються, як такі, що пов'язані з особистими якостями потерпілого ("необережність"). Між тим, помилки, що пов'язані з неправильними (небезпечними) діями працівника, мають різне походження. У структуру психофізіологічних і особистих якостей, які складають категорію травмонебезпечних елементів діяльності людини, входять: необережність, недисциплінованість, недостатня координація рухів, неузгодженість дій, нестійкість або недостатнє перемикання уваги, погана реакція, помилки мислення, безграмотність, неухважність та ін.

Здатністю передбачати несприятливі наслідки своєї поведінки володіють близько 15% працюючих. Як правило, це люди урівноважені, виховані, відповідальні. Цей комплекс позитивних якостей сприяє правильному оцінюванню працівниками небезпечних ситуацій і дозволяє уникнути травм.

Кожен працівник повинен усвідомлювати потребу в самоконтролі своїх дій і в самопрофілактиці травматизму на основі критичного аналізу власних особистих якостей, переоцінювання свого мислення й можливостей. Завдання організатора і виробника робіт полягає у формуванні в працюючих стереотипу охоронного мислення й обережності, взаємопрофілактики травматизму. Більше 70% травм настає через незадовільну організацію робіт та технічні

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 73   |

проблеми, недостатнє опрацювання технологічних процесів, відсутність контролю за дотриманням правил безпеки виконавцями в процесі трудової діяльності, через інші інженерні прорахунки. Нерідко ситуація з виробничим травматизмом погіршується через те, що в діях інженерно-технічного персоналу бракує культури управлінської праці.

Практичне значення в профілактиці травматизму, встановленні причин нещасних випадків і професійних захворювань має знання персоналом (адміністрацією, організаторами і виконавцями робіт) чинників або складових, з яких формується система безпечного виробництва. Отже, необхідно навчатись охороні праці всім разом!

### 2.3 Висновок до розділу 3

При написанні розділу з охорони праці кваліфікаційної роботи бакалавра були розглянуті питання: проведення інструктажів з охорони праці та проведення інструктажів з охорони праці, зокрема для джерела безперебійного живлення для телекомунікаційних систем.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 74   |

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» було здійснено етапи проектування електронного осцилографа (ЕО). Основою для початку роботи став порівняльний аналіз існуючих моделей осцилографів, який підкреслив важливість і актуальність проекту.

На першому етапі було створено схемотехнічний проект, розроблено структурну схему та ЕЗ ЕО.

На другому етапі відбулося конструювання осцилографа, де на основі ЕЗ та електричних розрахунків було обрано компонентну базу та забезпечено вимоги до надійності апарату.

У спеціалізованій частині роботи описано використання ПЗ для проектування ЕЗ, зокрема, розробка символів компонентів за допомогою програми Altium Designer.

На підставі економічних розрахунків було зроблено висновок про економічну ефективність виробництва розробленого ЕО.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» висвітлено питання забезпечення припливної вентиляції для проєктованого цеху та вивчено методи оцінки народногосподарських і соціальних вигод від покращення умов праці.

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                  | 75   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



15. EEU-FR1H4R7 [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
16. <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Panasonic/EEU-FR1H4R7?qs=tfZGHB2PWd0gZ8LzVWIqKg%3D%3D> (дата завершения 10.05.2024)
17. ECA-1JM101 [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
18. <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Panasonic/ECA-1JM101?qs=EZwXiknEaqS%252bgLCqmp5tPA%3D%3D> (дата завершения 10.05.2024)
19. ECA-1JM101 [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
20. <https://www.snapeda.com/parts/51AAD-B24-A15L/Bourns/datasheet/> (дата завершения 10.05.2024)
21. Liliya Khvostivska, Mykola Khvostivskyu, Vasyl Dunets, Iryna Dediv. “Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks”. Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, 22-24 November 2022, Ternopil, Ukraine, ИТТАР 2022, 2022, pp. ;
22. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 111, no 3, 2023. pp. 48–57;
23. Palianytsia, Yurii, Vasyl Dunets, and Liliia Khvostivska. “Modeling of Phased Array Antenna for Data Transmission in Urban Environment.” Proceedings of the 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, 22-24 November 2023, Ternopil, Ukraine, edited by Lytvynenko I.V. and Lupenko S.A., ИТТАР-2023, 2023, pp. 370-381. (Scopus);

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>КАО 2.899.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 77   |

# ДОДАТКИ

|      |      |          |        |      |                  |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------|------|
|      |      |          |        |      | КАО 2.899.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 78   |

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри РТ  
\_\_\_\_\_ к.т.н. Дунець В.Л.  
“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу бакалавра

НА ТЕМУ:

**«ЦИФРОВИЙ ОСЦИЛОГРАФ SCOPE METER»**

Узгоджено:  
Керівник роботи  
Яворський Б.І. \_\_\_\_\_  
“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”  
Студент групи РА-41  
Корницький А.О. \_\_\_\_\_  
“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024р.

Тернопіль, 2024

# 1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Цифровий осцилограф Scope Meter”.

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № 4/7-581 від “3” червня 2024р.

## 2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Корницький Арсен Олегович, студент групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

## 3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є проектування цифрового осцилографа, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення розроблювального цифрового осцилографа;
- вибір компонентної бази розроблювального цифрового осцилографа;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи цифрового осцилографа;
- проектування друкованого вузла та друкованої плати цифрового осцилографа.

## 4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

### 4.1. Основні параметри

- |                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| 4.1.1 Напруга живлення        | +15 В;               |
| 4.1.2 Чутливість: мінімум     | 0,05 мВ с/доба;;     |
| 4.1.3 Вхідна ємність          | 15 пФ;               |
| 4.1.4 Діапазон робочих частот | від 0,0001 до 10 МГц |

### 4.1.4 Вимоги до умов експлуатації повинні бути:

- Кліматичні умови за ГОСТ 15150-69, УХЛ 4,1;
- Температура навколишнього середовища від +10°C до + 35°C
- Відносна вологість повітря 80 % при  $t=25^{\circ}\text{C}$

Примітка: габаритні розміри приладу уточнюються в процесі розробки конструкції.



## 5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема цифрового осцилографа;
- електрична принципова схема цифрового осцилографа;
- друкована плата цифрового осцилографа;
- друкований вузол цифрового осцилографа.

## 6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

| № етапу | Назва етапу виконання КР   | Термін виконання |
|---------|--|------------------|
| 1       | Розробка та затвердження технічного завдання   | 01.03.2024       |
| 2       | Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи | 14.03.2024       |
| 3       | Розробка структурної схеми приладу   | 25.03.2024       |
| 4       | Розробка схеми електричної принципової   | 10.04.2024       |
| 5       | Розрахунок основних вузлів у схемі приладу   | 21.04.2024       |
| 6       | Вибір компонентної бази приладу  | 01.05.2024       |
| 7       | Компоновка друкованого вузла   | 15.05.2024       |
| 8       | Створення допоміжної документації  | 27.05.2024       |
| 9       | Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони   | 02.06.2024       |
| 10      | Нормоконтроль  | 05.06.2024       |
| 11      | Перевірка на антиплагіат   | 06.06.2024       |
| 12      | Попередній захист роботи   | 13.06.2024       |
| 13      | Захист роботи  | 26.06.2024       |

Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

## 7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

7.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.







| Формат. | Зона. | Поз. | Найменування     | Найменування          | Кіл. | Примітка      |
|---------|-------|------|------------------|-----------------------|------|---------------|
|         |       |      |                  | <u>Документація</u>   |      |               |
| A1      |       |      | КАО 2.899.001 СК | Складальне креслення  |      |               |
|         |       |      |                  | <u>Деталі</u>         |      |               |
|         |       | 1    | КОА 7.103.001    | Плата друкована       | 1    |               |
|         |       |      |                  | <u>Інші вироби</u>    |      |               |
|         |       |      |                  | Конденсатори          |      |               |
|         |       |      |                  | Kemet, AVX            |      |               |
|         |       | 2    |                  | GMC5.7104K50J31TR12   | 4    | С1,С2,С22,С2  |
|         |       | 3    |                  | GMC16.5395K63С31TR24  | 4    | С3,С5,С23,С2  |
|         |       | 4    |                  | MDK15274K100B53P3TUBE | 2    | С4,С6         |
|         |       | 5    |                  | GMC16.5395K63С31TR24  | 3    | С5,С23,С24    |
|         |       | 6    |                  | 1206ZС135КАТ2А        | 2    | С7,С8         |
|         |       | 7    |                  | TRJU226K050RRJV       | 4    | С9,С10,С15,С1 |
|         |       | 8    |                  | СВR02С130J3GAC        | 4    | С11,С12,С28,С |
|         |       | 9    |                  | ТСJB335M035R0200      | 2    | С13,С14       |
|         |       | 10   |                  | TRJU226K0H0116K       | 4    | С17,С18,С21,С |
|         |       | 11   |                  | TRJFFV36J0256K        | 2    | С19,С20       |

КАО 2.899.000

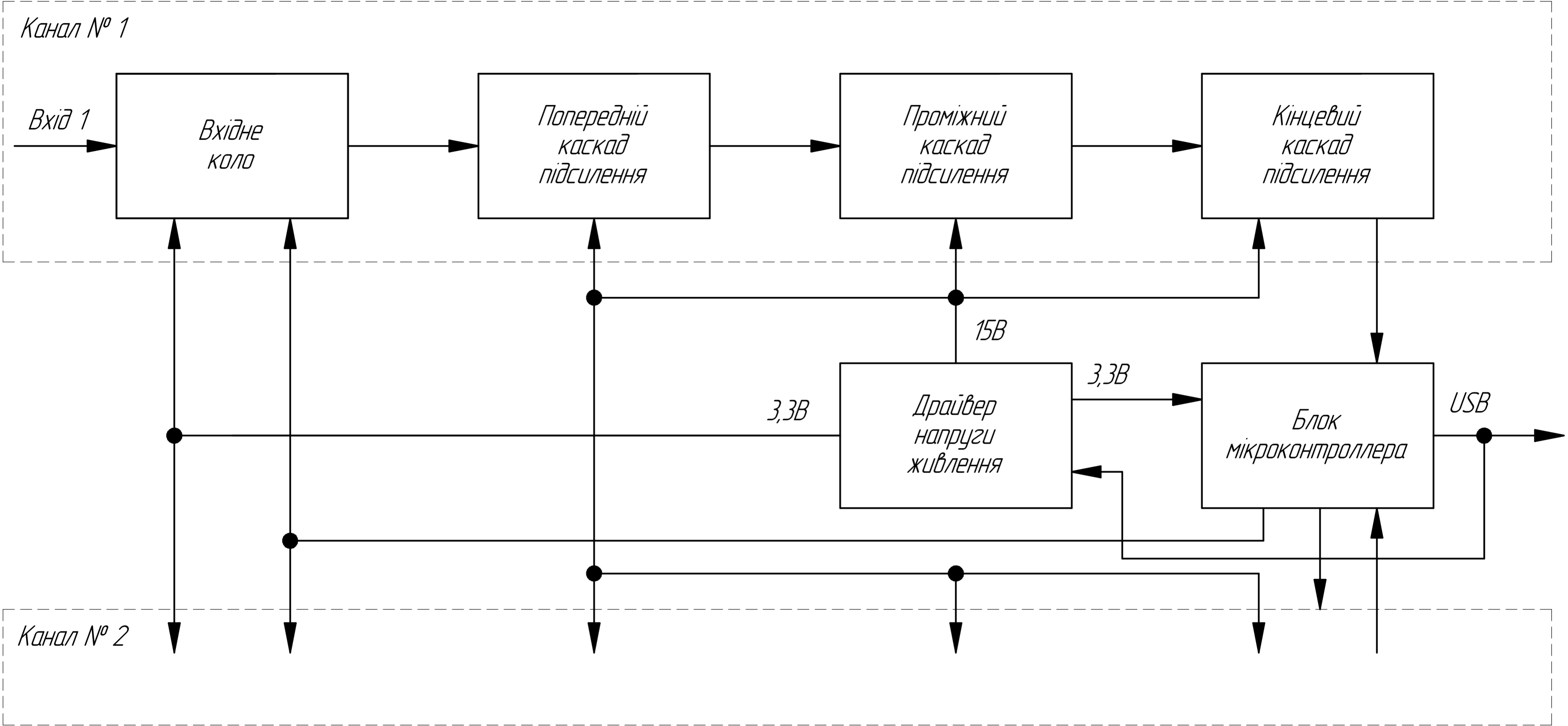
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |
|-----------|------|----------------|--------|------|
| Розроб.   |      | Корницький А.  |        |      |
| Перевір.  |      | Яворський Б.І. |        |      |
| Н. Контр. |      | Морценюк А.С.  |        |      |
| Затверд.  |      | Динець В.Л.    |        |      |
| Рецензент |      |                |        |      |

Вузол друкований

| Літ.                 | Арк. | Аркушів |
|----------------------|------|---------|
|                      | 1    | 3       |
| ТНТУ, ФПТ, гр. РА-41 |      |         |







|               |  |
|---------------|--|
| Перв. примен. |  |
| Стор. №       |  |
| Підп. і дата  |  |
| Інд. № дідл.  |  |
| Взам. інд. №  |  |
| Підп. і дата  |  |
| Інд. № подл.  |  |

|                  |      |                 |       |      |                                    |           |         |
|------------------|------|-----------------|-------|------|------------------------------------|-----------|---------|
| КАО 2.899.000 Е1 |      |                 |       |      |                                    |           |         |
| Изм.             | Лист | № докум.        | Подп. | Дата | Цифровий осцилограф<br>Scope Meter | Лист      | Масштаб |
| Разраб.          |      | Корницький А.О. |       |      |                                    | -         | -       |
| Проб.            |      | Яворський Б.І.  |       |      | Схема структурна                   | Лист      | Листов  |
| Т.контр.         |      |                 |       |      |                                    | 1         |         |
| Н.контр.         |      | Марценюк А.С.   |       |      | ТНТУ, ФПТ, каф. РТ,<br>гр. РА-41   | Формат А2 |         |
| Утв.             |      | Дунець В.Л.     |       |      |                                    | Копировал |         |





|           |   |
|-----------|---|
| КО/ДО     |   |
| CHANNEL_A | 1 |
| CHANNEL_B | 2 |

Перв. примен.

Справ. №

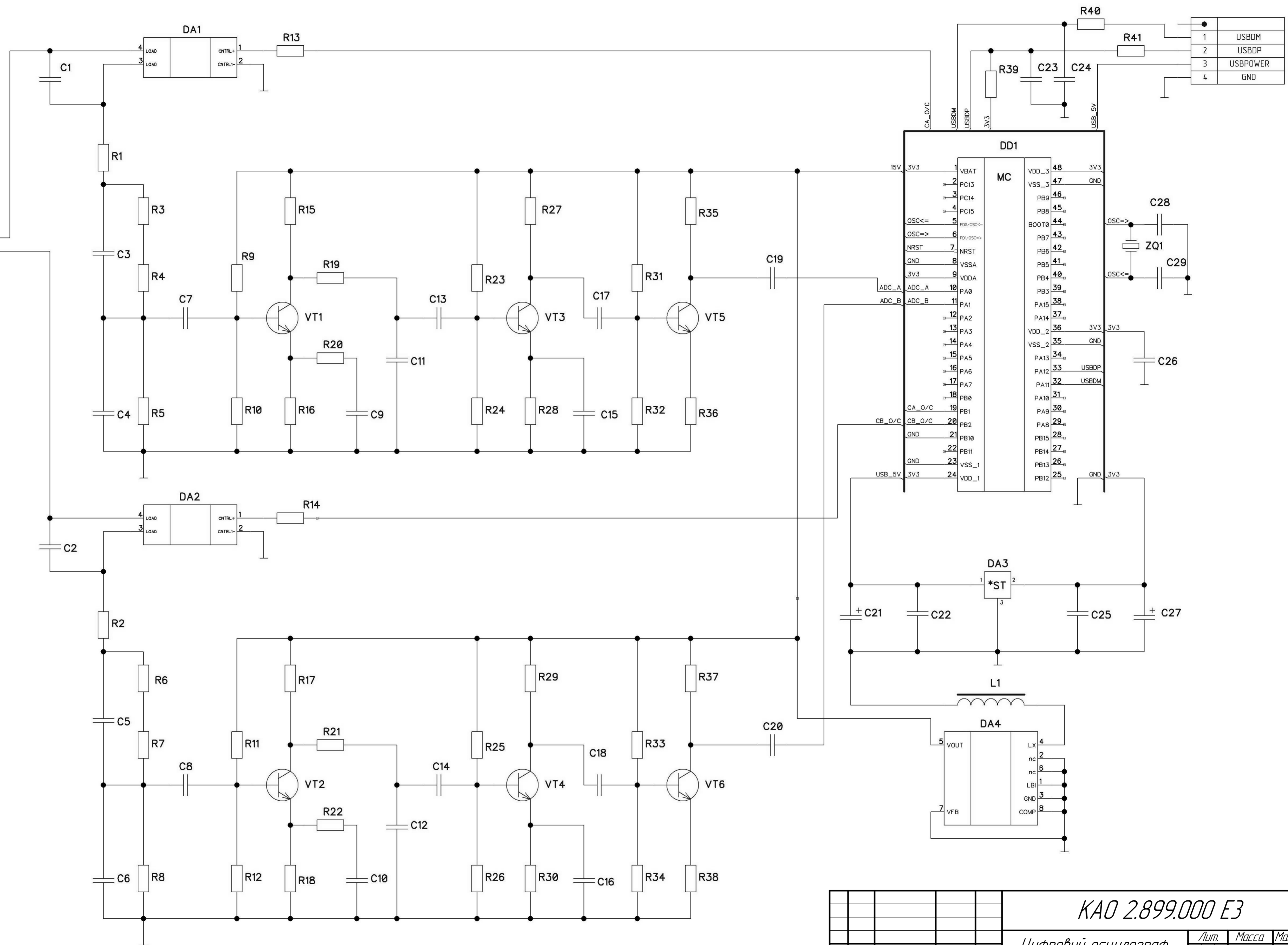
Подп. и дата

Инд. № дидл.

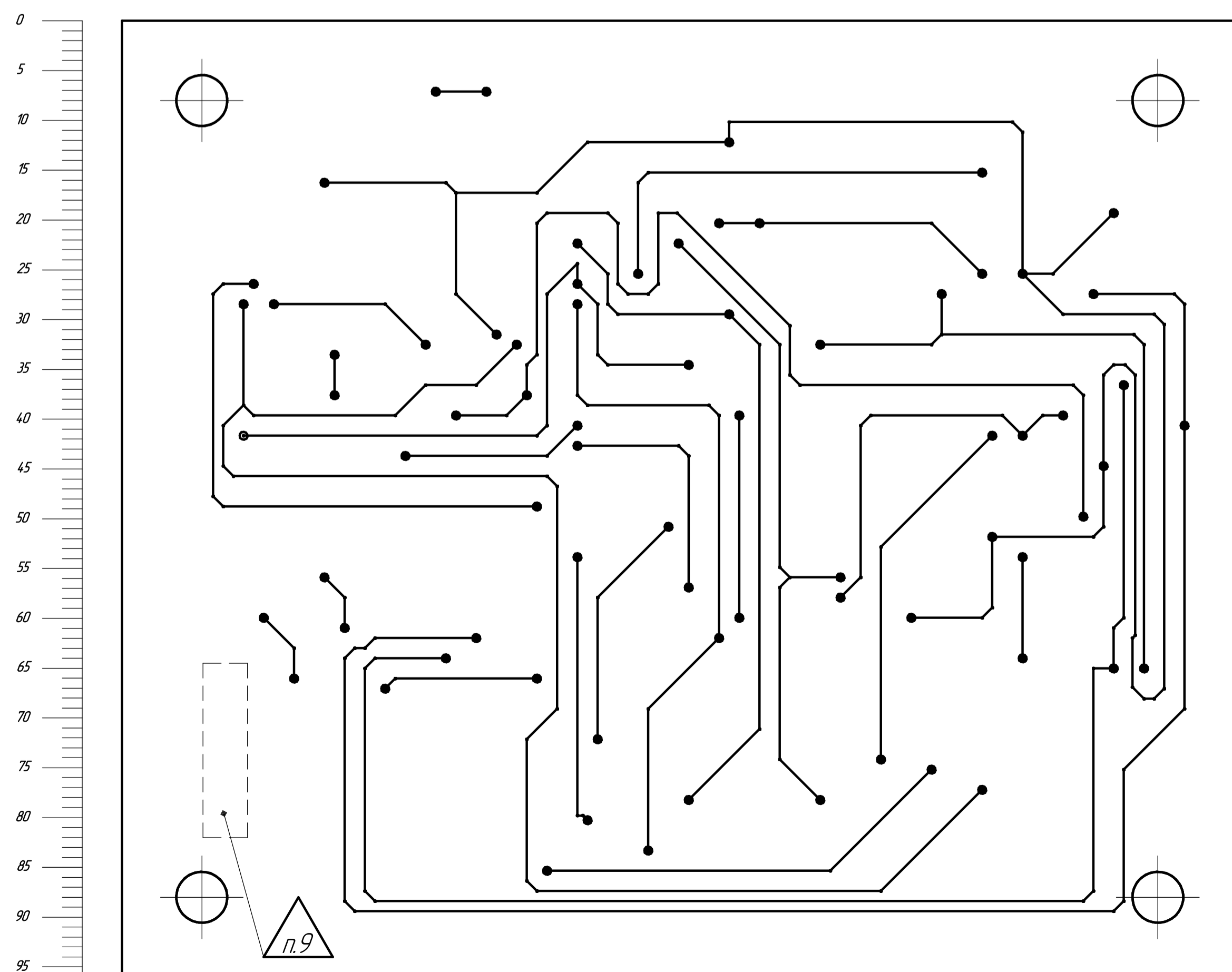
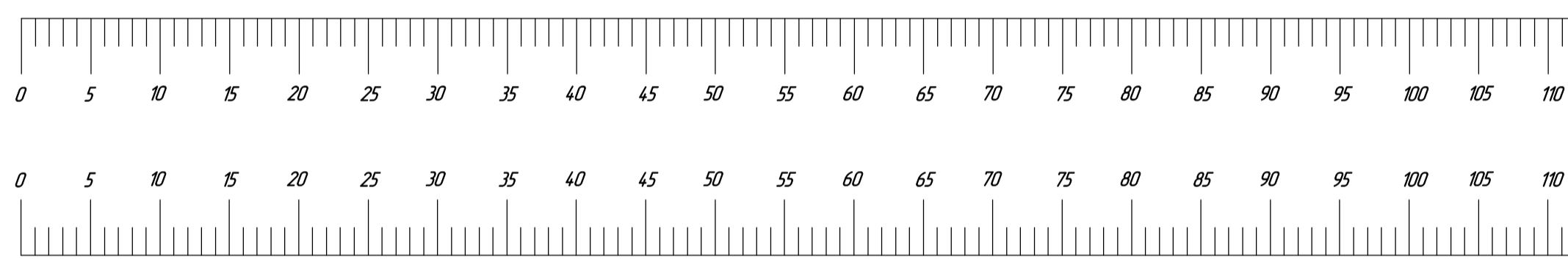
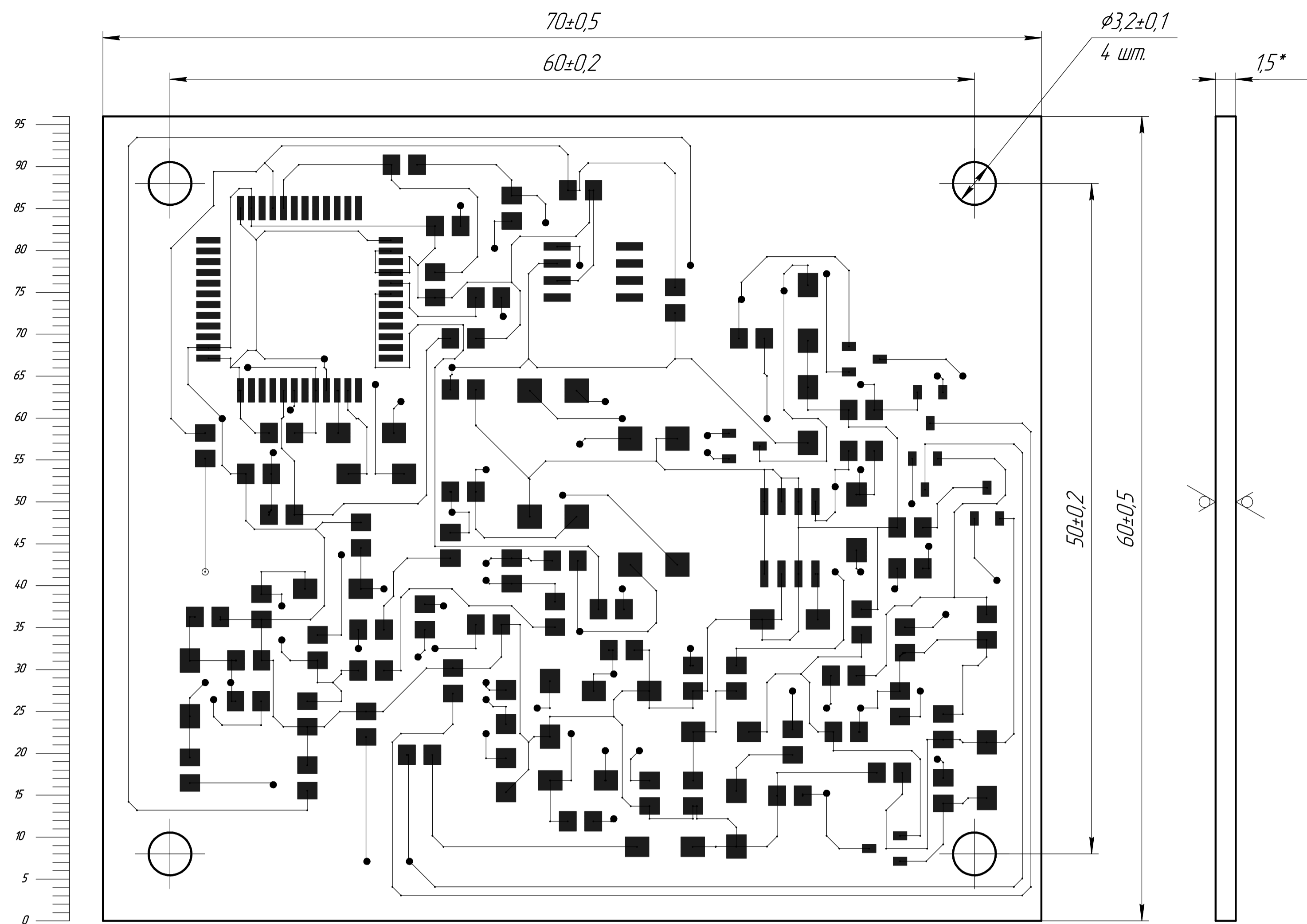
Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



|                                     |      |                |       |           |        |         |
|-------------------------------------|------|----------------|-------|-----------|--------|---------|
| КАО 2.899.000 ЕЗ                    |      |                |       | Лист      | Масса  | Масштаб |
| Цифровой осциллограф<br>Scope Meter |      |                |       |           | -      | -       |
| Схема электрична принципиала        |      |                |       | Лист      | Листов | 1       |
| Изм.                                | Лист | № докум.       | Подп. | Дата      |        |         |
| Разраб.                             |      | Корницкий А.О. |       |           |        |         |
| Проб.                               |      | Яворский Б.И.  |       |           |        |         |
| Т.контр.                            |      |                |       |           |        |         |
| Н.контр.                            |      | Марченко А.С.  |       |           |        |         |
| Утв.                                |      | Дунець В.Л.    |       |           |        |         |
| Копировал                           |      |                |       | Формат А2 |        |         |



Таблиця контактних площадок

| Умовне позначення | Розмір контактної площадки, мм | Кількість, шт. |
|-------------------|--------------------------------|----------------|
| ■                 | 15x0,54                        | 192            |
| ■                 | 2x0,625                        | 26             |
| ■                 | 1x1,56                         | 9              |
| ■                 | 1x1,32                         | 8              |

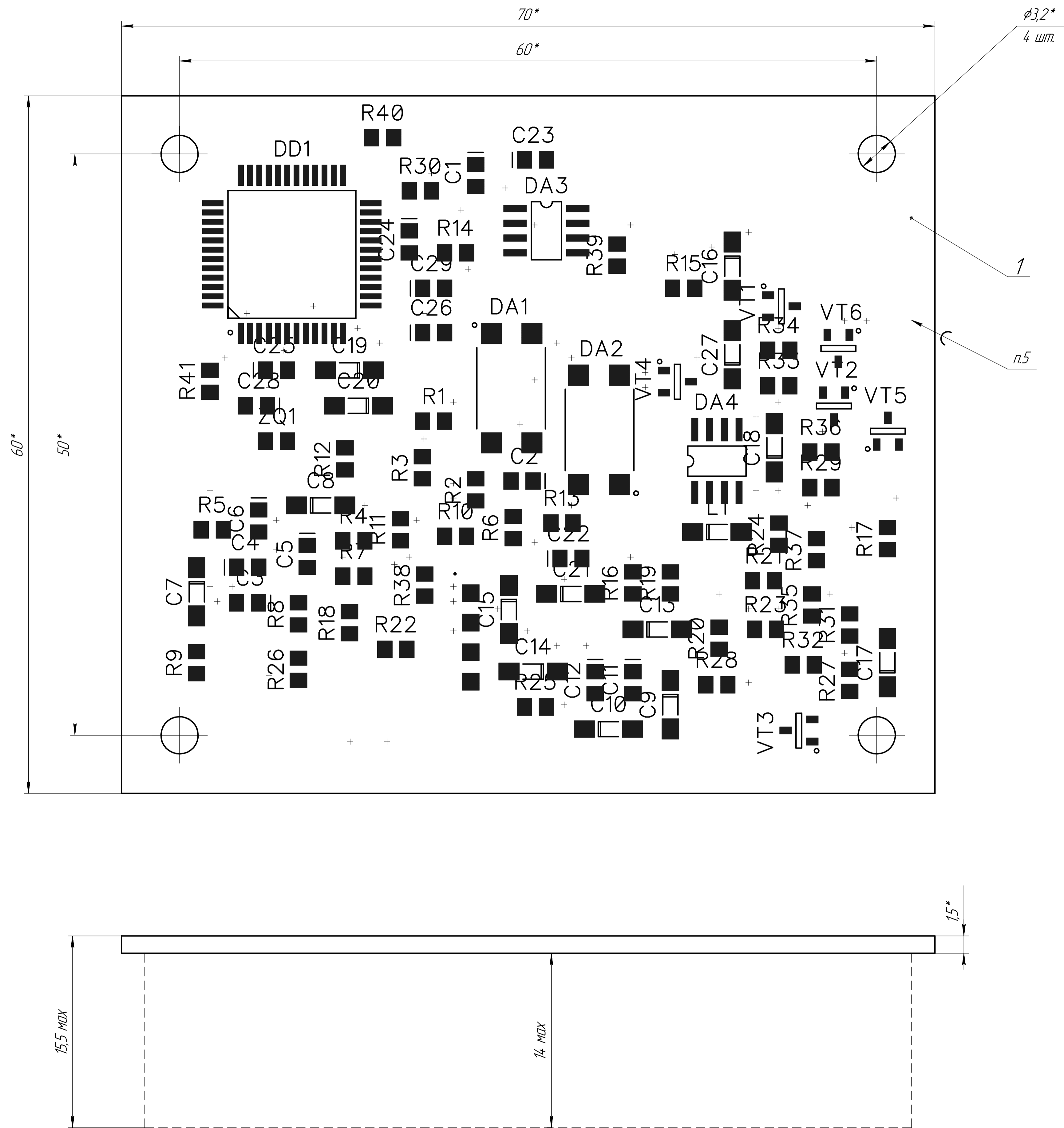
Таблиця отворів

| Умовне позначення | Діаметр отворів    | Розмір контактної площадки | Наявність металізації | Кількість отворів |
|-------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| ●                 | 0,8 <sup>005</sup> | φ1,65                      | ε                     | 73                |

- 1\*. Розміри для довідок
2. Плата повинна відповідати ГОСТ 23751, клас точності 4
3. Група жорсткості 2 за ГОСТ 23752
4. Крок координатної сітки 0,625 мм
5. Плату виготовляти комбінованим позитивним способом.
6. Розміри отворів дивитись в таблиці.
7. Мінімальна відстань між елементами провідного рисунку 0,3 мм.
8. Покриття контактних площадок Гар. ПОС-40 ГОСТ 21930-76
9. Децимальний номер клеїмити друкованими провідниками, шрифт 2,5 ГОСТ 26020-80
10. Інші вимоги по ОСТ 4.ГО.005.051

|          |                |          |       |               |   |          |
|----------|----------------|----------|-------|---------------|---|----------|
|          |                |          |       | КАО 7.103.000 |   |          |
| Изм.     | Лист           | № док.м. | Подп. | Дата          | Цифровий осцилограф<br>Scope Meter<br>Плата друкована |          |
| Разраб.  | Игорьский А.В. |          |       |               |   |          |
| Проб.    | Яворський Б.І. |          |       |               | Лист  | Листов 1 |
| Т.контр. |                |          |       |               | СФ15-35Г-15<br>ГОСТ 103016-78                         |          |
| Исполн.  | Марценюк А.С.  |          |       |               | ТНТУ, ФПТ, каф. РТ,<br>гр. РА-41                      |          |
| Утв.     | Дунець В.І.    |          |       |               | Формат А1   |          |

Лист № 1  
Лист № 2  
Лист № 3  
Лист № 4  
Лист № 5  
Лист № 6  
Лист № 7  
Лист № 8  
Лист № 9  
Лист № 10  
Лист № 11  
Лист № 12  
Лист № 13  
Лист № 14  
Лист № 15  
Лист № 16  
Лист № 17  
Лист № 18  
Лист № 19  
Лист № 20  
Лист № 21  
Лист № 22  
Лист № 23  
Лист № 24  
Лист № 25  
Лист № 26  
Лист № 27  
Лист № 28  
Лист № 29  
Лист № 30  
Лист № 31  
Лист № 32  
Лист № 33  
Лист № 34  
Лист № 35  
Лист № 36  
Лист № 37  
Лист № 38  
Лист № 39  
Лист № 40  
Лист № 41  
Лист № 42  
Лист № 43  
Лист № 44  
Лист № 45  
Лист № 46  
Лист № 47  
Лист № 48  
Лист № 49  
Лист № 50  
Лист № 51  
Лист № 52  
Лист № 53  
Лист № 54  
Лист № 55  
Лист № 56  
Лист № 57  
Лист № 58  
Лист № 59  
Лист № 60  
Лист № 61  
Лист № 62  
Лист № 63  
Лист № 64  
Лист № 65  
Лист № 66  
Лист № 67  
Лист № 68  
Лист № 69  
Лист № 70  
Лист № 71  
Лист № 72  
Лист № 73  
Лист № 74  
Лист № 75  
Лист № 76  
Лист № 77  
Лист № 78  
Лист № 79  
Лист № 80  
Лист № 81  
Лист № 82  
Лист № 83  
Лист № 84  
Лист № 85  
Лист № 86  
Лист № 87  
Лист № 88  
Лист № 89  
Лист № 90  
Лист № 91  
Лист № 92  
Лист № 93  
Лист № 94  
Лист № 95  
Лист № 96  
Лист № 97  
Лист № 98  
Лист № 99  
Лист № 100



- 1 \* Розміри для довідок.
2. Крок координатної сітки 0,625мм.
3. Підготовка ВЕТ згідно ДСТУ 2779.
4. Паяння елементів здійснювати у відповідності ДСТУ 2783. ВЕТ встановити на притіну пасту SMT623602-38.
5. Друкований вузол покрити відповідно з ДСТУ 2783-94 лаком ЕП-730 ГОСТ 20824. Захистити від лаку контактні площадки 1..14 і кнопки SB1..SB3.
6. Маркувати заводський номер фарбою маркувальною ТУМС-01 чорною, У1.ТУ29-02-890-88 шрифт 2,5-Прз ГОСТ 26.020-80.
7. Решта технічних вимог за ОСТ 4ГО.070.015.
8. Позиційні позначення елементів показано умовно.

|        |        |         |      |
|--------|--------|---------|------|
| Лист № | Листів | Варіант | Дата |
| Лист № | Листів | Варіант | Дата |
| Лист № | Листів | Варіант | Дата |
| Лист № | Листів | Варіант | Дата |

|                      |  |  |  |           |         |
|----------------------|--|--|--|-----------|---------|
| КАО 2.899.000 СК     |  |  |  | Лист      | Масштаб |
| Цифровий осцилограф  |  |  |  | Лист      | Масштаб |
| Scope Meter          |  |  |  | Лист      | Масштаб |
| Складальне креслення |  |  |  | Лист      | Листів  |
| ТНЧ, ФПТ, каф. РТ,   |  |  |  | гр. РА-41 |         |
| Формат А1            |  |  |  |           |         |