

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет

(повна назва факультету)

Кафедра прикладної радіоелектроніки

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.396

До захисту допущено:

Зав. кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
радіоелектронної техніки»**

за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

**на тему: «Детектор електромагнітного випромінювання з визначенням
напрямку»**

Виконав :

студент 2 курсу, групи РЕ-41

Капустинський Євген Ігорович.

(Прізвище ім'я по батькові)

Керівник: Новосад А. А. (ст. викладач)

(Посада, науковий ступінь, вчене звання)

Рецензент: Булашенко А.В. (ст. викладач)

(Посада, науковий ступінь, вчене звання)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____ Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студента

Капустинського Євгена Ігоровича

(Прізвище ім'я по батькові)

1. Тема дисертації «Детектор електромагнітного випромінювання з визначенням напрямку»

науковий керівник дисертації Новосад А.А.

затверджені наказом по університету від «11» листопада 2025 р. № 4895-с

2. Термін подання студентом дисертації 15 грудня 2025р.

3. Об'єкт дослідження: процес виявлення електромагнітного поля та визначення напрямку на джерело радіоелектронного випромінювання в радіочастотному діапазоні.

4. Вихідні дані: характеристики електромагнітного поля типових джерел радіовипромінювання; вимоги до портативних засобів радіоконтролю; умови експлуатації у польових умовах; нормативно-технічна документація; довідкові матеріали з радіотехніки, схемотехніки та конструювання радіоелектронних пристроїв; сучасна елементна база.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- Провести аналіз радіоелектронного середовища та основних джерел електромагнітного випромінювання.

- Дослідити існуючі методи та засоби виявлення радіосигналів і визначення напрямку на джерело випромінювання.
- Розробити структурну схему індикатора електромагнітного поля з визначенням напрямку.
- Розробити принципову електричну схему пристрою та обґрунтувати вибір елементної бази.
- Виконати розрахунок основних електричних, теплових та надійнісних параметрів пристрою.
- Спроекувати друковану плату та конструкцію індикатора.
- Оцінити можливості практичного застосування розробленого пристрою.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

- Структурна схема індикатора електромагнітного поля.
- Принципова електрична схема пристрою.
- Функціональні схеми основних вузлів.
- Топологія друкованої плати.
- Загальний вигляд та компоновка пристрою.

7. Дата видачі завдання 05 вересня 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання теми магістерської дисертації	05.09.2025	
2	Розробка плану магістерської дисертації	вересень	
3	Початок збору інформації для дослідження	вересень	
4	Розробка структурної схеми пристрою	жовтень	
5	Розробка принципової електричної схеми	жовтень	
6	Розрахунок параметрів та вибір елементної бази	листопад	

7	Проектування друкованої плати та конструкції	листопад	
8	Оформлення магістерської дисертації	12.12.2025р.	

Студент

Науковий керівник

РЕФЕРАТ

Дисертація складається зі вступу, 9 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Загальний обсяг роботи - 86 сторінок, містить 18 рисунків, 9 таблиць, 8 додатків.

Актуальність теми зумовлена зростанням ролі радіоелектронних засобів у сучасних умовах, зокрема у сфері безпеки, оборони та радіоелектронної боротьби. Радіозв'язок противника є одним з основних демаскувальних факторів, що дозволяє виявляти його активність та місцезнаходження. Існуючі стаціонарні та мобільні комплекси радіоконтролю є складними, дорогими та малопридатними для оперативного використання у польових умовах. Тому актуальним є створення портативних індикаторів електромагнітного поля, здатних швидко фіксувати факт радіовипромінювання та визначати орієнтовний напрямок на джерело сигналу без аналізу змісту передавання.

Робота виконана відповідно до науково-дослідної тематики кафедри прикладної радіоелектроніки у межах досліджень з розробки та вдосконалення радіотехнічних засобів контролю електромагнітного середовища. Результати дисертації узгоджуються з напрямками наукових досліджень у галузі радіотехніки та радіоелектронних систем.

Метою дисертації є розробка портативного індикатора електромагнітного поля з можливістю визначення напрямку на джерело радіовипромінювання, придатного для використання в умовах підвищеного радіочастотного фону.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі задачі: аналіз радіоелектронного середовища та джерел випромінювання; дослідження методів виявлення активних радіопередавачів; розробка структурної та принципової схем пристрою; вибір і

обґрунтування елементної бази; розрахунок основних електричних, теплових і надійнісних параметрів; проектування друкованої плати та конструкції виробу.

Об'єктом дослідження є процес виявлення та первинної локалізації джерел радіоелектронного випромінювання у діапазонах VHF та UHF.

Предметом дослідження є методи та засоби детекції електромагнітного поля і визначення напрямку на джерело сигналу за фазовими характеристиками прийнятого випромінювання.

У роботі використано методи теорії радіотехнічних кіл, аналізу електромагнітних полів, схемотехнічного та структурного проектування, розрахункові методи електроніки, методи конструювання друкованих плат, а також інженерні методи оцінки надійності та теплового режиму.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у застосуванні фазочутливого методу визначення напрямку на джерело радіовипромінювання в портативному індикаторі поля, що забезпечує підвищення інформативності пристрою без ускладнення його конструкції. Запропонована структура дозволяє одночасно здійснювати детекцію, частотну індикацію та орієнтовне визначення напрямку сигналу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленого пристрою як прототипу портативного засобу радіоконтролю для підрозділів безпеки, розвідки та охорони об'єктів. Матеріали роботи можуть бути використані у навчальному процесі при підготовці фахівців з радіотехніки.

Ключові слова:

ІНДИКАТОР ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ, ДЕТЕКТОР ПОЛЯ, РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ, ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМУ,

ФАЗОЧУТЛИВИЙ ВИПРЯМЛЯЧ,
РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ

7
РАДІОКОНТРОЛЬ,

ABSTRACT

The thesis consists of an introduction, 9 chapters, conclusions, a list of references and appendices.

The total volume of the work is 86 pages, containing 18 figures, 9 tables, and 8 appendices.

The relevance of the research is determined by the increasing role of radio-electronic systems in modern security and defense environments. Enemy radio communication is one of the key demasking factors that allows detecting activity and estimating the location of transmitters. Existing stationary and mobile radio monitoring systems are complex, expensive and poorly suited for rapid field deployment. Therefore, the development of a portable electromagnetic field indicator capable of detecting radio emissions and determining the direction to the signal source is an actual technical task.

The research was carried out in accordance with the scientific directions of the Department of Applied Radio Electronics and is related to studies in the field of radio monitoring and radio-electronic systems.

The aim of the thesis is to develop a portable electromagnetic field indicator with directional detection capability, suitable for operation under high radio-frequency interference conditions.

To achieve this aim, the following tasks were solved: analysis of radio-electronic emission sources; study of detection methods for active transmitters; development of the structural and schematic design of the device; selection and justification of the component base; calculation of electrical, thermal and reliability parameters; and design of the printed circuit board and device construction.

The object of the research is the process of detecting and primary localization of radio emission sources in the VHF and UHF bands.

The subject of the research is methods and technical means for

electromagnetic field detection and direction finding based on phase-sensitive signal processing.

The research methods include radio circuit theory, electromagnetic field analysis, schematic and structural design methods, electronic calculation techniques, PCB design methods, and engineering methods for reliability and thermal analysis.

Scientific novelty lies in the application of a phase-sensitive method for direction finding in a portable electromagnetic field indicator, which increases informational capability without significant complication of the device structure.

The practical value of the obtained results consists in the possibility of using the developed device as a prototype of a portable radio monitoring tool for security and defense units. The results may also be applied in educational processes in radio engineering training.

Keywords:

ELECTROMAGNETIC FIELD INDICATOR, RADIO EMISSION, FIELD DETECTOR, DIRECTION FINDING, PHASE-SENSITIVE DETECTOR, RADIO MONITORING, RADIO ENGINEERING SYSTEMS

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
1 ВСТУП	11
2 ОГЛЯД РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАНЬ...	13
2.1 Радіовипромінювання та їх класифікація.....	14
2.2 Електромагнітні завади та паразитні випромінювання.....	16
2.3 Акустичні та електромеханічні перетворення в радіосистемах.....	18
3 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ДЖЕРЕЛ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	21
3.1 Загальні принципи виявлення джерел радіо-випромінювання.....	21
3.2 Детектори поля як засоби первинного радіоконтролю.....	24
3.3. Існуючі аналоги.....	27
4 РОЗРОБКА СХЕМИ СТРУКТУРНОЇ.....	31
5 РОЗРАХУНОК СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ.....	33
5.1 Розрахунок підсилювача високої частоти.....	35
5.2 Розрахунок <i>операційного підсилювача</i>	40
5.3 Розрахунок генератора.....	42
5.4 Розрахунок потужності споживання пристроєм.....	43
5.5 Аналіз обраної елементної бази.....	44
6 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА.....	47
7 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	57
7.1 Розрахунок віброміцності.....	57
7.2 Розрахунок надійності.....	58
7.3 Розрахунок теплового режиму.....	62
7.4 Електромагнітна сумісність.....	63
7.5 Розробка конструкції.....	73
8 ВИСНОВКИ.....	79
9 СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	81
ДОДАТОК.....	83

1 ВСТУП

Одним із ризиків в сучасних умовах є використання противником мобільних або стаціонарних засобів радіозв'язку (рацій, ретрансляторів), які забезпечують координацію дій, передачу розвідувальної інформації або управління. Неналежний контроль за радіочастотним середовищем може призводити до витоку інформації, втрати оперативності та збільшення ризиків під час виконання завдань. Тому для підрозділів розвідки, зв'язку, РЕБ і охорони об'єктів важливими є засоби, що дозволяють швидко виявляти факти роботи ворожих рацій і ретрансляторів, оцінювати їхню активність та, за потреби, локалізувати напрямок випромінювання.

Із цього погляду доцільним є застосування портативних детекторів електромагнітного випромінювання, які призначені для енерго- та спектрального моніторингу радіочастотного середовища. Такі пристрої виконують роль швидкої «сигналізації» наявності активності в заданому діапазоні, дозволяючи оператору оцінити інтенсивність сигналу, часові характеристики подій і, за наявності відповідного модулю, визначити орієнтовний напрямок на джерело. Важливо, що детектори цього класу не призначені для перехоплення чи розшифрування вмісту передач - їхня функція полягає у виявленні і документуванні фактів радіоактивності.

Існуючі індикатори поля та детектори радіосигналів відрізняються за робочим діапазоном, чутливістю, видами індикації й зручністю експлуатації. Багато моделей, що спочатку розроблялися для виявлення радіозакладок, мають обмежений функціонал або незручні в польових умовах (сканування приміщень, необхідність точної орієнтації антени в безпосередній близькості до обстежуваних об'єктів). Для сучасного застосування, зокрема у зоні бойових дій або при роботі в полі, затребувані прилади з розширеним частотним охопленням (від 50МГц до 1500МГц), здатні працювати автономно, швидко інформувати оператора про подію та вести журнал детекцій з часовими й просторовими мітками.

Розробка портативного детектора роботи ворожих рацій та ретрансляторів дозволить забезпечити оперативне виявлення і первинну локалізацію джерел радіоактивності, покращити ситуаційну обізнаність підрозділів та підвищити ефективність заходів щодо інформаційної та оперативної безпеки. У рамках дипломної роботи передбачається виконати повний цикл: дослідження методів детекції енергетичних проявів сигналів, формування апаратно-програмної архітектури детектора, реалізація алгоритмів виявлення та журналювання подій і проведення тестових випробувань у модельованих умовах (без надання інструкцій щодо перехоплення чи розшифрування переданого трафіку).

2 ОГЛЯД РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Радіоелектронне середовище в зоні бойових дій або під час роботи підрозділів безпеки характеризується високою насиченістю різноманітними джерелами електромагнітних випромінювань. Ці випромінювання виникають як у результаті роботи засобів зв'язку противника, так і внаслідок функціонування цивільних, промислових або бортових електронних систем. Виявлення та аналіз таких радіовипромінювань є одним із ключових завдань радіоелектронної розвідки, засобів радіоконтролю та комплексів інформаційної безпеки.

У реальних умовах електромагнітне поле формується великою кількістю пристроїв, серед яких можна виділити три основні категорії:

1. **Керовані випромінювачі** - радіостанції, ретранслятори, модулі передачі даних, які функціонують у штатних режимах. Такі пристрої мають характерний спектральний «підпис», чіткий діапазон частот і визначені часові параметри роботи.
2. **Паразитні випромінювачі** - побічні радіовипромінювання електронного обладнання, які не несуть корисного інформаційного сигналу, але створюють радіоперешкоди. До них належать імпульсні блоки живлення, комп'ютерне обладнання, промислові установки тощо.
3. **Імітаційні або хибні джерела** - пристрої або радіомодулі, що навмисно створюють сигнали для маскування або введення противника в оману (імітація роботи рацій, періодичні імпульсні сигнали, шумові генератори).

Для успішного виявлення таких джерел детектор повинен реєструвати не зміст повідомлень, а сам факт активності передавача, який проявляється у вигляді збільшення енергетичного рівня поля в певному піддіапазоні частот. У цьому сенсі поняття «канал випромінювання» розглядається не як канал витоку інформації, а як радіоканал, за яким можна ідентифікувати роботу радіотехнічного засобу.

Портативний детектор електромагнітного випромінювання з визначенням напрямку повинен фіксувати такі параметри каналу:

- частотний діапазон активності;
- інтенсивність сигналу;
- орієнтовний напрямок на джерело;
- тривалість і повторюваність передач (патерни роботи);
- характерні спектральні ознаки (наприклад, наявність гармонік).

Такі можливості дозволяють оцінити загальну радіоелектронну обстановку в районі роботи підрозділу, виявити активні засоби зв'язку противника, ідентифікувати можливі ретранслятори або повторювачі сигналів та своєчасно відреагувати на появу небезпечної радіоактивності.

Таким чином, огляд основних джерел радіовипромінювання та їх характеристик підтверджує актуальність створення портативного детектора роботи ворожих рацій та ретрансляторів. Подібний пристрій дозволяє оперативно фіксувати появу передавачів у реальному часі, не потребує складних стаціонарних антенних комплексів і є зручним інструментом для польових умов.

2.1 Радіовипромінювання та їх класифікація

Радіовипромінювання є основним носієм інформації в системах радіозв'язку та радіообміну, які активно застосовуються як цивільними структурами, так і військовими підрозділами. У зоні бойових дій радіосигнали від рацій, ретрансляторів та інших передавачів стають ключовими маркерами присутності та активності противника. Завдання портативного детектора полягає у фіксації факту передавання - незалежно від виду модуляції, типу обладнання чи кодування.

Для правильного аналізу випромінювань необхідно враховувати міжнародно прийняту класифікацію радіочастот за ІТУ (Міжнародним союзом електрозв'язку):

30-300 МГц – Дуже високі частоти (VHF)

300-3000 МГц – Надвисокі частоти (UHF)

Радіовипромінювання в зоні бойових дій можна поділити на три основні групи:

1. Основні (керовані) випромінювачі

Це сигнали від штатних засобів радіозв'язку:

- військові тактичні рації в діапазонах VHF (30–88 МГц) та UHF (300–512 МГц);
- цивільні або напіввійськові рації PMR/LPD у діапазоні 433/446 МГц;
- ретранслятори, що працюють у UHF;
- системи передачі даних БПЛА у діапазоні 900 МГц, 1.2–1.5 ГГц.

Ці випромінювання мають *характерний спектральний підпис* та, як правило, імпульсну або цифрову структуру.

2. Паразитні та побічні випромінювання

Це небажані сигнали, що виникають унаслідок роботи електронної техніки:

- генерація гармонік від передавачів;
- побічні випромінювання імпульсних блоків живлення;
- паразитні коливання від несправних або перевантажених приладів.

Такі випромінювання можуть створювати завади, але рідко є цінними для розвідки.

3. Накладені та завадові сигнали

Умовно це сигнали, які не несуть корисної інформації для противника, але ускладнюють роботу детекторів:

- фонові сигнали мобільного зв'язку (900/1800/2100/2600 МГц);
- Wi-Fi та Bluetooth;
- промислові радіошуми;
- відбиті або інтерференційні хвилі.

Ключові параметри, що визначають можливість виявлення:

- частотний діапазон роботи передавача - від 50 МГц до 1500 МГц у нашому випадку;

- рівень потужності передавання - польові рації мають 1–5 Вт, ретранслятори - більше;
- режим передачі - суцільний, імпульсний, пакетний;
- тривалість сигналу - довгі сеанси зв'язку виявляються легше;
- спектральні ознаки - гармоніки, розширення спектру, повторюваність імпульсів.

Розуміння характеристик радіовипромінювань у діапазонах VHF та UHF є критично важливим при створенні детектора електромагнітного випромінювання. Оскільки більшість військових радіостанцій працюють саме в цих смугах, їх виявлення за допомогою портативного пристрою є цілком реалістичним і технічно виправданим.

Саме ці діапазони є ключовими для військових засобів зв'язку, рацій тактичного рівня, мобільних ретрансляторів та БПЛА, що використовують передавання телеметрії.

2.2 Електромагнітні завади та паразитні випромінювання

У реальних умовах застосування портативного детектора електромагнітного випромінювання особливу роль відіграють електромагнітні завади та небажані (паразитні) сигнали. Вони формують фон, на тлі якого пристрій повинен виділити роботу радіопередавача противника, часто малопотужного та короткочасного.

Джерела електромагнітних завад

Електромагнітні завади в зоні бойових дій можна умовно поділити на кілька груп:

1. Побічні випромінювання електронних пристроїв

Будь-який електронний пристрій, що містить високочастотні компоненти або імпульсні блоки живлення, може генерувати небажані радіовипромінювання:

- інвертори та перетворювачі живлення;
- акумуляторні зарядні пристрої;

- комп'ютерна та радіоапаратура;
- портативні модулі БПЛА.

Такі сигнали зазвичай нестабільні, широкосмугові й не мають структури, характерної для радіозв'язку.

2. Промислові та техногенні завади

До них належать:

- високовольтні лінії електропередач;
- електродвигуни;
- зварювальне та військово-енергетичне обладнання.

Ці завади створюють низько- та середньочастотні імпульсні коливання, які можуть накладатися на корисний сигнал.

3. Радіочастотний фон цивільних систем зв'язку

У багатьох районах фіксуються:

- мобільний зв'язок (GSM/UMTS/LTE);
- Wi-Fi (2.4/5 ГГц);
- Bluetooth;
- радіорелейні лінії.

Вони працюють у високих частотах і створюють насичений спектр, часто перевищуючи рівень сигналу військових рацій.

4. Паразитні (гармонічні) випромінювання

Будь-який передавач крім основної частоти випромінює гармоніки:

- $2\times$, $3\times$, $4\times$ від основної частоти,
- інтермодуляційні продукти,
- флуктуаційні «хвости».

Ці компоненти можуть проникати в приймальний тракт детектора та створювати помилкові індикації.

Особливості паразитних випромінювань у контексті військового зв'язку

Паразитні сигнали можуть бути корисними для виявлення передавачів противника, оскільки:

- навіть короткі передачі, масковані або шифровані, залишають електромагнітний слід, який можна фіксувати;
- гармоніки розповсюджуються слабше, але їх легше ізолювати серед завад;
- цифрові радіостанції формують спектр із характерними імпульсними структурами;
- ретранслятори мають стабільні проміжні частоти та інтермодуляційні продукти, що спрощує їхнє виявлення.

Значення завад для роботи детектора

Пристрій повинен:

- виділяти стабільні вузькосмугові сигнали на фоні широкосмугових завад;
- фіксувати короткі імпульсні пакети цифрових радіостанцій;
- відрізнити паразитні імпульси обладнання від радіопередач;
- працювати в умовах сильного UHF/VHF фону від цивільних систем.

Саме тому в конструкції застосовано:

- широкосмугові підсилювачі з високою чутливістю,
- фазочутливий випрямляч для визначення напрямку,
- фільтрацію та частотомір для відокремлення корисного сигналу.

Електромагнітні завади формують складне радіоелектронне середовище, у якому детектор повинен працювати. Розуміння їх природи дозволяє правильно налаштувати алгоритми пошуку та інтерпретацію індикацій, що є критичним для успішного виявлення роботи ворожих рацій та ретрансляторів.

2.3 Акустичні та електромеханічні перетворення в радіосистемах

Хоча детектор, що розробляється, працює в радіочастотному діапазоні та не аналізує акустичний сигнал напряму, низка електромеханічних та акустичних процесів у радіоелектронних пристроях противника може

впливати на формування радіовипромінювання. Це створює додаткові маркерні ознаки, які можуть бути використані для їхнього виявлення.

1. Акустичні джерела, що опосередковано впливають на RF-сигнал

Будь-яка радіостанція або ретранслятор має мікрофонний тракт та формує передавальні пакети, прив'язані до голосової активності оператора. Ці процеси можуть проявлятися у радіодіапазоні:

- **режим VOX (Voice Operated Exchange)** - передавач активується при появі голосу; детектор фіксує короткі радіоімпульси, що відповідають моментам початку передачі;
- **акустичні шуми навколишнього середовища** можуть викликати мікромодуляцію несучої частоти, особливо в аналогових раціях;
- **механічні вібрації корпусу**, двигуни техніки або постріли можуть викликати низькочастотну амплітудну модуляцію RF-сигналу.

Хоча детектор не декодує акустику, такі видозміни спектру допомагають ідентифікувати роботу передавача.

2. Електромеханічні процеси в обладнанні зв'язку

Сучасні радіостанції містять багато компонентів, що створюють побічні електромеханічні процеси:

• Генератори тактових частот

У цифрових раціях застосовуються кварцові резонатори або PLL-синтезатори.

Вони формують стабільну частоту, але одночасно:

- створюють паразитні гармоніки,
- генерують фазовий шум,
- продукують побічні спектральні компоненти.

Ці особливості можуть бути використані для відрізнення типових військових передавачів від хаотичних завад.

• Імпульсні перетворювачі живлення

Більшість сучасних рацій має DC/DC-конвертери, які генерують:

- низькочастотні імпульсні періодичні завади (20–200 кГц),

- високочастотні хвости, що можуть потрапляти в радіодіапазон.

Підсилювач детектора може фіксувати такі мікросигнали як індикатор роботи обладнання.

- **Активні та пасивні механічні елементи**

До побічних джерел належать:

- реле перемикання режимів,
- мікрофонні капсулі,
- електродинамічні випромінювачі рацій,
- корпусні резонанси.

Навіть вони можуть спричиняти мікромодуляцію RF-сигналу.

3. Акустична активність як маркер активності передавача

Під час розмови військові рації:

- передають імпульсні кадри мови (цифрові стандарти);
- мають характерні переривчасті посилки;
- можуть створювати короткі burst-передачі (DMR, TETRA, MOTOTRBO);
- іноді переходять у режим очікування, де фіксується фоновий несучий сигнал.

Детектор електромагнітного випромінювання здатен реагувати саме на момент появи активної передачі, навіть якщо її тривалість - частки секунди.

Акустичні та електромеханічні процеси не є джерелами радіосигналу самі по собі, проте:

- вони впливають на спектральну структуру передавання,
- створюють характерні імпульси, які простіше фіксувати детектором,
- дозволяють відрізнити роботу реального передавача від шумів та паразитних випромінювачів.

Акустичні й електромеханічні процеси у військових радіостанціях впливають на характер їхнього електромагнітного випромінювання. Розуміння цих явищ дозволяє детектору точніше фіксувати факт роботи ворожого передавача, особливо при коротких та маскованих передачах

3 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ДЖЕРЕЛ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.

3.1 Загальні принципи виявлення джерел радіовипромінювання

Одним із елементів системи забезпечення радіоелектронної безпеки є можливість виявлення активних джерел радіовипромінювання - зокрема ворожих рацій, ретрансляторів та інших передавачів. Виявлення таких джерел реалізується за допомогою комплексу методів, що поєднують традиційний візуальний/інструментальний огляд і електронні методи радіомоніторингу(рис.3.1).



Рисунок 3.1. Методи виявлення радіоелектронних засобів

Перша група – методи, які засновані на пошуку джерел як фізичних

об'єктів з цілком визначеними властивостями та масогабаритними характеристиками.

До неї належать:

- візуальний огляд можливих місць розташування (дах, антени, транспорт, польові укриття тощо);
- контроль важкодоступних місць за допомогою засобів відеоспостереження;
- застосування металодетекторів і подібних інструментів для виявлення корпусних або монтажних металевих елементів.

Друга група – заходи, які використовують властивості джерел як електронних систем. Вона складається:

- застосування індикаторів поля (широкосмугові детектори), що реагують на факт наявності випромінювання;
- застосування спеціальних радіоприймальних пристроїв, призначених для пошуку сигналів по заданим характеристикам та аналізу електромагнітної обстановки;
- застосування комплексів радіоконтролю, що дозволяють одночасно аналізувати декілька піддіпазонів і визначати напрямки;
- використання нелінійних радіолокаторів для пошуку електронних компонентів навіть у неактивному стані.

Виявлення радіоелектронних засобів як фізичних об'єктів є найбільш загальним випадком, що підпадає під поняття огляду або догляду.

Відповідно до класифікації, яка наведена на рисунку 3.1, основними способами виявлення активних передавачів є:

- використання індикаторів електромагнітного поля;
- застосування спеціальних приймачів;
- застосування комплексів радіоконтролю.

Всі вони засновані на наявності у передавачів характерного радіовипромінювання, яке саме по собі є демаскуючою ознакою. Крім того, радіосигнали мають низку особливостей, за якими можна достовірно відрізнити активну роботу передавача від фонових або

паразитних сигналів.

Таким чином, з погляду виявлення, активне джерело радіосигналу є зручним об'єктом для детектування. Розглянемо його характерні ознаки.

Основні ознаки випромінювання активних радіопередавачів

1. відносно високий рівень випромінювання. Цей рівень обумовлений необхідністю забезпечити передачу сигналу на певну відстань - між абонентами або до ретранслятора. Чим ближче до джерела, тим інтенсивніший сигнал, що легко фіксується детектором.

2. наявність гармонік у спектрі випромінювання. Це наслідок компактності та технічних обмежень передавачів, які не завжди забезпечують ідеальну фільтрацію вихідного сигналу. Ослаблення гармонік зазвичай становить 40–50 дБ, тому їхнє виявлення можливе навіть на відстані до 10 метрів, якщо частотний діапазон детектора охоплює відповідні гармоніки.

3. поява нового джерела у звичайно “вільному” частотному діапазоні. При аналізі ефіру оператор повинен орієнтуватися у типових робочих частотах цивільних і військових систем та визначати появу нетипової активності у спектрі - це може свідчити про роботу рації або ретранслятора противника.

4. використання спрямованих антен. Багато передавачів мають виражену спрямованість, що створює нерівномірність рівня поля в межах контрольованої території. При переміщенні або повороті детектора рівень сигналу змінюється, дозволяючи орієнтовно визначити напрямок на джерело. Найчіткіше це проявляється для основного тону та його гармонік.

5. особливості поляризації сигналу. При зміні орієнтації приймальної антени спостерігається зміна рівня сигналу. Для однакових джерел діапазону поведінка схожа, проте сигнал конкретного передавача може відхилитися, що допомагає виділити його серед фону. Цей ефект

особливо помітний при використанні аналізаторів спектру чи портативних детекторів із напрямною антеною.

6. зміна спектра при наявності перешкод чи шуму. У деяких випадках ширина спектра випромінювання зростає або «розмивається» через зміни навколишнього середовища (наприклад, при появі сторонніх електромагнітних полів). Для детектора це може бути додатковою характеристикою активної передачі.

7. часові характеристики сигналу. Передавачі працюють у різних режимах: безперервному, імпульсному або пакетному. У раціях часто спостерігається короткочасна передача (натискання РТТ) або періодична активність. Детектор повинен реєструвати ці короткі сплески, фіксуючи час їх появи для подальшого аналізу.

8. тривалість та ритм роботи передавача. Деякі засоби зв'язку функціонують циклічно або у визначені інтервали часу (наприклад, під час радіообміну між групами). Виявлення таких повторюваних сеансів дозволяє зробити висновки про тип системи, її періодичність та можливу мету застосування.

Вищенаведений список ознак не є вичерпним і може бути істотно розширений. На практиці можуть зустрічатися додаткові параметри - наприклад, особливості амплітудної модуляції, імпульсні форми сигналу, частотні перестановки тощо. Всі вони можуть бути використані для вдосконалення алгоритмів детектора і підвищення достовірності розпізнавання активних джерел випромінювання.

3.2 Детектори поля як засоби первинного радіоконтролю

Найпростішими засобами виявлення факту використання активних передавачів є індикатори або детектори поля. По суті, це пасивні приймачі з обмеженою селективністю і різним рівнем чутливості; їхня основна задача - швидко зафіксувати наявність випромінювання в робочому діапазоні. У контексті портативного детектора роботи ворожих рацій/ретрансляторів

детектор поля виконує роль першого (скринінгового) інструмента - оперативного індикатора підвищеної активності ефіру.

Основні властивості і призначення.

- Детектори поля реагують на факт наявності електромагнітного випромінювання незалежно від типу модуляції, тому вони корисні як універсальний інструмент для виявлення радіопередавачів.
- Принцип пошуку в більшості випадків полягає у виявленні абсолютного або локального максимуму рівня поля в приміщенні або на місцевості.
- Перевага таких приладів - простота й незалежність від формату переданої інформації; недолік - обмежена інформаційна ємність (без спектрального контексту).

Дальність і селекція.

Типові переносні індикатори із низькою чутливістю виявляють компактні та малопотужні передавачі лише на відстанях порядку десятків сантиметрів (приблизно 10–40 см), що дозволяє відокремлювати локальні нелегальні випромінювання від потужних фонів (ТВ-, стільникові вишки тощо). Для виявлення робочих рацій і польових ретрансляторів у відкритому середовищі потрібні прилади з вищою чутливістю і спектральним охопленням; відповідно, у проєкті детектора слід передбачити змінні режими чутливості.

Функціональні можливості професійних приладів.

Професійні індикатори/детектори часто оснащені:

- цифровою індикацією рівня (барграф, цифри);
- частотомірами/лічильниками частоти;
- акустичним виходом (динамік або аудіо-слухавки) для прослуховування демодульованого сигналу;
- режимами прослуховування і подвійною індикацією (графічна + звукова);
- можливістю збереження коротких спектральних «знімків» або логів (у

розширених моделях).

Сторожовий (черговий) режим.

Деякі прилади дозволяють працювати в режимі охорони: після первинного огляду приміщення фіксується опорний рівень поля у контрольній точці (наприклад, стіл керівника) і прилад переходить у черговий режим. У разі появи нового підвищення рівня (наприклад, при увімкненні передавача на відстані до ~ 2 м, залежно від чутливості) детектор видає тривогу. Важливо: при дуже низькому рівні випромінювання деякі малі польові передавачі можуть не бути виявлені таким режимом - це слід враховувати при налаштуванні порогів.

Картографування рівнів поля.

При наявності часу доцільно формувати карту приміщення - фіксувати характерні рівні поля у точках простору. Це особливо зручно з пристроями з цифровою індикацією та можливістю логування: карта допомагає виявити локальні «гарячі» зони, орієнтувати подальший пошук і визначити ймовірні місця розташування антени або апаратури.

Типи детекції (амплітудна / частотна).

Оскільки індикатори поля орієнтовані на реагування на рівень ЕМ-поля, у них часто застосовують амплітудні детектори. Це дає додаткову можливість - прослуховування сигналів з амплітудною модуляцією (АМ) шляхом простого демодулятора. Проте у практиці також спостерігається детектування сигналів із частотною модуляцією (FM): це відбувається або через нерівномірність амплітудно-частотної характеристики самого індикатора, або внаслідок паразитної амплітудної модуляції в передавачі. Однак рівень демодульованого FM-сигналу у таких приладах зазвичай малий і слугує лише орієнтиром.

Додаткові пошукові прийоми.

- **Візуальне зниження фонового рівня.** Наявність локальної передавальної точки часто проявляється як загальне зниження фону (телебачення, вишки),

помітне оператором: на фоні сильних джерел видно локальний максимум або зміну просторової структури поля.

- **Механічна стимуляція поверхні.** Шум, що виникає при терті м'якого пенопласту або іншого зонду по обстежуваній поверхні, інколи підсилює наводку і допомагає виявити приховані елементи (метод зондування).
- **Фіксація стабільності частоти.** Якщо індикатор обладнано частотоміром із фіксованим порогом, повторюваний відлік однієї й тієї самої частоти в послідовних вимірах свідчить про постійну передавальну компоненту і є серйозною ознакою активності. У приладах, де частотомір працює при будь-якому рівні сигналу, на нього варто звертати увагу лише тоді, коли він постійно фіксує ту саму частоту.

Недоліки і обмеження.

- Низька селективність і відсутність детального спектрального контексту в базових індикаторах;
- Мала дальність для малопотужних польових передавачів (потреба в наближенні до джерела);
- Чутливість до паразитних емісій і промислових завод - без додаткових алгоритмів класифікації можливі хибні спрацьовування.

3.3 Існуючі аналоги

Одним із поширених представників побутових індикаторів електромагнітного та радіочастотного випромінювання є прилад R&D RD630. Даний пристрій належить до класу універсальних вимірювачів, призначених для контролю рівнів електричного (EF), магнітного (MF) та радіочастотного (RF) полів у широкому частотному діапазоні.

Прилад RD630 використовується переважно для оцінки електромагнітного фону в житлових, офісних та виробничих приміщеннях, а також для контролю побутових і промислових джерел випромінювання (маршрутизатори, побутова техніка, комп'ютерне обладнання, базові станції

тощо). Результати вимірювань відображаються на рідкокристалічному дисплеї у вигляді числових значень із супровідною світловою та звуковою індикацією.

Прилад R&D RD630 має такі основні технічні характеристики: вимірювання електричного поля в діапазоні 1-1999 В/м, магнітного поля - 0,01-99,99 мкТл (0,1-999,9 мГ), а також радіочастотного випромінювання - 0,01-19,99 мВт/м². Частотний діапазон контролю RF-поля заявлений у межах від 50 Гц до 3,5 ГГц. Похибка вимірювань становить приблизно $\pm 5\%$, що є типовим показником для побутових індикаторів електромагнітного поля.

Прилад оснащений вбудованими ширококутовими датчиками без можливості підключення зовнішніх антен, що обмежує його чутливість та просторову вибірковість. Обробка сигналів здійснюється шляхом усереднення рівня поля з подальшим відображенням результатів на рідкокристалічному дисплеї. Живлення приладу здійснюється від батареї типу 9 В («Крона»), що забезпечує автономну роботу в побутових умовах.

Разом з тим, функціональні можливості подібних побутових індикаторів мають низку суттєвих обмежень у контексті задач виявлення активних радіопередавальних засобів. Зокрема, прилади типу RD630:

- не забезпечують визначення напрямку на джерело випромінювання;
- не дозволяють локалізувати окремий радіоканал серед фонових випромінювань;
- не аналізують часову структуру сигналу та його модуляційні ознаки;
- орієнтовані на вимірювання усередненого рівня поля, а не на фіксацію факту роботи передавача.

Таким чином, побутові багатофункціональні індикатори електромагнітного поля доцільно розглядати як засоби загального моніторингу електромагнітної обстановки, однак вони не придатні для задач оперативного радіоконтролю та визначення напрямку на активне джерело випромінювання, що є ключовою вимогою до розроблюваного пристрою.



У даному розділі розглянуто основні методи та засоби виявлення джерел радіоелектронного випромінювання, що застосовуються для фіксації факту роботи радіопередавальних засобів у різних умовах. Проведений аналіз показав, що існуючі технічні рішення можна умовно поділити на дві основні групи: прості індикатори електромагнітного поля та складні приймально-аналітичні системи радіоконтролю.

Прості індикатори поля характеризуються компактністю та оперативністю, однак не забезпечують визначення напрямку на джерело випромінювання та не дозволяють відрізнити окремі сигнали в умовах насиченого радіоелектронного середовища. З іншого боку, спектральні аналізатори та швидкісні приймачі мають значно ширші функціональні можливості, проте відрізняються високою вартістю, складністю експлуатації та потребують підготовленого оператора, що обмежує їх застосування в польових умовах.

У результаті аналізу встановлено, що жоден із розглянутих підходів у повній мірі не поєднує простоту індикаторів поля з можливістю локалізації джерела випромінювання. Саме це обґрунтовує доцільність розробки портативного детектора електромагнітного випромінювання з визначенням напрямку, який реалізує енергетичну детекцію сигналу у поєднанні з фазочутливим методом визначення напрямку.

Запропонований у дипломному проєкті підхід дозволяє:

- оперативно виявляти факт роботи радіопередавача без аналізу змісту передавання;
- визначати орієнтовний напрямок на джерело випромінювання апаратними засобами, без використання складних антенних систем;
- зберегти простоту конструкції, малу споживану потужність і придатність до автономної роботи;
- забезпечити ефективне застосування пристрою в умовах обмеженого часу та складної радіоелектронної обстановки.

Таким чином, проведений у розділі аналіз методів і засобів виявлення джерел радіоелектронного випромінювання підтвердив обґрунтованість вибору принципу побудови розроблюваного пристрою та сформував технічні вимоги, які були покладені в основу подальшої розробки його структурної та принципової схем.

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Принцип роботи пристрою „індикатор поля з визначенням напрямку” представлено на рівні структурної схеми.

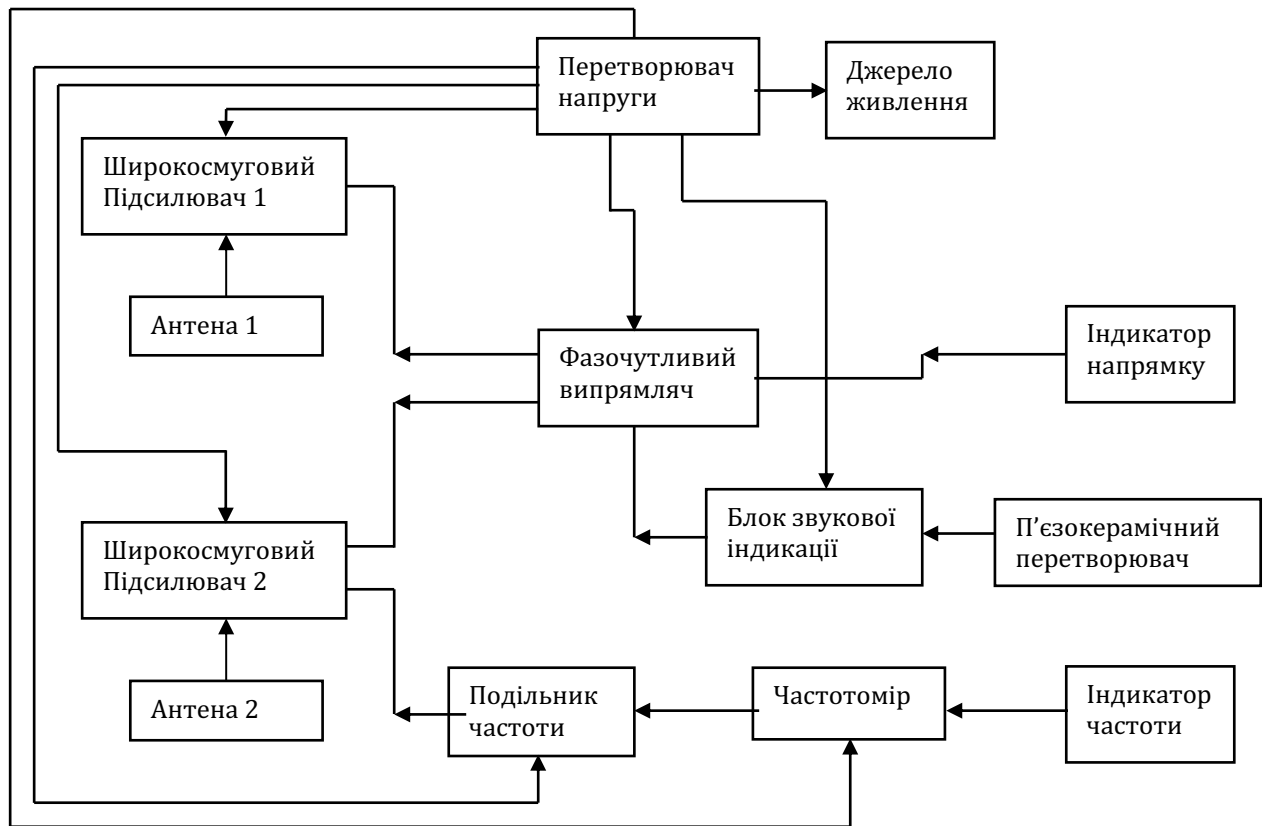


Рисунок 4.1. Структурна схема індикатора поля з визначенням напрямку

Розроблюваний детектор призначений для виявлення роботи ворожих рацій, ретрансляторів та інших джерел радіовипромінювання у діапазоні частот від 50 до 1500 МГц. Прилад забезпечує виявлення сигналів на відстані до 2 кілометрів із кутом огляду до 140° , а при використанні напрямних антен - орієнтовне визначення напрямку на джерело.

Принцип дії пристрою наступний: промодульований сигнал поступає на антени, які утворюють кут 90° , сигнал з кожної антени підсилюється через широкопasmовий підсилювач окремо, після чого два сигнали поступають на фазочутливий випрямляч, який визначає різницю часу приходу промодульованого сигналу різницевий сигнал передається на індикатор напрямку. В даному пристрої в ролі індикатора напрямку буде застосовано звичайний стрілочний гальванометр.

Такі блоки як подільник частоти, частотомір блок звукової індикації працюють незалежно, на частотомір сигнал поступає підсилений з одного із широкосмугових підсилювачів, з частотоміра він поступає на графічний індикатор частоти.

Блок звукової індикації через п'єзокерамічний перетворювач подає короткі звукові імпульси у випадку виявлення промодульованого сигналу.

Джерелом живлення являється елемент типу "крона".

5 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

Сигнали прийняті двома незалежними антенами, підсилюються широкосмуговими трьохкаскадними аперіодичними підсилювачами високої частоти на транзисторах VT1, VT4, VT6, та VT2, VT5, VT7. типу BC817 – 40 (Philips). Підсилений сигнал з навантаженням транзисторів VT6 та VT7, резисторів R22 та R23, поступають на подільник напруги і фазочутливий перетворювач.

Фазочутливий випрямляч працює по принципу різниці приходу сигналу за часом. Фазочутливі випрямлячі в основному знаходять застосування в якості демодуляторів при фазовій модуляції сигналу, а також при амплітудній модуляції, подібно до тієї, яка використовується в підсилювачах, крім демодуляції ці пристрою можуть вирішувати також завдання модуляції. Роль фазочутливих випрямлячів в даному пристрої виконують широкосмугові підсилювачі DD3, DD4, DD6, роль цих підсилювачів виконують мікросхеми AD8045.

Різницевий сигнал з фазочутливого випрямляча поступає на індикатор напрямку. Також цей сигнал поступає на блок звукової індикації. Базовий струм призводить до відкриття транзистора VT10. На його колекторі встановлюється потенціал логічної одиниці. При збільшенні рівня сигналу на вході пристрою постійна напруга на конденсаторі C10 зменшується. Це призводить до закриття транзистора VT10. Рівень логічної одиниці, який з'явиться на колекторі транзистора VT10, дозволяє роботу генератора прямокутних імпульсів на елементах DD10.1, DD10.2, R54, і C38. Позитивні імпульси з частотою біля 2 Гц, дозволяють роботу генератора прямокутних імпульсів на елементах DD10.3, DD10.4, R58 і C41. З виходу цього генератора прямокутні імпульси з частотою слідкування 1,5 – 2 кГц, промодульовані частотою біля 2 Гц поступають на п'єзокерамічний перетворювач ZQ1 типу SONITRON (Бельгія).

Перед тим як сигнал із широкосмугового підсилювача попадає на частотомір він проходить через подільник частоти. Попередній подільник частоти на мікросхемі DD1 КС193ИЕ2 дозволяє проводити ділення на 100. На його вході включений двосторонній діодний запобіжник, який захищає від перевантажень транзистор VT8 при подачі на вхід сигналу великого розмаху. Каскад на мікросхемі DD1 виконує функцію подільника на 10. На транзисторі VT3 зібрано пристрій узгодження рівнів сигналу з виходу мікросхеми DD1 з входом мікросхеми DD2 74LS90 також виконує роль подільника на 10. В результаті загальний коефіцієнт ділення всього пристрою становить 100.

Далі поділений сигнал поступає на частотомір, на транзисторі VT9 і на мікросхемі DD5 виконаний формувач вхідного сигналу. Мікросхема DD7 виконує функції контролера частотоміра, цифрової шкали з АПЧ керування модулем рідкокристалічного індикатора, а також дозволяє оперативно виміряти режим роботи пристрою. Якщо на виводі 1 мікросхеми DD2 присутній рівень логічної „1”, то пристрій виконує функцію частотоміра, якщо рівень логічного „0”, то – цифрової шкали. Схема АПЧ ГПД працює наступним чином. Після вимірювання частоти вхідного сигналу проводиться аналіз числа рівного сотням герц і, якщо воно парне, на виводі 8 мікросхеми DD2 видається рівень логічного „0”, якщо непарне, на виводі 8 мікросхеми DD2 видається рівень логічної „1”. Ці логічні сигнали попередньо проінтегрувати, можна використовувати для керування ємністю варикапа в контурі ГПД. В результаті виконується стабілізація частоти біля чотирьох значень сотень герц з точністю ± 10 Гц.

Всі вище розглянуті блоки живляться від перетворювача напруги, який складається з двох мікросхем DD8, DD9 (LTC1515). Вони перетворюють напругу з 9 В у + 5 та –5 В.

Всі елементи схеми, за виключенням зовнішніх з’єднань та індикаторів напругу встановлені на друкованій платі.

Аналізуючи схему за схематичними особливостями можна розбити на декілька функціональних вузлів: блок широкосмугових підсилювачів, частотомір, фазочутливий випрямляч, блок звукової індикації, та блок живлення. Доцільно всі блоки розмістити на одній друкованій платі, бо кожен блок є невеликим за розміром, а також для зменшення між блочних з'єднань.

Для реалізації міжконтактних електричних з'єднань на платі використовується друкований монтаж, який забезпечує високу їх надійність.

Між платою та органами керування, а також між індикаторами використовується дротяний електромонтаж з роз'ємами та електромонтаж на контактнопровідних резинках. Плата кріпиться на підставці корпусу за допомогою гвинтових з'єднань. Прилад, який сконструйований по даній схемі, не буде зазнавати значних механічних впливів в процесі експлуатації. Отже, встановлюючи елементи по ОСТ.4ГО.010.030 ми забезпечимо необхідну міцність монтажу.

Екранування пристрою передбачається робити внутрішнє з нанесенням екрануючих матеріалів на внутрішні частини конструкції. Визначаючи елементи і кола, які чутливі до завад, ми виділяємо цілий функціональний блок „фазочутливий випрямляч”, так як він складається із широкосмугових операційних, високочастотних підсилювачів, зовнішні завади можуть зашкодити нормальному функціонуванню цього блоку, тому передбачається використати індивідуальний екран, який буде екранувати цей функціональний блок і буде встановлюватися на ДП.

Порівняння умов експлуатації компонентів схеми з умовами експлуатації приладу із заданими в ТЗ дозволяють зробити висновок, що вся елементна база може бути застосована для використання в індикаторі поля з визначенням напрямку.

5.1 Розрахунок підсилювача високої частоти

На рисунку 5.1. зображено схему транзисторного ПВЧ. Основною задачею при конструюванні транзисторного підсилювача, є підтримка

необхідних значень струму і напруг бази. Рішення цієї проблеми ускладнюється наявністю залежностей параметрів β – статичного коефіцієнта підсилення по струму, $I_{к60}$ – початкового струму зсуву колектор–база, U_{6e} –напруги база–емітер від температури і значень розкиду цих параметрів для транзисторів одного і того ж типу.

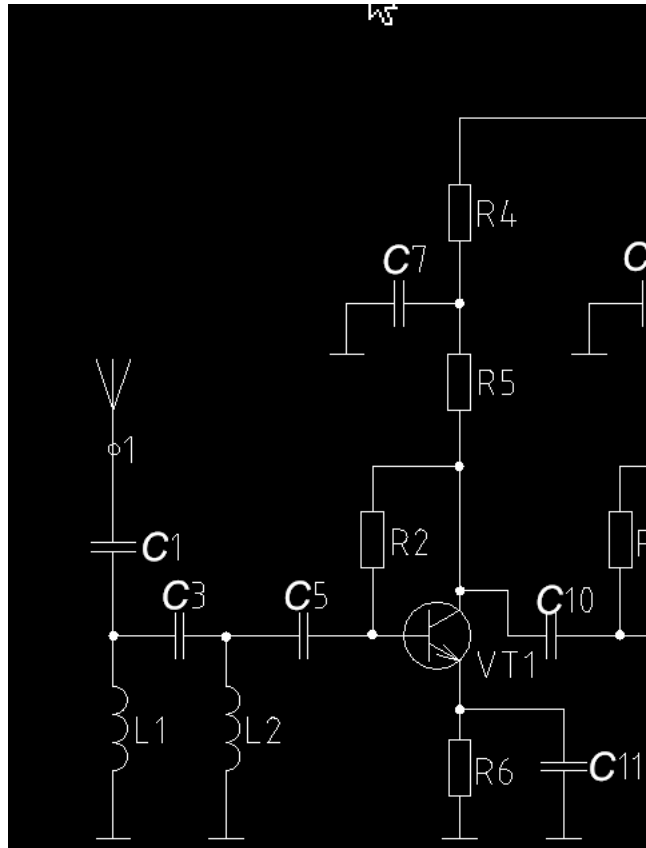


Рисунок 5.1 Перший каскад ПВЧ

Обрана схема подачі зсуву (рис.5.1.) забезпечує підвищену стабільність струму колектора при зміні β або $I_{к60}$, завдяки наявності рівнобіжного зворотного зв'язку по напрузі колектора, а також не зменшує коефіцієнт підсилення транзистора по напрузі, як це може бути при послідовному зворотному зв'язку [21].

Вимоги до ПВЧ:

- ПВЧ повинний підсилювати сигнали з частотою до 1ГГц.
- Мінімальний рівень вхідних сигналів 5 мВ.

Оскільки рівень вхідних сигналів для наступної мікросхеми AD8045 складає 15–30 мВ, то такий же рівень сигналів повинний бути забезпечений і

на виході ПВЧ. Отже, загальний коефіцієнт підсилення каскадів по напрузі повинний знаходитися в межах $K_u = 300 \dots 600$.

Як активний елемент виберемо малопотужний кремнієвий епітаксіально-планарний n-p-n транзистор BC817 – 40, призначений для використання у НВЧ підсилювальних пристроях у якості вхідних і наступних каскадів посилення. Основні характеристики транзистора BC817 – 40:

Гранична частота 4,5 ГГц

Статичний коефіцієнт передачі по струму $\beta = 35$

Постійна максимальна напруга $U_{ке\ max} = 15\text{В}$

Постійний максимальний струм колектора $I_{к\ max} = 20\ \text{мА}$

Максимальна постійна потужність, що розсіюється, 100мВт

Повний вхідний опір транзистора $R_{пов} = 10\ \text{кОм}$.

Максимально-допустимий струм колектора, при якому забезпечується тривала експлуатація транзистора:

$$I_{km} = P_m / U_{ке\ max},$$

де I_{km} – максимально – припустимий струм колектора; P_m – максимально розсіювана потужність; $U_{ке\ max}$ – постійна максимальна напруга колектор-емітер

$$I_{km} = 6,7\ \text{мА}.$$

Особливу важливість представляє посилення сигналів на верхніх частотах досліджуваного діапазону, тому що тут може бути завал АЧХ антени. Тому розрахунок будемо робити з умови максимуму посилення сигналу на частоті 1 ГГц.

Виходячи з довідкових даних, максимальний коефіцієнт підсилення по потужності обраного транзистора на частоті 1ГГц можна одержати при $U_{кб} = 2\text{В}$, $I_{e0} = 2\text{мА}$ і він буде складати 17,5дБ (режим посилення класу А, кут відсічення колекторного струму $\Theta = 180^\circ$). Коефіцієнт шуму транзистора в цьому випадку буде складати 1,8...2,2 дБ.

Напруга живлення для підсилювача вибирається в межах:

$$E_k = (0,5 \dots 0,6) U_{ke \max},$$

де E_k – напруга живлення, $U_{ke \max}$ – максимальна напруга колектор – емітер.

Виходячи з умов на дипломний проект, напругу живлення всього пристрою повинне бути 9В, що цілком можливо при $E_k = 0,6 U_{ke \max}$.

Напруга на колекторі, під час відсутності сигналу можна визначити по формулі:

$$U_{ke0} = 0,5 E_k,$$

де U_{ke0} – напруга на колекторі під час відсутності сигналу; E_k – напруга джерела живлення.

$$U_{ke0} = 0,5 * 10 = 5 \text{ В.}$$

Струм емітера, під час відсутності сигналу можна визначити з виразу:

$$I_{e0} = I_{k0} + I_{b0}, \quad (*)$$

де I_{e0} – струм спокою емітера; I_{k0} – струм спокою колектора; I_{b0} – струм спокою бази.

Струм бази під час відсутності сигналу визначається:

$$I_{b0} = I_{k0} / \beta, \quad (**)$$

де β – статичний коефіцієнт посилення транзистора по струму.

Отже, вираз (*) можна записати у вигляді:

$$I_{e0} = I_{k0} + (I_{k0} / \beta),$$

звідкіля можна одержати вираз для I_{k0} :

$$I_{k0} = (I_{e0} * \beta) / (\beta + 1).$$

Після підстановки значень одержимо чисельне значення для струму спокою колектора

$$I_{k0} = 1,9 \text{ мА.}$$

Тоді, відповідно до (**) струм бази під час відсутності сигналу

$$I_{b0} = 54 \text{ мкА.}$$

Опір зсуву розраховується по формулі

$$R_b = U_{кб} / I_{b0}, \quad (***)$$

де $U_{кб}$ – напруга колектор–база; $I_{б0}$ – струм бази під час відсутності сигналу.

Після підстановки значень у (***) одержимо $R_b = 37037 \text{ Ом}$.

Вибираємо стандартне значення 39 кОм .

Опір у колекторному колі визначимо по формулі:

$$R_k = (E_k - U_{ке0}) / I_{ко},$$

де E_k – напруга живлення; $U_{ке0}$ – напруга спокою колектора; $I_{ко}$ – струм спокою колектора;

Після підстановки значень одержимо $R_k = 2368 \text{ Ом}$.

Вибираємо стандартне значення $R_k = 2,4 \text{ кОм}$.

Коефіцієнт підсилення каскаду з загальним емітером визначається по формулі:

$$K_u = \beta * (R_k / r),$$

де K_u – коефіцієнт підсилення; β – статичний коефіцієнт передачі по струму; R_k – опір колектора; r – повний вхідний опір транзистора, включеного за схемою з загальним емітером;

Після підстановки значень, одержимо для одного каскаду $K_u = 8,4$.

Такий коефіцієнт підсилення не на багато перевищує коефіцієнт, передбачуваний одержати спочатку (від 3 до 6), але і не є неприпустимим, тому що відомо, що на частоті розрахунку 1ГГц можливий завал АЧХ антени, у результаті якого можуть відбутися деякі послаблення прийнятого сигналу.

Роздільні конденсатори вибираються з умови, що на верхній частоті діапазону 1ГГц, їхній реактивний опір не буде перевищувати 1Ом. Тоді ємності можна порахувати по формулі:

$$C_p = 1 / 2\pi F_B,$$

де C_p – ємність розділового конденсатора,

F_B – верхня частота діапазону.

Після підстановки значень одержимо $C_p = 160 \text{ пФ}$.

Отже, підсилювач високої частоти (ПВЧ) буде складатися з наступних елементів:

транзистор КТ 3101 А-2;

Резистор у колі зсуву бази $R_b = 39 \text{ кОм}$;

Резистор у колі колектора $R_k = 2,4 \text{ кОм}$.

Розділовий конденсатор 2шт $C_p = 160 \text{ пФ}$.

Для покращення рівномірності коефіцієнта передачі по діапазону і подавлення частот нижче 20 МГц застосуємо LC фільтр, який буде настроєно на частоту $f \approx 2f_n$. Розрахуємо фільтр на вході ПВЧ.

Задамося ємністю конденсатора фільтра ВЧ і розділюючого конденсатора з умови

$$C_\phi = 5 \cdot C_A = 5 \cdot 30 = 160 \text{ пФ}$$

Тоді індуктивність котушки фільтра ВЧ

$$L_\phi = \frac{1}{2(2\pi \cdot f_n)^2 \cdot C} = \frac{1}{2(2\pi \cdot 20 \cdot 10^6)^2 \cdot 150 \cdot 10^{-12}} = 0,2 \text{ мкГн}$$

З урахуванням впливу ємності роздільного конденсатора та вхідного опору

$$L_\phi' = 100L_\phi = 20 \text{ мкГн}$$

5.2 Розрахунок операційного підсилювача

Сигнал, що надходить з виходу частотного детектора має розмах 100 мВ, що недостатньо для подачі його на підсилювач потужності НЧ. Тому для додаткового підсилення використаємо операційний підсилювач К544УД2А. Це швидкодіючий операційний підсилювач на польових транзисторах.

Основні технічні параметри ІМС AD8045:

$$U_{ж} = \pm 5 \dots 15,5 \text{ В};$$

$$U_{зм} = 20 \text{ В};$$

$$I_{вх} = 0,05 \text{ нА}$$

$$K_U = 96 \text{ дБ}$$

$$P_{сп} = 120 \text{ мВт}$$

$$f_{гр}=100 \text{ МГц.}$$

Таблиця 5.1 – Призначення виводів ІМС AD8045

№	Символ	Призначення
1	FC	Корекція
2	IN _{inv}	Вхід інвертуючий
3	IN	Вхід неінвертуючий
4	-U	Напруга живлення -U (загальний)
5	n.c.	Не використовується
6	OUT	Вихід
7	+U	Напруга живлення +U
8	FC	Корекція

Схема електрична принципова операційного підсилювача на мікросхемі AD8045 зображена на рисунку 2.10.

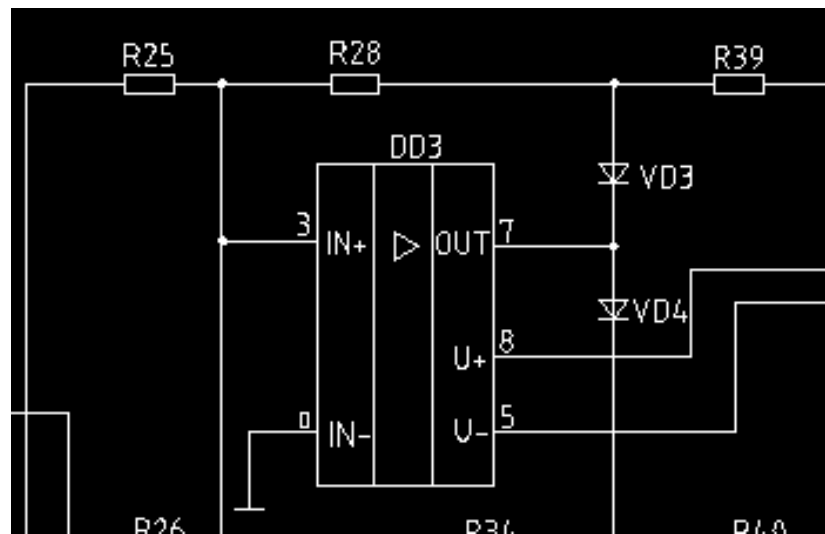


Рисунок 5.2. Схема електрична принципова операційного підсилювача.

Як вже зазначалося раніше, розмах вхідного сигналу складає 30 мВ. Розмах вихідного виберемо 500 мВ. Отже коефіцієнт передачі за напругою:

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{500}{30} = 17.$$

З іншого боку для реальної схеми коефіцієнт передачі може бути виражений наступним чином:

$$K_U = 1 + \frac{R_{28}}{R_{25}} = 17.$$

Вибравши один із резисторів (наприклад, $R_{25} = 10 \text{ кОм}$), розрахуємо інший:

$$R_{28} = R_{25}(K_U - 1) = 10(17 - 1) = 160 \text{ кОм}.$$

Найближчим типоміналом є резистор $R_{28} = 160 \text{ кОм}$,

5.3 Розрахунок генератора

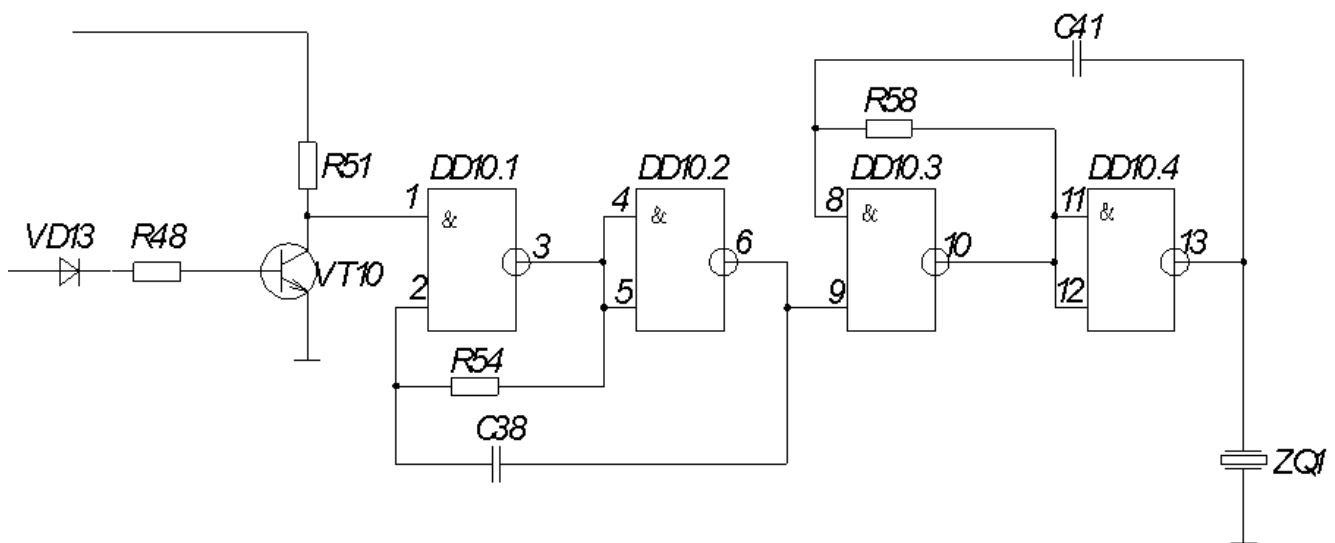


Рисунок 5.3. Схема генератора.

Проведемо електричний розрахунок даного ключа, що складається з наступних радіоелементів (згідно з кресленням) VT10 R48 та R51 показаного на рис. 5.3

Діод одночасно визначає струм колектора транзистора VT1. Таким чином, струм I_K транзистора VT4 = 20 мА. Виходячи з цього із довідника вибираємо транзистор серії КТ3102, для якого характерні наступні параметри:

$$I_{K \max} = 100 \text{ мА}.$$

$$I_{K \text{ ном}} = 20 \text{ мА}.$$

$$h_{21} = 50.$$

Номінальний опір резистора R51 розраховуємо наступним чином за формулою:

$$R_{51} = U_K V_{T10} / I_K V_{T10}$$

$$R_{51} = 12 / 0,02 = 600 \text{ Ом.}$$

Отже, приймаємо значення резистора R14 рівним 620 Ом.

Струм, що подається на базу транзистора, розраховуємо по формулі:

$$I_B = I_{K \text{ ном}} / h_{21}$$

$$I_B = 0,02 / 50 = 0,4 \text{ мА.}$$

По отриманим даним розраховуємо і обираємо номінальний опір резистора R15.

$$R_{48} = U_{ж} / I_b V_{T10}$$

$$R_{48} = 12 / 0,0004 = 30 \text{ кОм.}$$

Отже, приймаємо значення резистора R48 рівним 30 кОм.

5.4 Розрахунок потужності споживання пристроєм

Потужність споживання пристрою визначимо як суму потужностей споживання всіх елементів, з яких складається прилад. Спочатку визначимо потужності, які споживані інтегральними мікросхемами та транзисторами, що входять до складу індикатора поля, (табл. 6.4) [10, 13, 17].

Таблиця 5.4 – Потужність споживання мікросхем та транзисторів

	$I_{сп}, \text{ мА}$	$U_{ж}, \text{ В}$	Кількість	$P_{сп}, \text{ мВт}$
AD8045	7	5	3	105
SN74ALS01	10	5	1	50
74LS90	7	5	1	35
LTC1515	20	5	2	200
PIC16F84	20	5	1	100
SN74ALS22	10	5	1	50
SN74ALS00	10	5	1	50
BC817-40	10	9	7	630
BF240	2	9	1	18
BF197	2	9	1	18
BFR39(A)	30	9	1	270
BC846B/T1	2	9	1	18
Всього				1544 мВт.

Потужність розсіювання одного елемента визначається за формулою:

$$P = U_{KEMAX} \cdot I_{KMAX} \cdot$$

Загальна потужність, що розсіюється елементами визначається за формулою:

$$P = \Sigma(N_i \cdot P),$$

де N_i – кількість елементів одного типу.

Згідно до даних загальна потужність мікросхем і транзисторів дорівнює 1544 мВт.

Враховуючи, що всі резистори приладу працюють в малонавантаженому режимі, їх розсіювана потужність складає $P_{PEZ} = 0,125(Bm)$

Також деяка потужність буде виділятися на п'єзокерамічному перетворювачі – до 50 мВт.

Потужність, що виділяється на рідкокристалічному дисплеї (до 50 мВт).

Розрахуємо максимальну потужність споживання всього приладу:

$$P_{СПОЖ,МАХ} = P_{СПОЖ} + P_{PEZ} + P_{ДИН.} + P_{ИНД.}$$

$$P_{СПОЖ,МАХ} = 1544 + 7.52 + 50 + 50 = 1651.5(мВт) \approx 1.7(Bm).$$

Струм, що буде споживатися пристроєм:

$$I_{СПОЖ,МАХ} = P_{СПОЖ,МАХ} / U,$$

$$I_{СПОЖ,МАХ} = \frac{1,7}{9} = 0,18 \approx 0,2(A).$$

Отже максимальна потужність споживання всього пристрою буде складати 1,7 Вт, а максимальний струм, що буде споживатися пристроєм – 0,2 А.

5.5 Аналіз обраної елементної бази

В приладі застосовуються сучасні ЕРЕ, що мають високі механічні характеристики, дешеві та надійні.

До елементної бази розробляемого пристрою входять аналогові мікросхеми, цифрові мікросхеми, мікроконтролери, резистори, діоди, транзистори, конденсатори і котушки індуктивності.

Перелік радіоелементів, які використовуються в пристрої, приведено в табл. 5.5. Тут також наведені їх основні конструкційні та експлуатаційні параметри.

Як видно з таблиці 5.5 елементна база відповідає умовам експлуатації.

Для забезпечення нормального теплового режиму роботи достатньо використати повітряну систему охолодження.

Захист конструкції приладу від впливу зовнішніх температурних факторів забезпечується також звичайним підбором елементів з характеристиками, що задовільняють вимогам ТЗ, та матеріалів з майже однаковими коефіцієнтами температурного розширення.

Таблиця 5.5 – Застосовані елементи та їх експлуатаційні характеристики

Найменування елемента	Кільк., шт	Маса, г	Площ. 1 шт, мм ²	Інтенс. відмов $\lambda_0 10^6$, 1/год	Вібрація		Діапазон температур, °С
					частота, Гц	падіння, g	
1	2	3	4	5	6	7	8
Мікросхеми: DD3, DD4, DD6: AD8045	3	0,5	31	0,01	1..600	20	-40 +85
DD1: SN74ALS01	1	1,2	82,5	0,01	1..600	20	-40 +85
DD2: 74LS90	1	1,2	71,15	0,01	1..600	20	-40 +85
DD8,DD9: LTC1515	2	0,5	31	0,01	1..600	20	-40 +85
DD7: PIC16F84	1	1	110	0,01	1..600	20	-40 +85
DD5: SN74ALS22	1	1	71,15	0,01	1..600	20	-40 +85
DD10: SN74ALS00	1	1	71,15	0,01	1..600	20	-40 +85

1	2	3	4	5	6	7	8
Діоди: VD1, VD2: 1N4148 VD7,VD8,VD9 , VD10 VD11, VD12: 15ETHO3 VD3, VD4, VD5, VD6,VD13: BYV26C	2	0,05	3	0,01	25– 1500	15	–40 +85
	6	0,05	3	0,01	25– 1500	15	–40 +85
	5	0,05	3	0,01	25– 1500	15	–40 +85
Транзистори: VT1,VT2,VT4, VT5,VT6, VT7: BC817–40. VT3: BF 240 VT8: BF 197 VT9:BC817– 40 VT10: BF R39(A) VT11:BC 846B/T1	6	0,1	7,5	0,015	10–600	20	–40 +85
	1	0,1	7,5	0,015	10–600	20	–40 +85
	1	0,1	7,5	0,015	10–600	20	–40 +85
	1	0,1	7,5	0,015	10–600	20	–40 +85
	1	0,1	7,5	0,015	10–600	20	–40 +85
	1	0,1	7,5	0,015	10–600	20	–40 +85
Конденсатори: Evox Rifa C1 – C42	42	0,02	1,2	0,05	25– 2500	20	–60 +95
Резистори: Royal Ohm R1 – R57	57	0,02	1,2	0,01	10– 3000	25	– 60 + 95

Порівняння умов експлуатації компонентів схеми з умовами експлуатації приладу із заданими в ТЗ дозволяють зробити висновок, що вся елементна база може бути застосована для виготовлення приладу.

6 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

Основним комутаційним елементом даної конструкції, якій призначений для електричного з'єднання елементів схеми є друкована плата.

Друкована плата – це елементи конструкції, які складаються із плоских провідників у вигляді ділянок металізованого покриття, які розміщені на діелектричній основі і які забезпечують з'єднання елементів електричних кіл.

Під час конструювання друкованої плати необхідно врахувати наступні критерії.

Габаритний критерій.

Визначається елементами та їх розмірами. При розміщенні елементів необхідно мінімізувати кількість перетинів зв'язків та їх довжину.

Розрахуємо сумарну площу встановлення компонентів на стороні встановлення основної кількості елементів.

Таблиця 6.1 – Посадкова площа елементів на платі

Елемент або типорозмір	Площа, мм ²	Кількість, шт	Загальна площа, мм ²
Мікросхеми:			
AD8045	31	3	93
LTC1515	31	2	62
SN74ALS01	82,5	1	82,5
74LS90	71,15	1	71,15
PIC16F84	110	1	110
SN74ALS22	71,15	1	71,15
SN74ALS00	71,15	1	71,15
Діоди:			
1N4148	3	2	6
15ETH03	3	6	18
BYV26C	3	5	15
Транзистори:			
BC817-40	7,5	6	45
BF240	7,5	1	7,5
BF197	7,5	1	7,5
BFR39(A)	7,5	1	7,5
BC846B/T1	7,5	1	7,5

Конденсатори:			
Evox Rifa	1,2	42	50,4
Резистори:			
Royal Ohm	1,2	57	68,4
Котушки індуктивності	55	4	220
Вмикач пристрою	150	1	150
Перемикач режимів	250	1	250
П'єзокерамічний перетворювач	170	1	170
Загальна площа		1592	

Площа плати береться із наступного співвідношення:

$$S_{пл} = 1,2 \cdot S_{\Sigma} = 1,2 \cdot 1592 = 1910,4 (\text{мм}^2).$$

Форму друкованої плати обираємо прямокутною. Виходячи з розрахунків ми повинні обрати друковану плату розміром 40x40мм, але цей розмір не задовольняє нашим вимогам. В нашому випадку було б доцільніше щоб розміри друкованої плати наближалися до розмірів пристрою. Збільшені розміри плати забезпечили б зручність встановлення поверхневого екрану, п'єзокерамічного перетворювача, та вимикача пристрою, отже розміри плати вибираємо 100x60. Такі розміри не суперечать умові мінімального розміру плати.

Варіант встановлення елементів у отвори за ОСТ 4.010.030 – 81.

При трасуванні друкованої плати з урахуванням досить великої густини встановлення елементів та використанні нової елементної бази (зокрема мікропроцесорного контролеру), необхідний III клас точності виконання друкованої плати.

Виходячи з ОСТ16 0.886.052–90 “Плати друковані. Основні параметри конструкції”, а також габаритних розмірів плати, використаної елементної бази, економічної доцільності, друкована плата повинна задовільняти умови третього класу точності. [14].

Номинальне значення відстані між елементами проводячого рисунку, відмічене знаком *, застосовувати при розрахунку трасування між друкованим провідником та контактною площадкою.

Номинальне значення відстані між елементами проводячого рисунку, відмічене знаком **, застосовувати при розрахунку трасування між сусідніми друкованими провідниками.

Для забезпечення максимальної зручності при розміщенні елементів та трасуванні провідників, в наслідок використання іноземної елементної бази із дюймовими типорозмірами сітка трасування та отворів повинна бути з кроком 0,625 мм.

1) функціональний вузол із одностороннім монтажем тільки з компонентами, які монтуються на поверхню верхньої сторони плати, а нижня сторона вільна;

2) функціональний вузол з двостороннім монтажем лише з компонентами, які монтуються на поверхню верхньої сторони плати та на нижню сторону плати;

3) функціональний вузол з одностороннім монтажем з застосуванням компонентів для поверхневого монтажу, та компонентів, які монтуються в отвори лише на верхню сторону плати;

4) функціональний вузол з двостороннім монтажем з застосуванням компонентів для встановлення в отвори на верхній стороні плати та компонентів для поверхневого монтажу на нижній стороні плати;

5) Функціональний вузол з двостороннім монтажем. На верхній стороні плати монтуються компоненти, які встановлюються в отвори та компоненти для поверхневого монтажу, на нижній стороні лише компоненти для поверхневого монтажу.

Необхідно обрати двосторонню друковану плату (ДДП) виходячи із наступних причин:

Таблиця 6.2 – Значення основного параметра малюнка на платі

Найменування основного параметру рисунка плати		Значення основного параметру рисунку в узькому місці для плати класу точності:			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника	Номінальне значення на кресленні, не менше	0,55	0,35	0,23	0,15
	Граничне відхилення	+0,10 -0,15	+0,05 -0,15	+0,05 -0,10	+0,04 -0,04
	Мінімально допустиме значення	0,4	0,2	0,13	0,11
Відстань між елементами провідного рисунку	Мінімально допустиме значення на кресленні	0,4	0,2	0,13	0,10
	Номінальне значення (для розрахунку трасування)	0,5	0,325* 0,275**	0,235* 0,27**	0,21* 0,16**
Ширина елемента непровідного рисунку	Номінальне значення на кресленні, не менше	0,5	0,275	0,235	0,16
	Граничне відхилення	+0,15 -0,10	+0,125 -0,075	+0,10 -0,05	+0,06 -0,06
Гарантійний поясок контактної площадки; для неметалізованого отвору	Номінальне значення для розрахунку діаметра контактної площадки	0,5	0,45	0,4	0,35
Гарантійний поясок контактної площадки; для металізованого отвору	Номінальне значення для розрахунку діаметра контактної площадки	0,45	0,35	0,25	0,25

– відносно велика кількість корпусів інтегральних мікросхем, а також інших елементів призводить до великої кількості з'єднувальних провідників (більш ніж 70). Таку кількість провідників складно реалізувати на однобічній платі заданого розміру;

– крім того, друковані провідники розташовуються з обох сторін плати і при обраних її лінійних розмірах, дозволять реалізувати дану схему;

– використання ДДП полегшує складання та огляд елементів при збільшені густини монтажу;

– використання ДДП дозволяє збільшити очікувану кількість здійснених з'єднань, що дасть змогу при трасуванні друкованих провідників скористатися САПР P_CAD та AUTOCAD. Завдячуючи цьому процес проектування ДП значно прискориться.

– крім того, використання в даному випадку ДДП значно збільшить вихід придатних ДП, що покращить економічні показники даного пристрою.

Так як прилад буде складатися в умовах дрібносерійного виробництва, то необхідно максимально полегшити задачу складання людині–складальнику. З цією метою всі функціональні вузли схеми будуть розміщуватись згучковано на платі, що дасть більшу зручність монтажу та ремонту пристрою. Обране конструктивне виконання – 5.

Для кріплення плати слід передбачити зони вільні від провідників для технологічних отворів, за допомогою яких плата буде кріпитися до корпусу пристрою.

Майже всі елементи окрім регулятора чутливості розташовані на друкованій платі. Розміщення елементів проводиться таким чином, щоб забезпечити III–клас точності друкованого монтажу при заданих габаритних розмірах 100x60. Крім того, елементи необхідно розташовувати, якомога більш рівномірно по площі друкованої плати для забезпечення рівномірності мас елементів. Також бажано встановлювати елементи таким чином, щоб забезпечити найбільшу технологічність плати, а саме монтажні отвори слід розташовувати рядами. Це робиться для прискорення операції свердління на програмованих свердлильних верстатах, а також для забезпечення автоматичного встановлення елементів і їх груповому паянні

Головними елементами плати є мікросхеми фазочутливого перетворювача який доцільно розташувати у центрі, або трохи нижче від

центра конструкції щоб забезпечити максимальний доступ для встановлення поверхневого екрану над цим блоком. Інші елементи, які зв'язані з ними слід розташовувати з відповідних сторін, так щоб забезпечити мінімальну довжину з'єднань та мінімальну кількість перетинів, а також відповідну відстань до стінок екрану.

Роз'єми живлення розташовано знизу плати, там же й відповідно доцільно розташувати мікросхеми які складають блок перетворювача напруги.

Зверху плати розташовані отвори для пайки дротів які з'єднують високочастотні роз'єми, та отвори для пайки котушок індуктивності.

Ближче до центру плати розташовані роз'єднання під'єднання до індикатора напряду до фазочутливого перетворювача, ескіз встановлення елементів на платі зображено на рисунку 6.1.

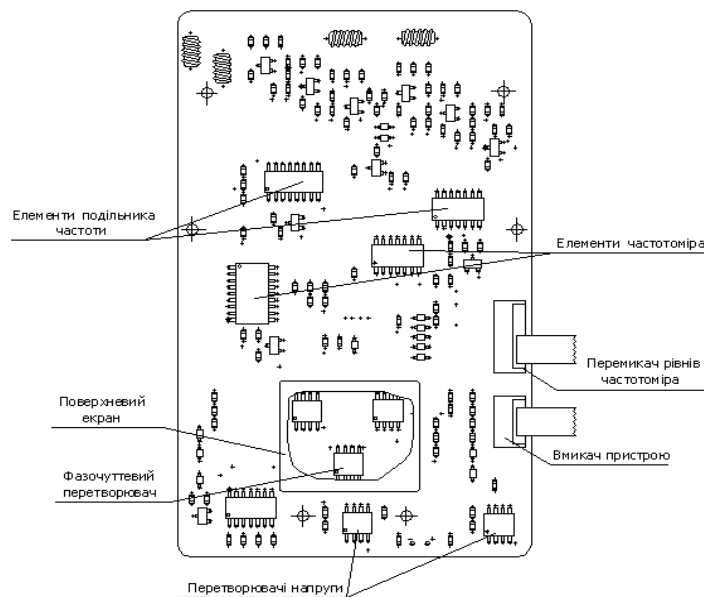


Рисунок 6.1. Ескіз встановлення елементів на платі

Трасування друкованої плати проводиться в САПР (PCAD 2001), як правило за певною стратегією. Прокладення всіх провідників проводиться за певною стратегією по групах кіл, що суттєво різняться за призначенням, струмами, що протікають, електромагнітною сумісністю, хвилевим опором і т.п. Щонайменше виділяють декілька груп кіл живлення та декілька груп сигнальних кіл, вони всі для полегшення завдання були нанесені в різних кольорах.

Розрахунок основних параметрів друкованого монтажу:

Двостороння друкована плата виготовляється хіміко–гальванічним адитивним методом.

Вихідні дані для розрахунку приведені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Параметри друкованої плати 3–го класу точності

№	Параметр	Значення
1	Товщина фольги	35 мкм
2	Максимальний струм через провідник	0,2 А
3	Максимальна довжина провідника	0,16 м
4	Допустиме падіння напруги на провіднику	0,25 В
5	Максимальний діаметр виводів мікросхем	0,5 мм
6	Розмір плати	100x60 мм ²
7	Відстань між виводами мікросхеми	1,27 мм
8	Питомий опір	0,05 Ом
9	Допустима щільність струму	15–20 А/мм

Визначимо мінімальну ширину друкованого провідника по постійній напрузі для кіл живлення та заземлення з урахуванням даних таблиці 6.3 по формулі:

$$b_{MIN1} = \frac{I_{MAX}}{J_{ДОП} \cdot t},$$

де I_{MAX} – максимальний постійний струм, який протікає у провідниках;

$J_{ДОП}$ – допустима щільність струму;

t – товщина провідника, мм.

$$b_{MIN1} = \frac{0,2}{20 \cdot 0,035} = 0,28(\text{мм})$$

Отже мінімальна товщина провідника вищезгаданих кіл має складати 0,28 мм.

Аналогічно розрахуємо мінімальну товщину друкованого провідника іншої частини схеми:

$$b_{MIN1} = \frac{0,05}{20 \cdot 0,035} = 0,071(\text{мм}).$$

Визначаємо мінімальну ширину провідника виходячи з допустимого падіння напруги на ньому по формулі:

$$b_{MIN2} = \frac{\rho I_{MAX} l}{U_{ДОП} \cdot t},$$

де ρ – питомий об'ємний опір;

l – довжина провідника, м;

$U_{ДОП}$ – допустиме падіння напруги;

$$b_{MIN2} = \frac{0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,16}{0,035 \cdot 0,25} = 0,18(\text{мм})$$

Розрахуємо номінальний ефективний діаметр контактних майданчиків.

Номінальний ефективний діаметр монтажних отворів визначається за формулою:

$$d = d_E + |\Delta d_{H,O}| + r,$$

де d_E – максимальний діаметр виводу ЕРЕ, який встановлюється $d_E = 1$;

$\Delta d_{H,O}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра монтажного отвору;

r – різниця між мінімальним діаметром отвору і максимальним діаметром виводу.

$$d = 1 + 0,1 + 0,1 = 1,2(\text{мм}).$$

Мінімальний ефективний діаметр контактних майданчиків визначається за формулою:

$$D_{1MIN} = 2(b_M + d_{MAX}/2 + \delta d + \delta p),$$

де d_M – відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика;

δd і δp – допуски на розташування отворів і контактних майданчиків 0,05 і 0,25;

d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору, мм;

$$d_{MAX} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15),$$

$$d_{MAX} = 1,2 + 0,1 + 0,15 = 1,45(\text{мм}),$$

$$D_{1MIN} = 2(0,035 + 1,45/2 + 0,05 + 0,25) = 2,12(\text{мм}).$$

Мінімальний діаметр контактних майданчиків визначаються за формулою:

$$D_{MIN} = D_{1MIN} + 1,5h_\phi,$$

де D_{1MIN} - мінімальний ефективний діаметр площадки;

h_{ϕ} - товщина фольги;

Максимальний діаметр контактних майданчиків:

$$D_{MAX} = 2,12 + 0,05 = 2,17(\text{мм}).$$

Визначаємо розміри провідників. Мінімальна ширина провідників:

$$b_{1MIN} = b_{1MIN} + 1,5h_{\phi},$$

де b_{1MIN} – мінімальна ефективна ширина провідника 0,18мм для плат 1–, 2–, 3–го класу точності;

$$b_{MIN} = 0,18 + 0,05 = 0,23(\text{мм}).$$

Максимальна ширина провідників:

$$b_{MAX} = 0,23 + 0,02 = 0,25(\text{мм}).$$

Мінімальна відстань між провідником і контактною площадкою визначається за формулою:

$$S_{1MIN} = L_0 - |(D_{MAX}/2 + \delta_p) + (b_{MAX}/2 + \delta_l)|,$$

$$S_{1MIN} = 2,5 - |(2,17/2 + 0,25) + (1,45/2 + 0,05)| = 1,94(\text{мм})$$

Мінімальна відстань між двома контактними майданчиками визначається за формулою:

$$S_{2MIN} = L_0 - (D_{MAX} + 2\delta_l),$$

де L_0 – відстань між центрами розглядаємих елементів;

δ_l – допуск на розташування провідників.

$$S_{2MIN} = 2,5 - (2,17 + 2 \cdot 0,25) = 0,2(\text{мм}).$$

Мінімальна відстань між двома провідниками визначається за формулою:

$$S_{3MIN} = L_0 - (D_{MAX} + 2\delta_l),$$

$$S_{3MIN} = 2,5 - (1,69 + 2 \cdot 0,05) = 0,25(\text{мм}).$$

Таким чином розраховані параметри друкованого монтажу відповідають вимогам, які пред'явлені до плат 3–го класу точності.

За результатами розрахунку було розроблено конструкція друкованої плати, яка відповідає вимогам ТЗ, яка представлена на відповідних

кресленнях. Друкована плата, як деталь представлена на кресленні PE41.301131.000, а друкована плата зі встановленими на неї ЕРЕ на кресленні PE41.401161.002.

7 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ

7.1 Розрахунок віброміцності

Проведемо розрахунок віброміцності друкованого вузла, за визначеною методикою.

Розрахунок частоти власних коливань друкованої плати. Вихідні дані:

- довжина плати $a = 0,1\text{м}$;
- ширина плати $b = 0,06\text{м}$;
- товщина плати $h = 1,5 \cdot 10^{-3}\text{м}$.

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

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

Маса встановлених на платі елементів $M = 0,1\text{кг}$.

Визначимо приведену масу друкованої плати:

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

Визначимо приведену масу плати з деталями:

$$m = m_l + m_a = 3,1 + 0,98 / (0,06 \cdot 0,1) = 14,5\text{ кг/м}^2.$$

Розраховуємо циліндричну жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \xi^2)} = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 8,93\text{Нм}$$

Визначаємо значення функції $\varphi(\beta)$ для кріплення плати в чотирьох точках:

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{\xi}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}},$$

де $\beta = a/b = 1,6$ – коефіцієнт, який залежить від співвідношення довжини і ширини плати

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \cdot \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{0,22}{1,6} + \frac{1}{1,6^2}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{1,6^3} + \frac{1}{1,6^6}}} = 9,3.$$

Визначимо значення резонансної частоти плати

$$f_0 = \frac{\varphi(\beta)}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{m}} = \frac{9,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2} \sqrt{\frac{8,93}{14,5}} = 231 \text{ Гц.}$$

Так як резонансна частота плати $f_0 = 231$ Гц, приблизно в 3 рази перевищує максимальну частоту вібраційних впливів ($f_0 = 70$ Гц), то обраний варіант кріплення плати влаштовує вимоги віброміцності.

7.2 Розрахунок надійності

Загальні вимоги до надійності визначені в ГОСТ 27.002–83 і ГОСТ16325 для даного класу апаратури.

Розрахунок надійності полягає у визначенні показників надійності пристрою за відомими характеристикам надійності складових компонентів та умовами експлуатації.

Розрахунок надійності пристрою слід вести за раптовими експлуатаційними відмовами. Це продиктоване наступними міркуваннями. Моральне старіння апаратури подібного призначення відбувається значно швидше, ніж фізичне. Тому слід очікувати, що апаратура буде замінена на більш сучасну раніше, ніж почнуть проявлятися відмови, обумовлені старінням матеріалів і ЕРЕ.

До того ж проводити розрахунок по зносовим відмовам і відмовам старіння можливо, маючи достатньою базою статистичних даних виготовлених виробів.

Вихідними даними для розрахунку показників надійності типових конструкцій є принципова схема з вказанням типів деталей, що входять до неї, режими роботи усіх деталей (електричні, кліматичні, механічні), значення інтенсивності відмов усіх типів елементів.

При оцінці показників надійності типових конструкцій необхідно виявити ті елементи конструкції, які можуть призвести до відмови.

Інтенсивності відмов застосованих критичних елементів приведені в табл. 7.1

Таблиця 7.1 – Групи елементів та їх показники на відмову

№ п/п	Елемент або типорозмір	Інтенсивність відмови $\lambda_0 \cdot 10^{-6}$, 1/год	Коефіцієнт навантаження k_N
1	Мікросхеми:		
2	AD8045	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,8
3	LTC1515	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,8
4	SN74ALS01	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,8
5	74LS90	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,8
6	PIC16F84	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,8
7	SN74ALS22	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,8
8	SN74ALS00	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,8
9	Діоди:		
10	1N4148	$0,5 \cdot 10^{-7}$	0,7
11	15EHO3	$0,5 \cdot 10^{-7}$	0,7
12	BYV26C	$0,5 \cdot 10^{-7}$	0,7
13	Транзистори:		
14	BC817-40	$0,5 \cdot 10^{-6}$	0,8
15	BF 240	$0,5 \cdot 10^{-6}$	0,8
16	BF 197	$0,5 \cdot 10^{-6}$	0,8
17	BC 817-40	$0,5 \cdot 10^{-6}$	0,8
18	BF R39(A)	$0,5 \cdot 10^{-6}$	0,8
19	BC 846B/T1	$0,5 \cdot 10^{-6}$	0,8
20	Конденсатори:		
21	Evoh Rifa	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,4
22	Резистори:		
23	Royal Ohm	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,4
24	Котушки індуктивності	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,4
25	Дроти з'єднувальні	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,12
26	Друкована плата	$0,8 \cdot 10^{-6}$	0,5
27	П'єзокерамічний перетворювач	$0,8 \cdot 10^{-6}$	0,5
28	Гальванометр	$4,7 \cdot 10^{-6}$	2
29	Пайка друкованого монтажу	$0,5 \cdot 10^{-9}$	0,5
30	Перемикачі	$2 \cdot 10^{-6}$	0,5
31	Резистор змінний	$0,2 \cdot 10^{-7}$	0,3

Визначимо інтенсивності відмов елементів з врахуванням умов експлуатації за [24]:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_n,$$

де λ_{0i} – інтенсивність відмов типового елемента заміни при нормальних умовах експлуатації (температура оточуючого середовища $T = 25 \pm 10^\circ\text{C}$, відносна вологість $(65 \pm 15)\%$, коефіцієнт електричного навантаження $k_n = 1$);

k_1, k_2 – поправочні коефіцієнти в залежності від впливу механічних факторів; k_1 враховує вплив вібрацій, $k_1 = 1,04$; k_2 – враховує вплив ударних навантажень, $k_2 = 1,03$ [10];

k_3 – поправочний коефіцієнт в залежності від впливу вологи і температури, $k_3 = 2$;

k_4 – поправочний коефіцієнт в залежності від тиску повітря, $k_4 = 1$;

k_n – поправочний коефіцієнт електричного навантаження, значення якого для різних елементів приведено в табл. 8.1.

Результати розрахунків зведено в табл. 8.2.

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

де N – кількість типів елементів;

λ_i – інтенсивність відмов з врахуванням поправочних коефіцієнтів;

n_i – кількість елементів i -го типу.

Розрахункове значення суми інтенсивності на відмову вказано в табл.8.2.

При врахуванні цілодобового завантаження пристрою коефіцієнт часової затримки дорівнює одиниці.

Розрахуємо середній час напрацювання на відмову:

$$T_s = \frac{1}{\Lambda}.$$

$$T_B = \frac{1}{171578} = 5828 \approx 6000(\text{год}).$$

Такий час напрацювання на відмову мав би розроблюваний пристрій, коли б він експлуатувався в лабораторних умовах.

Таблиця 7.2 – Інтенсивності відмов критичних елементів перетворювача інтерфейсів з врахуванням поправочних коефіцієнтів

№ пп	Елемент або типорозмір	Кількість, шт	Інтенсивність відмови, $\lambda \cdot 10^{-6}$
1	Мікросхеми:		
2	AD8045	3	$34,28 \cdot 10^{-9}$
3	LTC1515	2	$34,28 \cdot 10^{-9}$
4	SN74ALS01	1	$34,28 \cdot 10^{-9}$
5	74LS90	1	$34,28 \cdot 10^{-9}$
6	PIC16F84	1	$34,28 \cdot 10^{-9}$
7	SN74ALS22	1	$34,28 \cdot 10^{-9}$
8	SN74ALS00	1	$34,28 \cdot 10^{-9}$
9	Діоди:		
10	1N4148	2	$74,98 \cdot 10^{-9}$
11	15ETH03	6	$74,98 \cdot 10^{-9}$
12	BYV26C	5	$74,98 \cdot 10^{-9}$
13	Транзистори:		
14	BC817-40	6	$856,96 \cdot 10^{-9}$
15	BF 240	1	$856,96 \cdot 10^{-9}$
16	BF 197	1	$856,96 \cdot 10^{-9}$
17	BC 817-40	1	$856,96 \cdot 10^{-9}$
18	BF R39(A)	1	$856,96 \cdot 10^{-9}$
19	BC 846B/T1	1	$856,96 \cdot 10^{-9}$
20	Конденсатори:		
21	Evox Rifa	42	$17,14 \cdot 10^{-9}$
22	Резистори:		
23	Royal Ohm	58	$17,14 \cdot 10^{-9}$
24	Котушки індуктивності	4	$25,71 \cdot 10^{-9}$
25	Дроти з'єднувальні	8	$38 \cdot 10^{-9}$
26	Друкована плата	1	$85,7 \cdot 10^{-9}$
27	П'єзокерамічний перетворювач	1	$856,96 \cdot 10^{-9}$
28	Гальванометр	1	$2013 \cdot 10^{-9}$
29	Пайка друкованого монтажу	1	$0,54 \cdot 10^{-9}$
30	Перемикачі	2	$1285,44 \cdot 10^{-9}$
31	Змінний резистор	1	$51,42 \cdot 10^{-9}$
Сума інтенсивностей на відмову			$17158 \cdot 10^{-9}$

$$T_{B.пер} = \frac{T_{e.}}{k},$$

де k – коефіцієнт, що враховує навантаження апаратури (для носимої апаратури k

= 2) [20].

$$T_{B.пер} = \frac{6000}{2} = 3000 \text{ год.}$$

Так як робота з пристроєм буде проводитись у приміщені, то ми можемо прийняти значення наближене до лабораторних умов.

7.3 Розрахунок теплового режиму

Визначальними параметрами для розрахунку є питомі потужності розсіювання пристрою загалом і нагрітої зони $q_{кр}$ і q_3 відповідно. Визначаємо їх по формулах:

$$q_k = P_0 / S_k, q_3 = P_0 / S_3,$$

де S_k – площа поверхні корпусу пристрою;

S_3 – умовна поверхня нагрітої зони;

P_0 – потужність, що розсіюється пристроєм.

$$S_k = 2(l \cdot b + (l + b) \cdot h),$$

$$S_3 = 2(l \cdot b + (l + b) \cdot h \cdot k_3),$$

де l, b, h – відповідно довжина, ширина та висота корпусу;

k_3 – коефіцієнт заповнення об'єму корпусу.

Таким чином визначаємо площу поверхні корпусу пристрою за формулою:

$$S_k = 2(150 \cdot 70 + (150 + 70) \cdot 37) = 37280(\text{мм}^2).$$

Умовну поверхню нагрітої зони визначаємо за формулою:

$$S_3 = 2(150 \cdot 70 + (150 + 70) \cdot 37 \cdot 0,5) = 18640(\text{мм}^2).$$

Питома потужність розсіювання пристрою визначаємо за формулою:

$$q_k = 1,7 / 0,03728 = 45,6 \approx 47(\text{Вт} / \text{м}^2).$$

Питома потужність нагрітої зони визначаємо за формулою:

$$q_3 = 1,7 / 0,01864 = 91,2 \approx 91(\text{Вт} / \text{м}^2)$$

У загальному випадку перегрів корпусу приладу, працюючого в нормальних кліматичних умовах, визначається залежністю:

$$I_1 = 0,1472 \cdot q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot q_k^3,$$

Перегрів корпусу приладу відносно навколишнього середовища визначається залежністю:

$$I_2 = 0,139 \cdot q_3 - 0,1233 \cdot 10^{-3} \cdot q_3^2 + 0,6698 \cdot 10^{-6} \cdot q_3^3,$$

$$I_1 = 0,1472 \cdot 47 - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot 47^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot 47^3 = 6,2^\circ C$$

$$I_2 = 0,139 \cdot 91 - 0,1233 \cdot 10^{-3} \cdot 91^2 + 0,6698 \cdot 10^{-6} \cdot 91^3 = 12,1^\circ C$$

За отриманими даними визначаємо перегрів повітря в прилад визначається по формулі:

$$I_B = 0.5(I_1 + I_2).$$

$$I_B = 0.5(6,2 + 12,1) = 9,15^\circ C.$$

Температура корпусу блока визначається за формулою:

$$T_k = I_1 + T_c.$$

$$T_k = 6,2 + 40 = 46,2^\circ C.$$

Температура нагрітої зони визначається за формулою:

$$T_3 = I_2 + T_c.$$

$$T_3 = 12,1 + 40 = 51,1^\circ C.$$

Таким чином, розрахунки показують, що температура повітря в корпусі не вийде за межі діапазону робочих температур елементів пристрою, заданих в технічній документації.

На основі проведеного аналізу теплового режиму можна зробити висновок, що компоновочна схема пристрою вибрана вірно.

7.4 Електромагнітна сумісність

Електромагнітний екран призначений для локалізації електромагнітного поля, яке може негативно впливати на внутрішні елементи пристрою.

Електромагнітне екранування застосовується для локалізації в деякому об'ємі простору полів, що утворюються випромінювачами електромагнітної енергії з метою послаблення або виключення дії випромінювачів на чутливі елементи самого приладу та на оточуючі його інші радіоелектронні пристрої та засоби.

В залежності від призначення розрізняють:

- екрани з внутрішнім збудженням електромагнітного поля в яких звичайно розміщуються джерела завад;
- екрани зовнішнього електромагнітного поля, у внутрішній порожнині яких розміщуються чутливі до цих завад пристрої.

Конструювання захисних електромагнітних екранів може мати наступні особливості:

1) Можуть розроблятися конструкції екранів для окремих елементів і вузлів радіоелектронної апаратури, коли розміри і, навіть форма екранів практично визначена самим об'єктом, що екранується.

В даному випадку екран має:

- а) вписуватись в цілу будову пристрою;
- б) забезпечувати мінімальну реакцію на екранований об'єкт;
- в) забезпечувати нормальний режим роботи пристрою;
- г) забезпечувати такі показники як надійність та ремонтпридатність.

2) Задача конструювання може полягати в розробці електромагнітних екранів, як окремих самостійних споруд, не пов'язаних окремим типом РЕЗ засобів, а призначених для захисту від зовнішніх полів або локалізації випромінювання цілого радіоелектронного комплексу для проведення спеціальних вимірів в умовах, наближених до умов вільного простору метою яких є збір та наладка апаратури.

Виходячи з умов ергономіки та естетики даний пристрій буде виготовлено в пластмасовому корпусі, пластмаса за своєю структурою не має екрануючих властивостей. Тому доцільно буде використати в даному випадку металізацію внутрішньої сторони корпусу.

Металізація поверхонь різних матеріалів для електромагнітного екранування набуває все більшого розповсюдження завдяки великій продуктивності та універсальності методів нанесення покриття. З існуючих методів нанесення покриття найбільш зручним є метод розпилення. Нанесення металу на підкладинку здійснюється пульверизацією розплавленого металу струменем повітря. Хімічний склад покриття

відрізняється від вихідного матеріалу, а мікроструктура покриття складається з нашарування різного розміру частинок метала та плівок окислів. В процесі утворення покриття розпилені частинки металу вдаряються з великою швидкістю об поверхню підкладки та деформуються, при цьому утворюється окисна плівка, властивості якої залежать від тривалості польоту частинок та активності металу. Від ударів нових частинок плівка руйнується й витісняється назовні, а частинки металу вступають в безпосереднє з'єднання, утворюючи міцний зв'язок з підкладкою та неперервну провідність покриття.

Нанести металічний шар можна на будь – яку міцну поверхню таких матеріалів, як:

- а) щільний папір
- б) картон
- в) деревина
- г) текстоліт
- д) пластмаса
- е) суха штукатурка
- є) цементовані поверхні і тому подібне.

Поверхня цих матеріалів для кращої адгезії повинна бути шорсткуватою, що досягається за допомогою піскоструменю. Папір, картон та тканини такої обробки не потребують. Нанесений шар металу тримається міцно в межах тих механічних навантажень, при яких не відбувається руйнування підкладки. Наприклад, при зминанні тканин шар металізації не порушується, але надлом металізованого паперу може призвести до порушення шару покриття.

Металізовані шари можуть бути різної товщини. Товщина шару не залежить від виду металу – покриття, а визначається властивостями підкладки. Кількість шару металу, що наноситься повинна відповідати фізико хімічними властивостями матеріалу підкладки, його деформаційними характеристиками. Для щільного паперу шар металу

повинен бути не більше $0,28 \text{ кг/м}^2$, для тканини – до $0,3 \text{ кг/м}^2$. Для жорсткої підкладинки кількість металу, що необхідно нанести істотно не обмежується, більш суттєві обмеження зумовлені масо габаритними характеристиками захисного електромагнітного екрана.

Найбільш розповсюдженим покриттям є цинк. Воно досить технологічно, забезпечує порівняно високу ефективність екранування та достатню для багатьох екранів механічну міцність. Такі ж високі ефективності можуть бути отримані при металізації цинком сухої штукатурки, пластмас, деревини та інших аналогічних матеріалів [19].

Середня ефективність екранування за допомогою металізації поверхні цинком може бути визначена з похибкою не більше $\pm 10 \text{ дБ}$ за емпіричною формулою:

$$\mathcal{E}_{\text{MET}} = 97 + 51 \lg d_0 - 20 \lg f,$$

де d_0 – кількість розпиленого металу, кг/м^2 ;

f – частота, МГц.

При цьому середньоквадратичне відхилення від середнього значення складає не більше 3 дБ.

Слід зазначити, що останній вираз по суті визначає ефективність вже реального екрана, так як при виконанні його металізації забезпечується достатня герметичність. Наприклад, для забезпечення товщини покриття 0,1 мм необхідно витратити приблизно $0,8 \text{ кг/м}^2$ цинку, що на частоті 10 МГц дає ефективність екранування більше 100 дБ.

Ефективність екранування алюмінієвими покриттями приблизно на 20 дБ та більше ніж цинковими.

В загальному випадку при інших рівних умовах ефект екранування металізованим шаром нижче, ніж цільним листком тієї ж товщини. Це пояснюється відмінністю хімічного складу покриття від структури вихідного металу, в результаті чого провідність покриття звичайно менше провідності самого металу.

При ручному методі нанесення металізованого шару та малих витратах металу (до $0,12 \text{ кг/м}^2$) товщина покриття виявляється нерівномірною, окремі

ділянки поверхні залишаються майже повністю прозорими, що призводить до різкого падіння загальної ефективності і майже виключає екранування магнітної складової поля. Ефективність екранування може бути підвищена до 100 дБ та більше, якщо збільшити витрати металу до 0,6...0,8 кг/м² та наносити його безпосередньо на підготовлену міцну основу.

Металізація поверхонь може успішно застосовуватись для окремих пристроїв, що монтуються в пластмасових корпусах.

До металізованих поверхонь можуть бути припаяні контакти для заземлення та підключення інших кіл.

Отже в даному пристрої ми вибираємо ручний метод нанесення металізації на внутрішні сторони корпусу та задньої кришки, так як пристрій являється мало серійним. Матеріал для металізації вибираємо цинк.

В даному пристрою окремим блоком являється фазочутливий випрямляч цей випрямляч складається з трьох високочастотних мікросхем, які потрібно захистити від внутрішніх електромагнітних випромінювань даного пристрою. Такими елементами, що є джерелами внутрішнього електромагнітного випромінювання є котушки індуктивності L1, L2, L3, L4 які виконують роль фільтрів в широкосмугових підсилювачах.

Вибір матеріалу для захисного електромагнітного екрану має полягати в наступних вимогах:

1) екран представляє собою зовнішній кожух блоку і повинен забезпечити:

- а) стійкість до вібрації;
- б) стійкість до ударів;
- в) ослаблення дії зовнішніх електромагнітних полів;
- г) локалізацію власних електромагнітних випромінювань
- д) відповідати естетичним та ергономічним вимогам.

Даним вимогам відповідають електромагнітні екрани виконані з листових металів. Їх характеристики приведені в табл. 7.4. На рис. 7.1 зображено типові частотні залежності:

характеристичних опорів повітря для полів електромагнітного (Z_{C0}), електричного (Z_E), магнітного (Z_M) випромінювачів та магнітного (Z_{C2M}) та немагнітного металів. На рисунку 7.2 зображено типові частотні залежності ефективності екранування електромагнітного поля немагнітним (A_{TH}) та магнітним (A_{TM}) металами, електричного поля немагнітним (A_{EH}) та магнітним (A_{EM}) металами та магнітного поля немагнітним (A_{MH}) та магнітним (A_{MM}) металами.

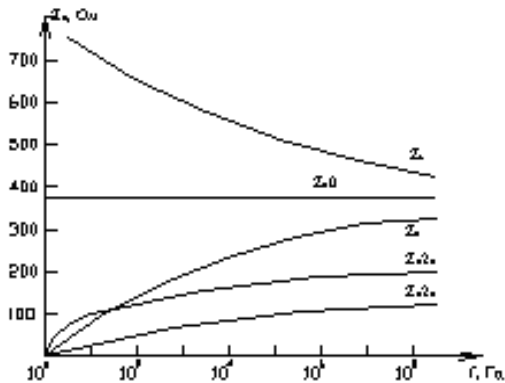


Рисунок 7.1 Типова частотна залежність характеристичних опорів повітря

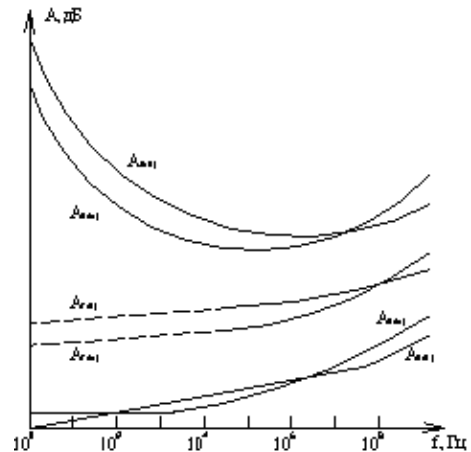


Рисунок 7.2 Типова частотна залежність ефективності екранування магнітними та немагнітними металами

При екрануванні електричних полів екрануючий ефект, який дорівнює нескінченності при $f = 0$, із зростанням частоти зменшується. Сутність електростатичного екранування полягає в замиканні електричного поля на металічну масу екрана і передачі електричних зарядів на землю або корпус РЕА.

Таблиця 7.4 – Характеристики листових металів

Параметр\матеріал	Мідь	Латунь	Алюміній	Сталь	Сталь	
Питомий опір, Ом/мм ²	0,0175	0,06	0,03	0,1	0,1	
Питома провідність	57*10 ⁴	16*10 ⁴	33*10 ⁴	10*10 ⁴	10*10 ⁴	
Відносна магнітна провідність μ	1	1	1	50	100	
Еквівалентна глибина проникнення на частоті, Гц	10 ²	6,7	12,4	8,8	–	1,54
	10 ³	2,1	3,9	2,75	–	0,49
	10 ⁴	0,67	1,24	0,88	–	0,154
	10 ⁵	0,21	0,39	0,275	–	0,049
	10 ⁶	0,067	0,124	0,088	0,0230	–
	10 ⁷	0,021	0,039	0,0275	0,0070	–
	10 ⁸	0,0067	0,0124	0,0088	0,0023	–

При екрануванні магнітного поля немагнітний екран в усьому частотному діапазоні діє як електромагнітний, тобто за рахунок поглинання енергії і за рахунок відбиття енергії від екрана. Магнітні екрани при постійному струмі діють як магнітостатичні, тобто по принципу замикання магнітного поля в екрані за рахунок підвищеної його електропровідності. З підвищенням частоти підвищується роль вихрових струмів і екран переходить в електромагнітний режим роботи.

На графіку частотної залежності ефективності екранування немагнітного і магнітного металів можна виділити три характерні зони:

1) в низькочастотній області 0-10 кГц магнітний екран працює як магнітостатичний і має кращі екрануючі властивості ніж екран з немагнітного металу.

2) в області середніх та високих частот екрани як з магнітного та немагнітного металів працюють в електромагнітному режимі. Однак в області середніх частот від 3–10 кГц до 1 МГц немагнітний екран ефективніше за магнітний.

3) в області високих частот магнітний екран ефективніший за немагнітний.

Такий розподіл пов'язаний з тим, що магнітні екрани, на відміну від немагнітних, краще поглинають енергію ніж її відбивають. Частоти 0,8 – 1 МГц є граничними, нижче яких затухання відбиття перевищує затухання поглинання, а вище – затухання поглинання перевищує затухання відбиття.

Такий розподіл пов'язаний з тим, що магнітні екрани на відміну від немагнітних краще поглинають енергію ніж її відбивають. Частоти 0,8 – 1 МГц є граничними, нижче яких затухання відбиття перевищує затухання поглинання, а вище – затухання поглинання перевищує затухання відбиття.

Однак застосування магнітних екранів приводить до великих електричних втрат в колі, що екранується в порівнянні з екранами з немагнітних металів.

Отже, оскільки в нашому випадку можна не враховувати електричні втрати, що можуть вноситись магнітним екраном в функціональний вузол, в якості матеріалу для виготовлення захисного екрана сталь тонколистову оцинковану ГОСТ 7118–54 з наступним рядом товщини: 0,35; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00.

Товщину листка сталі приймаємо $d = 0.35$ мм. Дана товщина забезпечить необхідні механічні характеристики захисного екрана.

Розрахункову формулу ефективності електромагнітного екранування, дБ, представимо у вигляді [19].

$$S = A + R + B,$$

де A – затухання за рахунок поглинання, викликане тепловими втратами від збудження вихрових струмів в металі.

R – затухання за рахунок відбиття електромагнітної енергії від границі діелектрик – метал для основної хвилі.

B – затухання електромагнітної хвилі за рахунок багаторазових затухаючих внутрішнього відбиття в стінці екрана для решти складових хвилі.

Враховуючи, що еквівалентну глибину проникнення можна визначити за формулою:

δ – еквівалентна глибина проникнення

$$\delta = \sqrt{2/\omega\mu\sigma},$$

отримуємо наступні формули для розрахунку:

Затухання за рахунок поглинання, викликане тепловими втратами від збудження вихрових струмів в металі визначаємо за формулою:

$$A = 8,69 \cdot d/\delta,$$

Затухання за рахунок відбиття електромагнітної енергії від границі діелектрика:

$$R = 20 \lg \left| \frac{Z_P}{4 \cdot Z_{MET}} \right|,$$

де Z_d – характеристичний опір повітря електромагнітному полю.

Z_{met} – характеристичний опір метала електромагнітному полю, Ом.

$$Z_{MET} = \sqrt{\omega\mu/\delta},$$

Розрахунок для затухання електромагнітної хвилі за рахунок багатократних затухоючих внутрішнього відбиття в стінці екрана для решти складових хвилі проведемо за формулою:

$$B = 20 \lg(1 - \exp(-2/\delta)),$$

Визначаємо еквівалентну глибину проникнення:

$$\delta = \sqrt{2/2 \cdot 3,14 \cdot 500 \cdot 10^{11}} = 0,011 (\text{Вм} / \text{м}^2)$$

Еквівалентна глибина проникнення дорівнює 0,011

Визначаємо характеристичний опір метала електромагнітному полю:

$$Z_{MET} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 500 \cdot 10^6 \cdot 50}{0,011 \cdot 10^{-6}}} = 3777,92 (\text{Ом.})$$

Характеристичний опір метала електромагнітному полю дорівнює – 3777,92 Ом.

Визначаємо затухання за рахунок поглинання, викликане тепловими втратами від збудження вихрових струмів в металі.

$$A = \frac{8,69 \cdot 0,5}{0,011} = 395.$$

Затухання за рахунок поглинання дорівнює – 395.

Визначаємо затухання за рахунок відбиття:

$$R = 20 \lg \left| \frac{377}{4 \cdot 3777,92} \right| = 32,5 \text{ Ом.}$$

Затухання за рахунок відбиття дорівнює – 32,5 Ом.

Оскільки $A > 4$ то величиною B можна знехтувати так як при цьому $B \sim 0$.

Отже розрахункова величина ефективності екранування складає, дБ

$$S = 395 + 32.5 = 427,5 (\text{раз})$$

Ефективність екранування складає 427 разів.

Це повністю задовольняє нашим вимогам.

Отже можна вибрати форму та висоту екранів: форма екранів буде прямокутна коробчастого типу.

Враховуючи висоту планарних елементів над якими будуть знаходитись екрани можна визначити їхню висоту:

Висота – 6 мм.

Довжина та ширина екрану, залежить від розміщення екрануємих елементів.

Зовнішній вигляд встановлення екранів на плату та розміщення елементів під ними вказано на складальному кресленні плати.

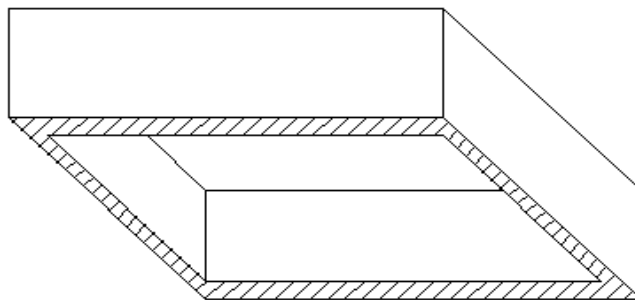


Рисунок 7.3 Ескіз поверхневого екрану

7.5 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ

Розроблюваний пристрій повинен бути зручним при проведенні робіт, тобто він повинен бути переносним і постійно при роботі знаходитися в руках. Форму розроблюваного пристрою обираємо схожою до аналогів (RD 630).

До складу вузлів із яких компонується пристрій можна віднести дві широкосмугові незалежні антени, які будуть кріпитися зверху з тильної сторони на роз'ємах і при бажанні можуть від'єднуватися.

Виходячи з цього, виконаємо виріб у формі паралелепіпеда, ескіз форми якого зображено на рис. 7.4.

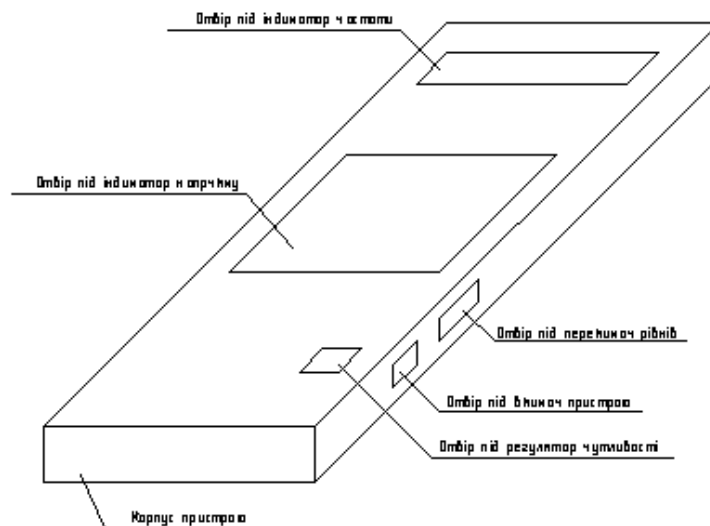


Рисунок 7.4 Ескіз форми пристрою

Під компонуванням розуміють розміщення елементів приладу, що забезпечує оптимальне розташування складових частин з боку електромагнітного, теплового та інших впливів, це визначається внутрішнім компонуванням. Зовнішнє ж компонування визначає форми та дизайн приладу, а також порядок розташування всіх органів керування.

Вимоги ТЗ можуть бути уточнені або змінені в конструкторському розділі, так як розміри корпусу залежать насамперед від розмірів ДП.

Для забезпечення вимог інженерної естетики форма корпусу буде прямокутна, що надаватиме конструкції художнього строгого вигляду.

Обрана висота корпусу спів зміряється з висотою блоку плата–індикатор. Крім того висота корпусу пристрою має бути такою, щоб зручно вміщуватись в руці дорослої людини (так як ніяких кріплень для переносу пристрою на корпусі не передбачено). Отже висота основи корпусу у 24 мм задовольняє і вище наведеним вимогам, і вимогам у ТЗ. Загальна висота корпусу в складеному вигляді буде становити 37 мм.

Ширина та довжина корпусу приймалися з урахуванням відповідних розмірів друкованої плати, а також зручності розташування органів керування пристрою. Так як довжина друкованої плати дорівнює 100 мм; а ширина друкованої плати 60мм. а також враховуючи що елемент живлення типу(крона) буде знаходитись в середині корпусу, а з верхньої тильної сторони будуть розміщені внутрішні частини роз'ємів під антени можна визначити розміри корпусу.

Довжина – 165мм.

Ширина – 70 мм.

Висота – 28 мм.

Ці параметри повністю задовольняють технічному завданню.

Розробку передньої панелі проводимо з урахуванням вимог до ергономіки та технічної естетики конструкції пристрою. Форма передньої панелі повинна бути простою і виразною, окремі її частини повинні підкреслювати її функціональне призначення.

У зв'язку з цим індикатор напряму повинен займати центральне положення, так як він є головним органом відображення інформації, за яким постійно спостерігає оператор, контролюючи процес роботи пристрою, а всі інші елементи повинні доповнювати його загальну форму.

Симетрія підкреслює статичність та завершеність рішення. Тому при можливості всі елементи передньої панелі бажано зробити в певній симетрії відносно центральної вертикальної осі.

Елементи індикації частоти (рідкокристалічний дисплей) розмістимо у верхній частині пристрою. Всі інші органи керування повинні бути розміщені за їхнім функціональним призначенням.

Органи керування повинні бути вибрані для забезпечення максимальної зручності по антропологічним показникам користувача, а саме відстань між ними не повинна бути менше 8 мм. для забезпечення зручності.

Вмикач пристрою розміщується внизу, з лівої тильної сторони, так його буде зручніше вмикати і вимикати великим пальцем лівої руки, а регулятор чутливості доцільно буде розмістити з правої сторони для того, щоб при роботі тримаючи пристрій в лівій руці було зручніше виставляти чутливість пальцями правої руки. П'єзокерамічний перетворювач знаходиться в середині пристрою. Для кращого проходження сигналу звукової індикації, сітчастий отвір знаходиться внизу з правої тильної сторони. Ескіз передньої панелі приведено на рис. 7.5.

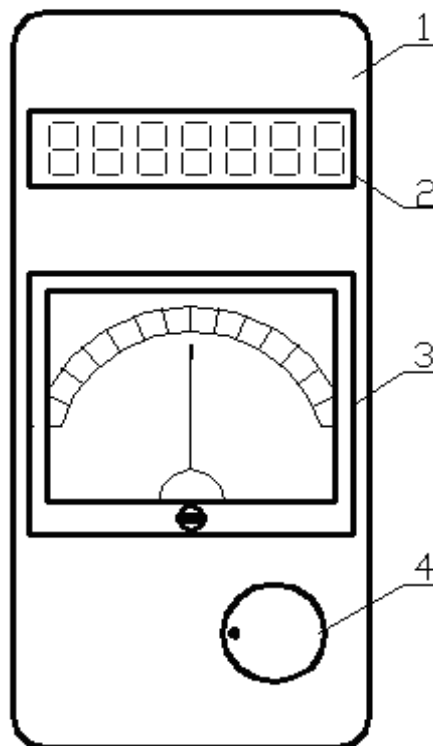


Рисунок 7.5 Лицева панель виробу: 1 – лицева частина корпусу; 2 – індикатор частоти; 3 – індикатор напрямку; 4 – регулятор чутливості.

Внутрішня компоновка індикатора поля з визначенням напрямку повинна бути виконана з дотриманням вимог забезпечення електромагнітної,

теплової та електричної сумісності, а також механічної міцності та ремонтпридатності.

Конструкція приладу складається з декількох частин: індикатора частот, індикатора напряду, плати пристрою, елемента живлення, внутрішніх частин роз'ємів під антени, резисторного регулятора потужності та вмикача.

Функціональні блоки кріпляться за допомогою гвинтових з'єднань, а між собою з'єднуються за допомогою контактопровідних резинок та плоских провідників.

Усі радіоелементи розміщуються на друкованій платі.

Закріплюється друкована плата до корпусу за допомогою гвинтів.

Індикатор напряду закріплюється до корпусу за допомогою гайок.

Деталі корпусу виготовлено із фенопласту ЖІ-40 чорного кольору за ГОСТ5689-70 методом гарячого пресування згідно ГОСТ21.403-82.

Ескіз внутрішнього компонування пристрою представлено на рис. 7.6.

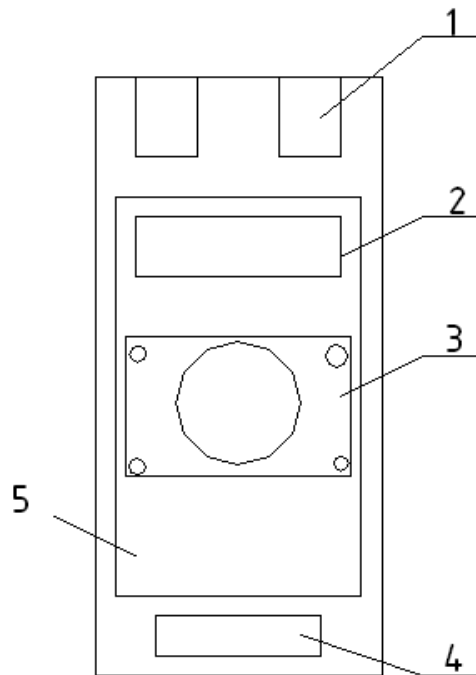


Рисунок 7.6 Ескіз внутрішнього компонування пристрою: 1 – внутрішня частина високочастотних роз'ємів; 2 – індикатор частоти; 3 – індикатор напряду; 4 – елемент живлення; 5 – плата пристрою.

Для більшої зрозумілості рис. 7.7 представлено внутрішню компоновку пристрою у тривимірному варіанті зі збереженням заданих позицій.

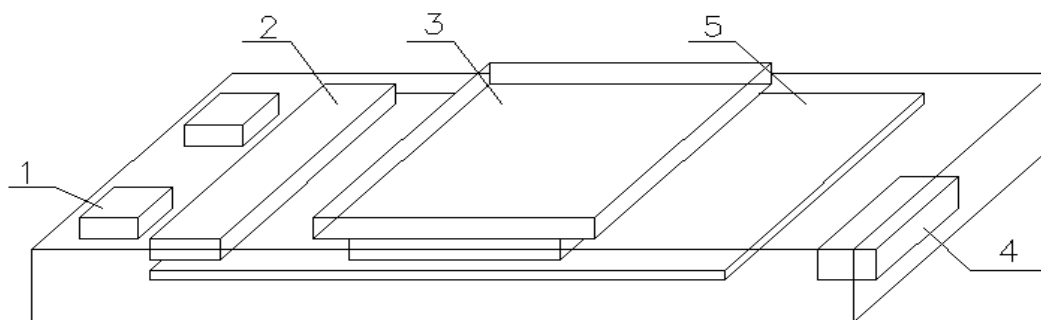


Рисунок 7.7 Тривимірний ескіз внутрішнього компонування пристрою

Основним завданням при внутрішньому компонуванні є врахування вимог забезпечення електромагнітної, теплової, механічної сумісності; електричної міцності та ремонтпридатності.

Всі активні елементи, що виділяють тепло, рівномірно розподіляються по внутрішньому об'єму конструкції, це забезпечує рівномірний розподіл теплового поля. Електрична міцність забезпечується зазорами між платою та корпусом. Ремонтпридатність визначають методи кріплення складових частин та можливість швидкого демонтажу та збирання пристрою.

Корпус складається з двох частин: основи та верхньої кришки. Плата з'єднується з індикатором частоти за схемою, що наведена на рисунку 7.8.

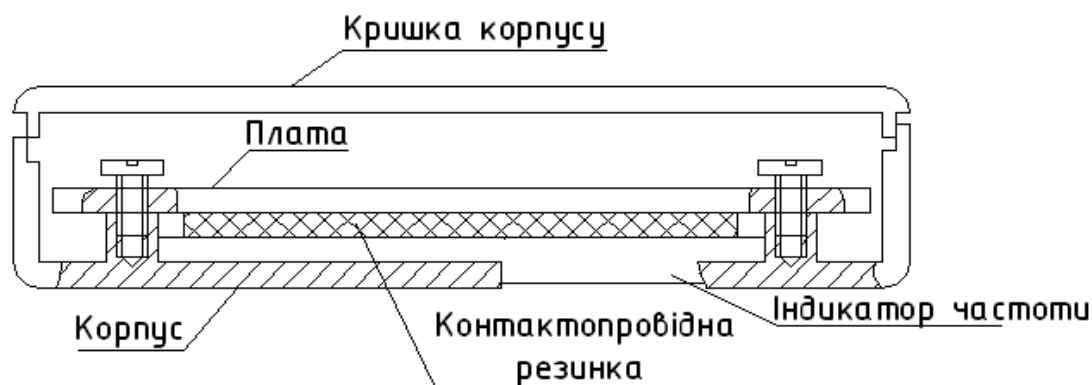


Рис. 7.8 – Схема з'єднання індикатора частоти з платою

Рідкокристалічний індикатор частоти вставляється у корпус з внутрішньої сторони в спеціальний роз'їм, зверху на нього встановлюється пластмасова рамка яка полегшує встановлення контактопровідної резинки і передає сигнал з плати на індикатор. Зверху встановлюється плата пристрою. Плата прикручена шурупами до корпусу в спеціальні пластмасові стійки.

Індикатор напряму встановлюється з зовнішньої сторони пристрою. За своєю структурою цей індикатор тільки частково поміщується в середині корпусу, частина його знаходиться ззовні що надає пристрою більшої висоти. В корпусі передбачено отвори для кріплення цього пристрою. В комплекті цього пристрою передбачено 4 гвинти на які після встановлення накручуються гайки. Схема встановлення індикатора напряму представлена на рис. 7.9.

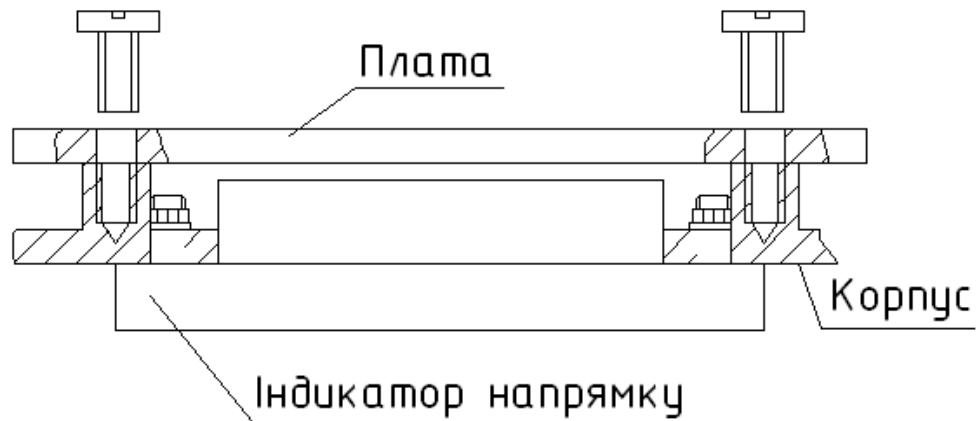


Рисунок 7.9 Схема встановлення індикатора напряму

Із вище представленого можна зробити висновок конструкції носійних елементів пристрою. Між платою та індикатором знаходяться пластмасові стійки з внутрішньою різьбою, до яких і прикручуються плата гвинтом, а індикатор кріпиться до корпусу за допомогою гайок. Цей весь модуль кріпиться до корпусу шістьма гвинтами. Індикатор та плата з'єднуються між собою шлейфовим з'єднанням, що під'єднується до роз'ємів, які розташовані на платі та на індикаторі.

8 ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті розроблено портативний детектор роботи радіозасобів противника з визначенням напрямку на джерело випромінювання. Прилад призначений для використання у військових підрозділах, розрахунково-спостережних групах, підрозділах охорони об'єктів та мобільних груп забезпечення безпеки.

Під час проєктування обґрунтовано актуальність розробки для умов сучасної війни, де радіозв'язок противника є важливим демаскувальним фактором. Детектор дозволяє оперативно визначати наявність активних засобів радіозв'язку противника в діапазоні від 50 МГц до 1500 МГц та орієнтовно встановлювати напрямок на передавач, що підвищує ситуаційну обізнаність і безпеку особового складу.

Проведено аналіз необхідності проведення розробки, вказано на загальні проблеми розробки пристрою та пояснено принцип роботи фазочутливого випрямляча за допомогою якого проводиться визначення напрямку, також у цьому розділі вказано на існуючі аналоги та їхні характеристики.

Розроблено загальну структурну схему виробу де викладено принцип роботи виробу; оформлена, доопрацьована та проаналізована із конструкторських позицій принципова електрична схема, приведено принцип роботи на рівні принципової схеми; переліку зазначених вище питань проведено такі технічні розрахунки: аналіз теплового режиму виробу (споживана потужність не більше 2Вт, а максимальний перегрів корпусу не перевищує 20⁰С); розрахунки друкованої плати: визначено основних; на основі аналітичного методу визначено габарити плати індикатора поля (100x60, коефіцієнт заповнення – 3) обґрунтовано необхідний клас точності та технологію виготовлення (3-й клас, хімікогальванічний метод); визначено зони розташування основних компонентів виходячи із їх функціонального призначення; проведено конструкторські розрахунки друкованої плати, на

основі САПР РСAD проведено трасування провідників друкованої плати індикатора поля із 100% виходом та розроблене складальне креслення плати), також вказано на особливості трасування виробу та розміщення компонент на платі, розраховано діаметри монтажних та перехідних отворів та контактних майданчиків для усіх компонент, розташованих на платі проаналізована надійність (середній час безвідмовної роботи близько 6 тис. годин в лабораторних умовах), наведено рекомендації по конструктивним заходам захисту від дестабілізуючих факторів та забезпеченню ремонтпридатності виробу виходячи із загальних висновків по розробленій конструкції та проведених технічних розрахунків.

Таким чином, основні завдання дипломного проєкту виконано.

Розроблений пристрій може слугувати робочим прототипом для подальшого вдосконалення та розширення функціональних можливостей. Перспективними напрямками доопрацювання є збільшення дальності виявлення, розширення робочого частотного діапазону, застосування цифрової обробки сигналів та оптимізація антенної системи.

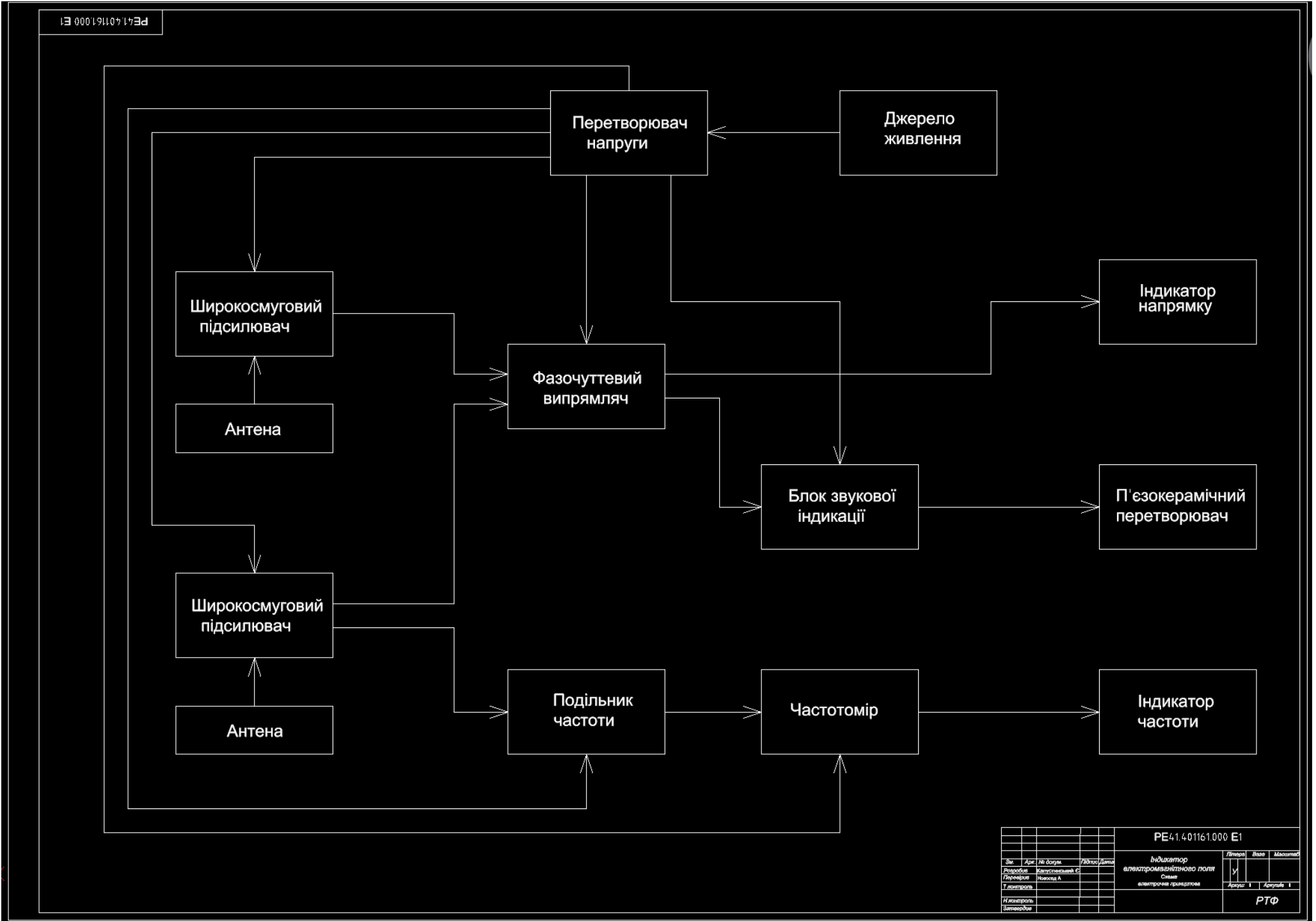
Отримані результати підтверджують практичну цінність розробки та можливість її подальшої адаптації для використання у підрозділах оборони та безпеки.

9 ЛІТЕРАТУРА

1. Аналоговые электроизмерительные приборы: Учебное пособие для вузов. – 1991. – 451с.
2. Алиев Т.М., Хачатуров А. А. Измерительная техника.
3. Граф Р. Энциклопедия электронных схем.
4. Микросхемы для импульсных источников питания. Справочник.
5. Дымова А. И., Альбац М. Е., Бонч – Бруевич А. М. Радиотехнические системы: Учебник для вузов. – М.: Сов. Радио, 1975.–440с.
6. Пестряков В. Б., Кузенков В. Д. Радиотехнические системы/ Учебник для вузов. – М: Радио и связь 1985. – 376 с.
7. Финкельштейн М. И. Основы радиолокации: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1983. – 536 с.
8. <http://www.Suritel.ru>
9. <http://www.analog.com>
10. Парфенов Е. М., Камышная Э. Н., Усачов В. П. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие для высших учебных заведений – М.: Радио и связь, 1989.
11. Ненашев А. П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учебник для радиотехнических спец. вузов – М.: Высшая школа, 1990
12. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / Под ред. Якубовского С. В. – М.: Радио и связь, 1989.
13. Лавриненко В. Ю. Справочник по полупроводниковым приборам – К.: Техніка, 1984.
14. Белинский В. Т., Гондюл В. П., Грозин А. Б. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА – К.: Вища школа, 1992.
15. Варламов Р. Г. Компоновка радиоэлектронной аппаратуры – М.: Советское радио, 1975.
16. www.assembly.nm.ru – методи пайки та встановлення елементів поверхневого монтажу.

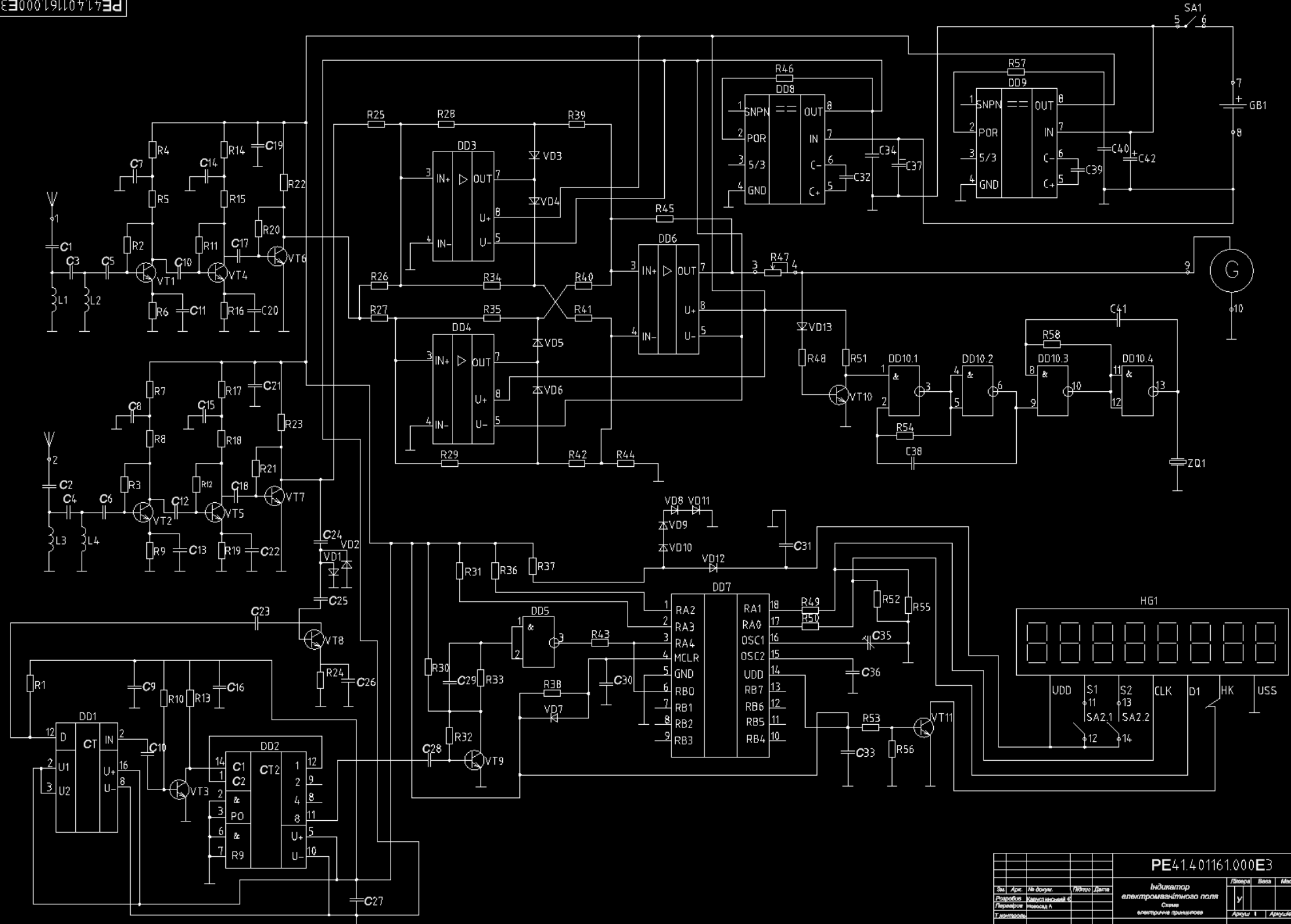
17. Партала О. Н. Радиокомпоненты и материалы: Справочник – К.: Радиоаматор, 1998.
18. Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры – М.: Высшая школа, 1989.
19. Волин М. Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. – 2-е издание переработано и доп. – М.: «Радио и связь», 1981. – 296 с.
20. Сотсков Б. С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники – М.: Высшая школа, 1970.
21. Ткачук К.Н. і ін. Довідник по охороні праці на промисловому підприємстві. – К.: Техніка, 1991.
22. ДСН 3.3.6.042–99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
23. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
24. СНиП II–4–79. Нормы проектирования. Природное и искусственное освещение. – М., 1980.
25. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – Л., 1976.
26. Методические указания по разработке вопросов охраны труда в дипломных проектах студентов факультетов: радиотехнического, приборостроительного, электроэнергетического, электроприборостроительного и вычислительной техники, электроакустического и электронной техники / Сост.: А.Г. Степанов, А.В. Слонченко, Р.В. Сабарно. – Киев: КПИ, 1988. – 58 с.
27. Крылов В.А., Юченкова Т.В. Защита от электромагнитных излучений. – М.: Советское радио, 1972. – 216 с.
28. Егорченков В.А., Югов А.М. Расчет и проектирование естественного освещения зданий. – Макеевка, 2002. – 104с.

ДОДАТКИ



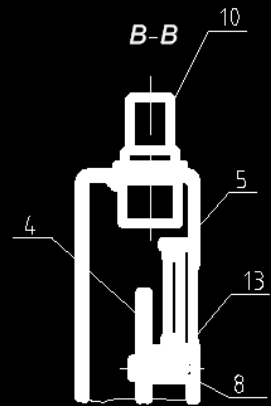
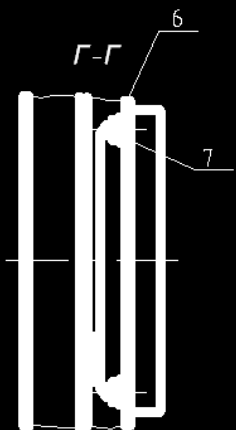
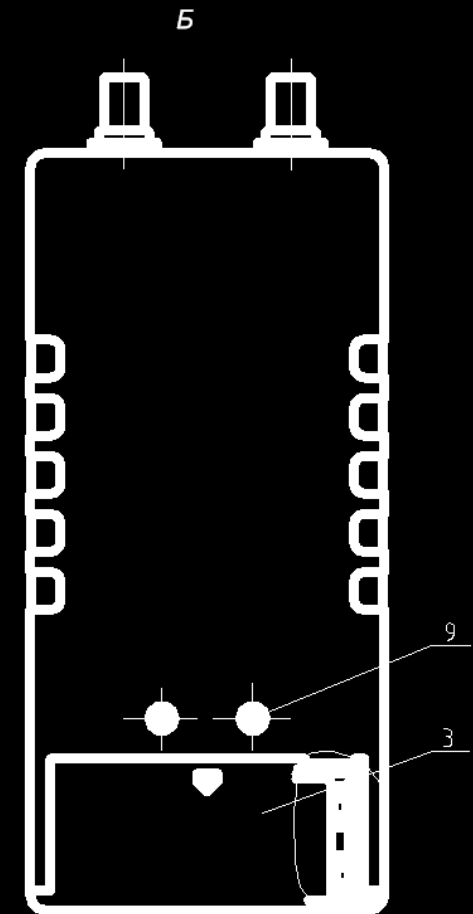
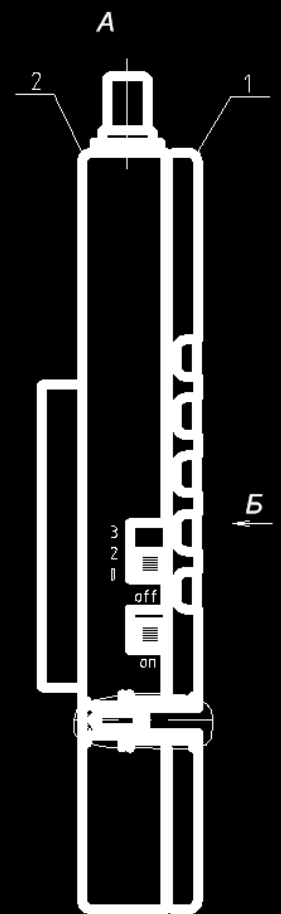
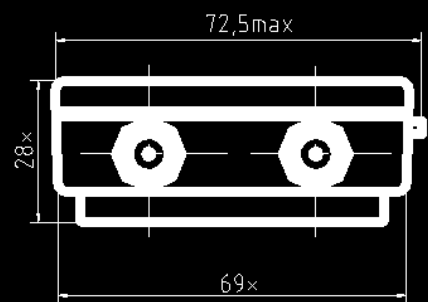
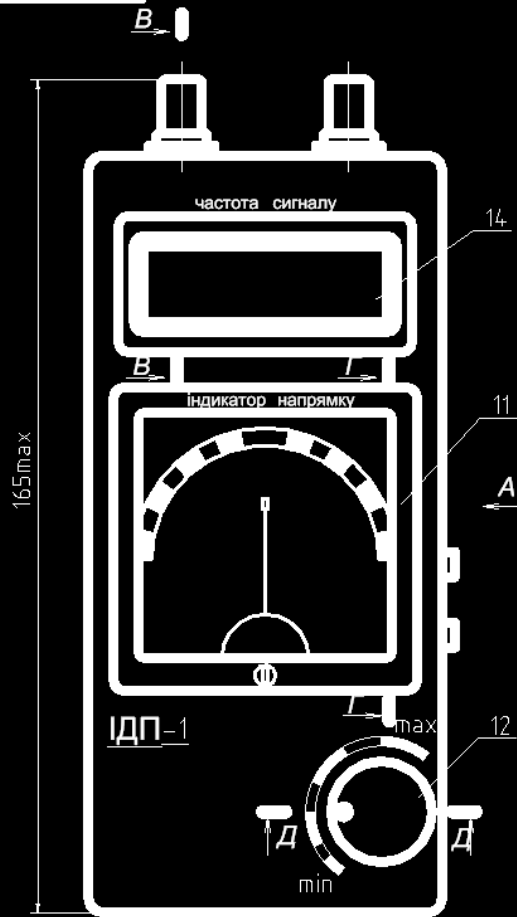
PE41.401161.000 E1												
Знак	Акс.	№ докум.	Розроб.	Калібр.	Датум	Індикатор електромагнітного поля				Літера	Висл.	Масштаб
			Горобець	Калібрівський С		Смачів				У		
			Горобець	Новосад А		електронна приладовна				Аксус	Аксус	
			Т.дистанція									
			Н.Іванович									РТФ
			Ватерман									

PE41.401161.000E3



PE41.401161.000E3				Индикатор электромагнитного поля			Листы	Всего	Масштаб
Экз	Арх.	Изм.	Объём	Годично	Датум	У			
Разработчик	Валерий Михайлович С.								
Проектировщик	Николай А.								
Технолог									
Исполнитель									
Специалист									
							Архив 1	Архивы 0	
							РТФ		

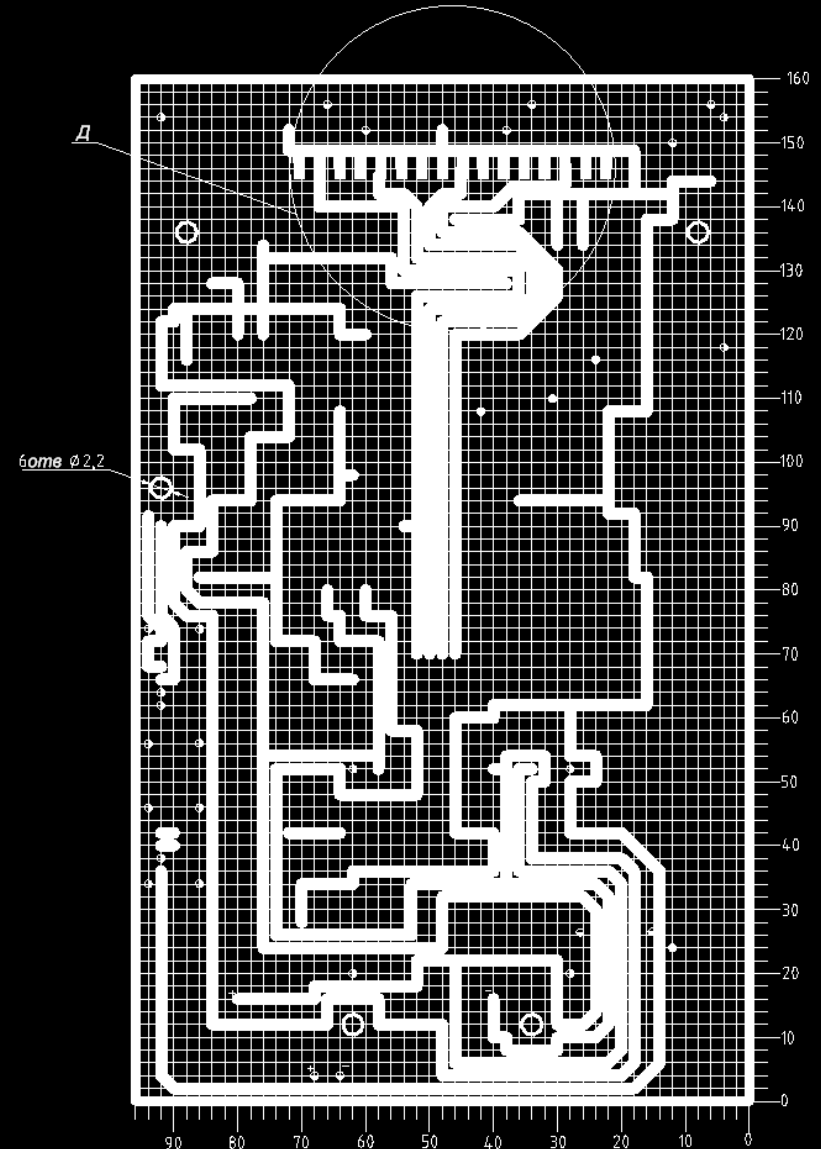
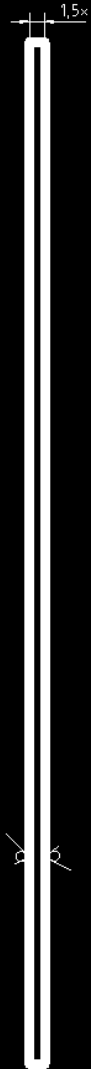
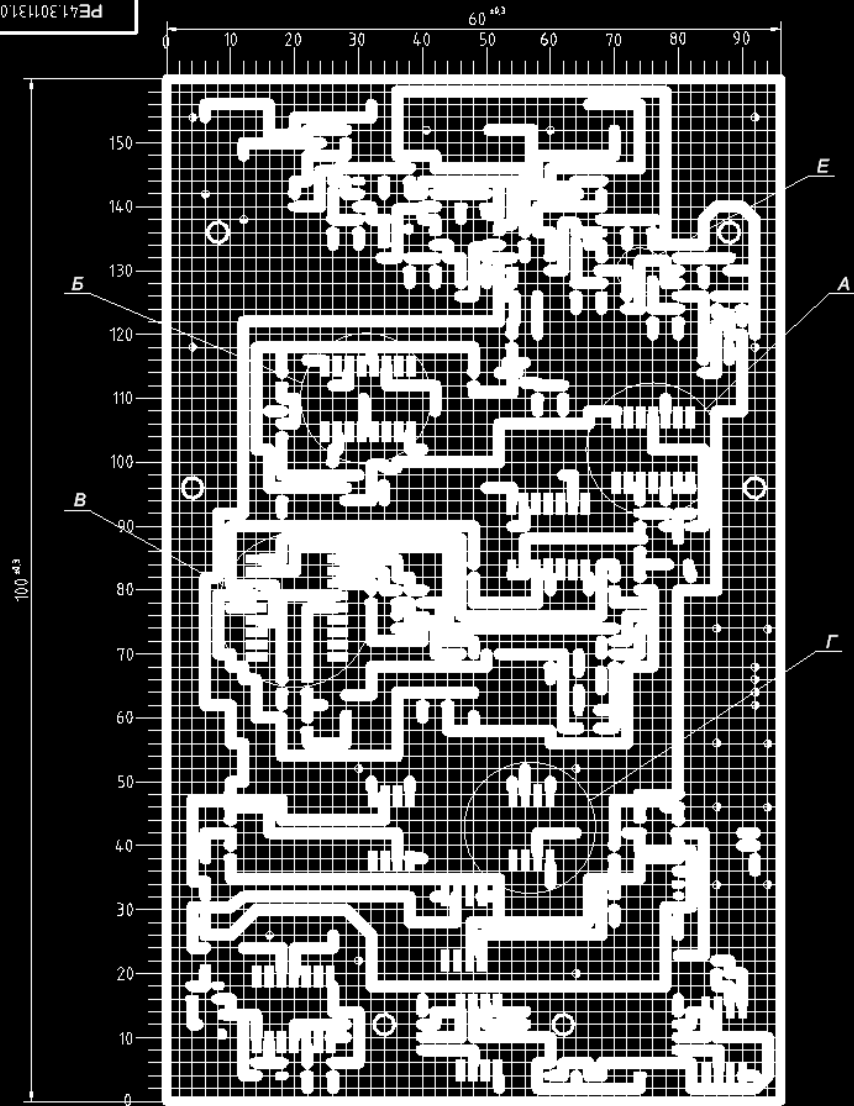
PE41.401161.002 СК



1.× Розміри для довідок
 2. Технічні вимоги монтажу по ГОСТ 23584-79

					PE41.401161.001 СК		
Стр.	Арс.	№ докум.	Наймк.	Діагн.	Індикатор електромагнітного поля		
Розробив	Калитковський С				У	0.3	2:1
Легендував	Коваленко А				Складальне креслення		
Контролював					Архив		
Затвердив					РТФ		

PE41.301131.000

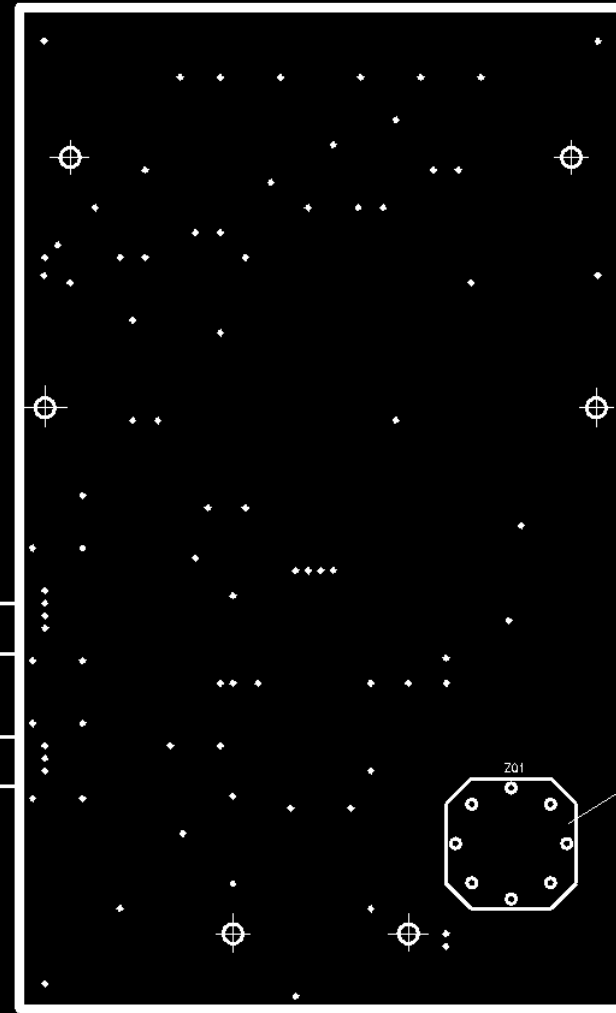
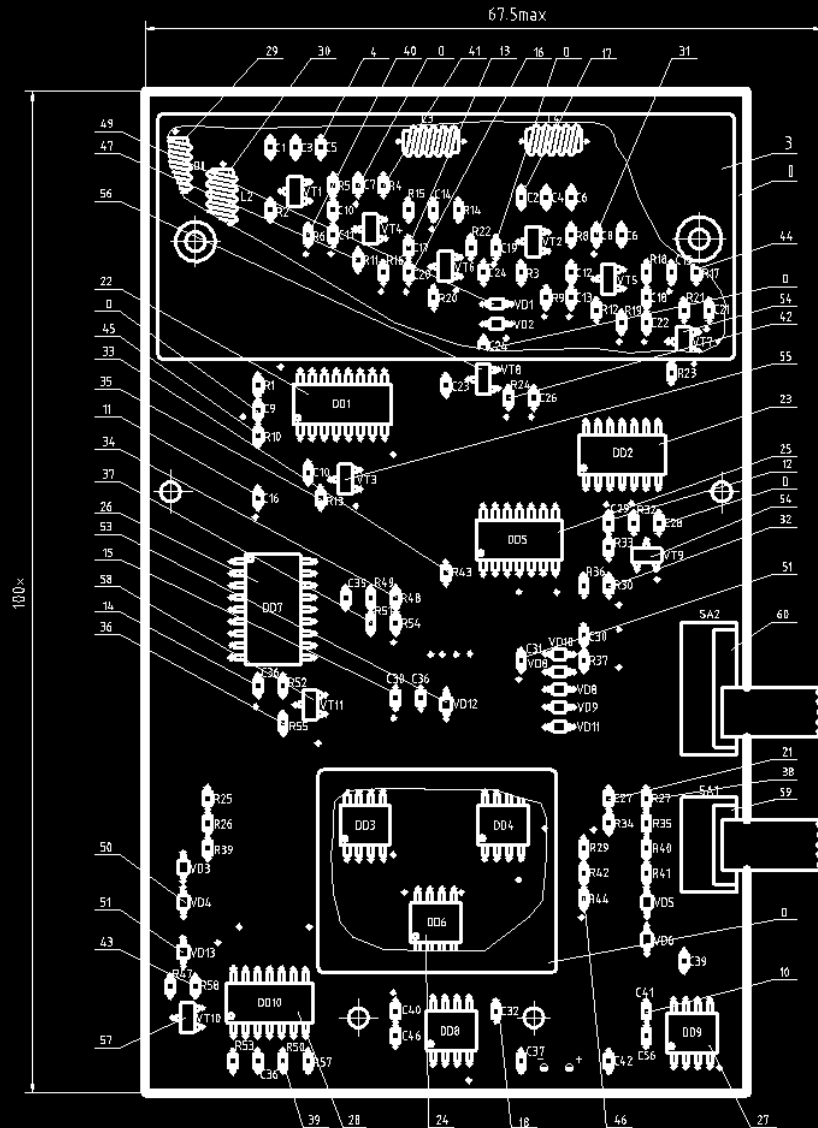


Позначення отвору	Діаметр отвору мм.	Діаметр контактного майданчика мм.	Наявність металізації	Діаметр зенковки мм.	Кількість
	0.6 ^{+0.06}	1.2	так	0.8 ^{+0.2} × 100°	65
	1.2 ^{+0.06}	2.4	так	1.6 ^{+0.2} × 100°	20
	1.5 ^{+0.06}	2.2	так	2.0 ^{+0.2} × 100°	12
	2.2 ^{+0.06}	-	немає	-	6

1. «Розміри для довідок»
2. Плату виготовити комбінованим методом.
3. Плата повина відповідати ОСТ 4.077.000
4. Крок координатної сітки 0.625 мм.
5. Ширина друкованих провідників не менше 0.25мм., у вузьких місцях 0.15 мм.
6. Мінімальна відстань між провідниками 0.25мм., у вузьких місцях 0.2мм.
7. Невказані граничні відхилення між осями двох отворів 0.1мм.
8. Маркувати фарбою ТНПФ біла ТУ 2902-359-90 шрифт 2 по НО 010.007.
9. Інші технічні вимоги по ОСТ 4.ГО.070.014.

PE41.301131.000				
Плата		Толеранс	Виса	Масштаб
		у	0,002	4:1
Стеклотекстоліт СФ2-2-55				
ГОСТ 25882-88				
РТФ				

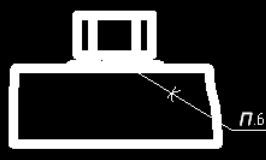
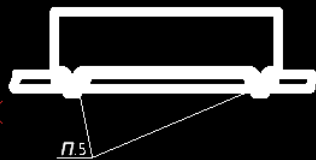
PE4.1.4.01161.002 СК



Установка деталі поз. 2, 3

Установка деталі поз. 61

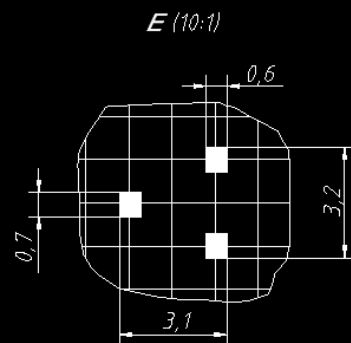
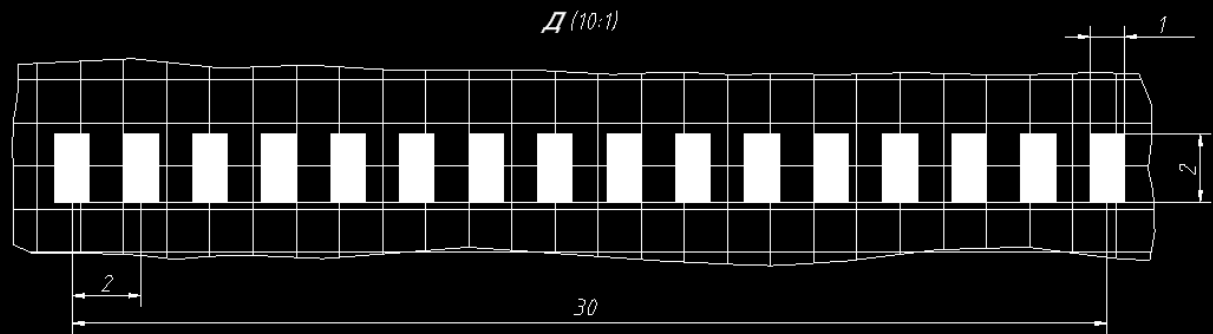
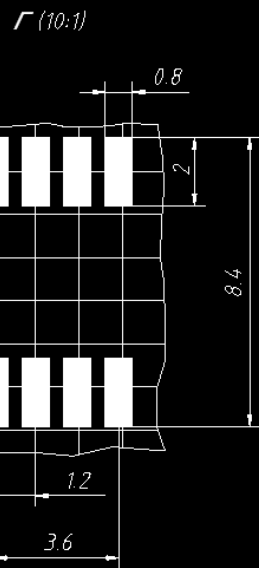
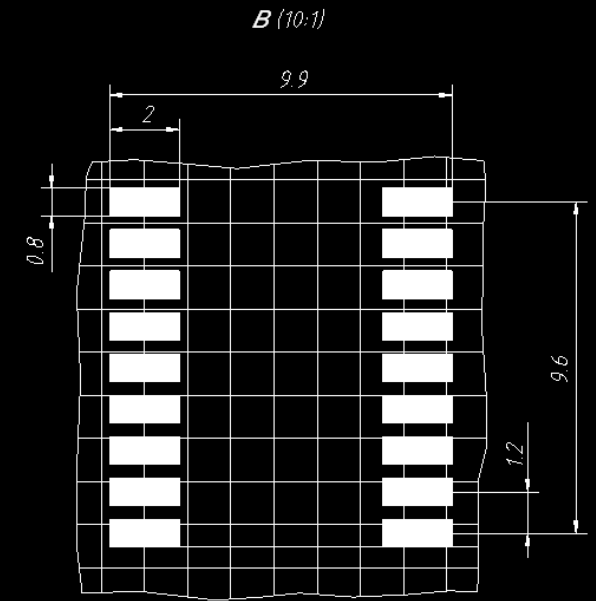
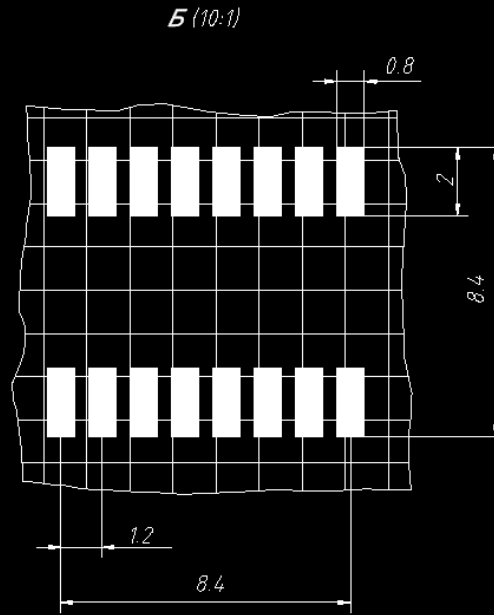
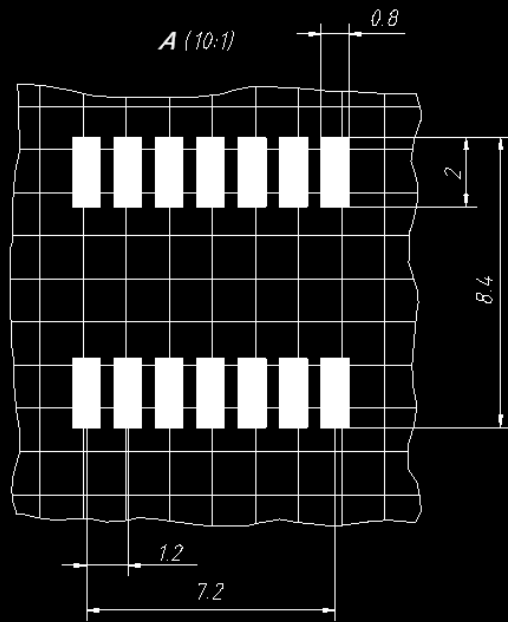
Установка елементів поз. 4, 28, 31, 58



1. розміри для довідок
2. Установку елементів виконувати по ОСТ4, ГО. 010. 030
3. Плата повина відповідати ГОСТ 23752-88.
4. Невказані гранично допустимі відхилення між всіма двома отворами 0.1 мм.
5. Припой ПОС 61 ГОСТ 21930 - 76.
6. Клей ВК-9 по ГОСТ 20.39.4.05 - 84
7. Маркувати фарбою ТНГФ біла ТУ 2902-359-90 шрифт 2 по НО.010.007.
8. Інші технічні вимоги по ОСТ 4ГО.070.015.

PE4.1.4.01161.002 СК					Питання	Відповідь	Масштаб
Плата					✓	DD	4:1
Складальне креслення							
					РТФ		
См.	Арх.	Ді. Абуша	Голов. Демт.	Дет.			
Розробка	Малунинський С.						
Пояснення	Соловйов А.						
Т. доради							
Н. контроль							
В. контроль							

PE41301131.000

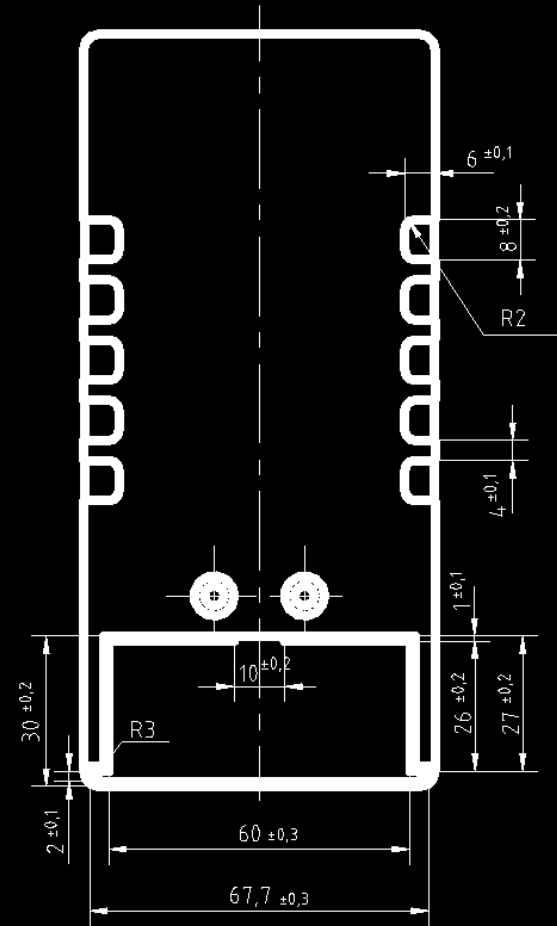
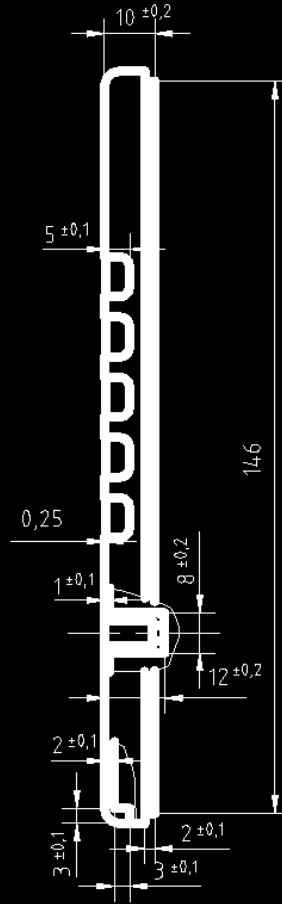
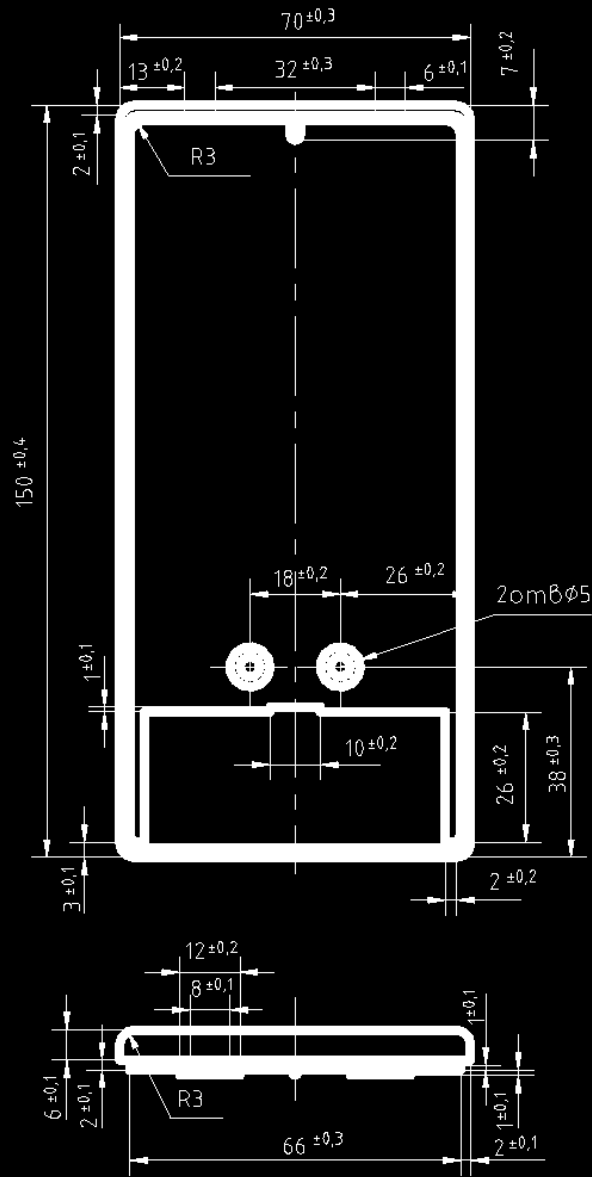


Изм.	Апр.	№ докум.	Год изд.	Лист
				2

PE41301131.000

PE41.301151.002

6,3

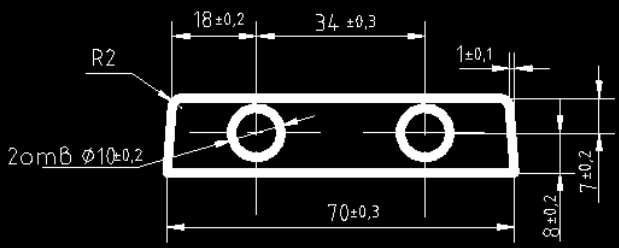
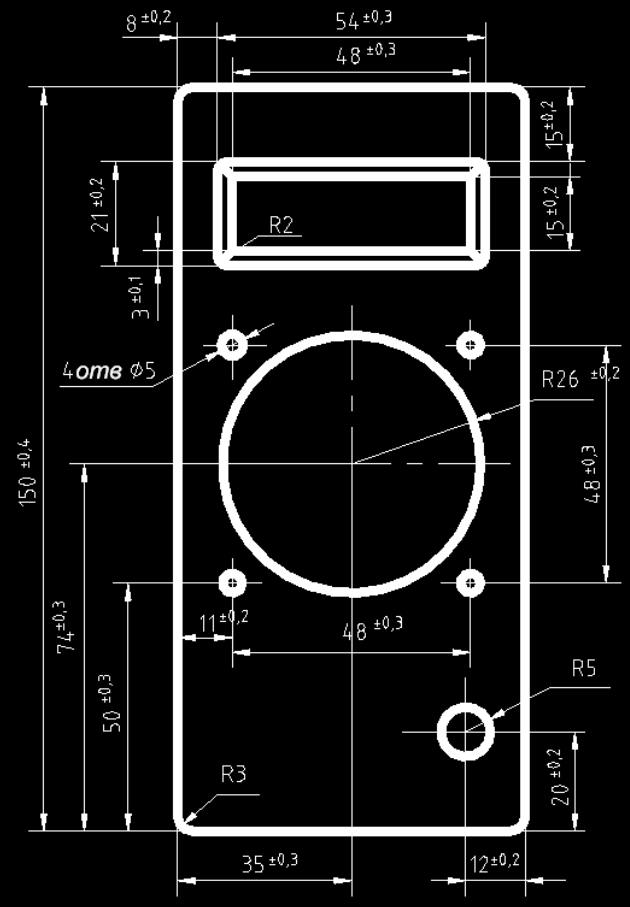
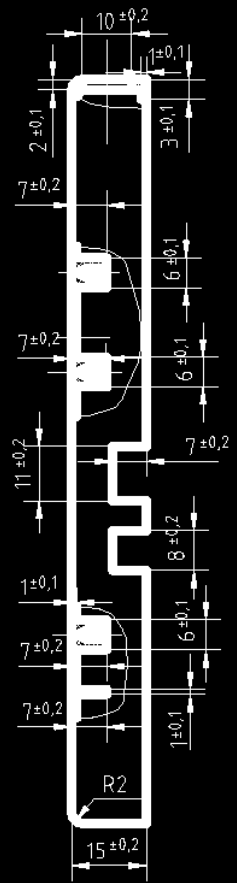
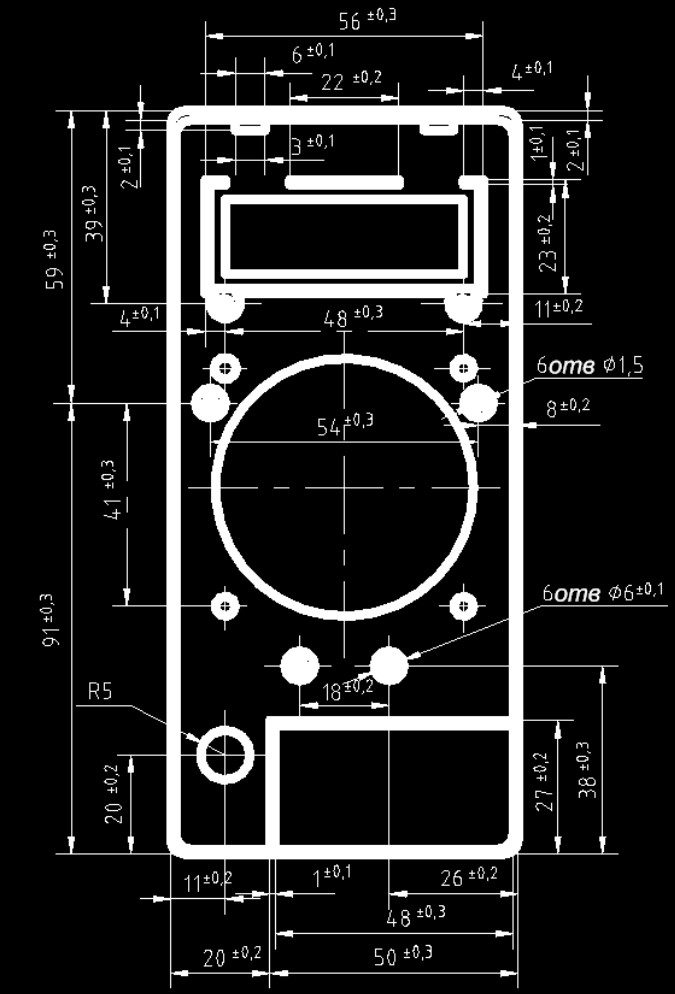


1. Невказані граничні відхилення розмірів: отвори - НВ, вали - НВ, інші - IT8/2
2. Невказані глибинні радіуси 1 мм.
3. Невказані ливарні ухили 1°
3. Допускаються сліди виштовхувачів до 0,3мм.

				PE41.301151.002			
Зад.	Акс.	№ докум.	Титул	Дата	Листів	Всього	Місця
Розробка	Світлана Іванівна Б.						
Проєкція	Новосад А.						
Т. контролю							
Матеріал							
Виробник							
				Корпус			
				Фенопласт ЖІ-50			
				ГОСТ 5589-78			
				РТФ			
				2:1			

PE41301151.001

6,3



1. Невказані граничні розміри отворів - R9, інші - IT9/2.
2. Невказані лінійні радіуси 0 мм.
3. Невказані ливарні ухили 1°.
3. Допускаються сліди виштовкування до 0,3мм.

					PE41.301151.001		
№	Дат.	На Об'єкт	Вид	Діаметр	Укриття	Висота	Масштаб
Габарити		Висота	Висота				2:1
Габарити		Висота					
Габарити		Висота					
					Фенопласт ЖД-10 ГОСТ 5689-78		
					РтФ РТФ		

Поз. Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори „Evox Rifa” +/-10%		
C1, C2	X7R – 10 мФ	2	
C3, C4	X7R – 10 мФ	2	
C5, C6	X7R – 150 пФ	2	
C7, C8	2000VDC – 10 нФ	2	
C9	X7R – 0,022 мкФ	2	
C10,	X7R – 10 мФ	1	
C11	X7R – 7 мФ	1	
C12	X7R – 10 мФ	1	
C13	X7R – 7 мФ	1	
C14,C15	2000VDC – 10 нФ	2	
C16	X7R – 0,047 мФ	1	
C17,C18	X7R – 5 мФ	2	
C19	X7R – 10 нФ	1	
C20	X7R – 7 мФ	1	
C21	X7R – 10 нФ	1	
C22,C23	X7R – 7 мФ	2	
C24	2000VDC – 1нФ	1	
C25	X7R – 1000 мФ	1	
C26	X7R – 0,01 мФ	1	
C27	X7R – 0,047 мкФ	1	
C28	X7R – 0,1 мкФ	1	
C29	X7R – 0,033 мкФ	1	
C30	X7R – 6,8 мкФ	1	
C31	X7R – 100 мкФ	1	
C32	X7R – 47 мкФ	1	
C33	X7R – 100 мкФ	1	

					PE41.430112.000 ПЕ			
Змн	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	Індикатор електромагнітного поля Перелік елементів	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Капустинський				У	1	5
Перевірів		Новосад А.				РТФ		
Т. Контроль								
Н.Контроль								
Затвердив								

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
C34	X7R – 10 Ф +/-10%	1	
C35, C36	X7R – 6 Ф +/-10%	2	
C37	X7R – <u>47</u> мкФ +/-10%	1	
C38	X7R – <u>0,6</u> мкФ +/-10%	1	
C39	X7R – <u>47</u> мкФ +/-10%	1	
C40	X7R – 10 Ф +/-10%	1	
C41	2000VDC – <u>1</u> нФ +/-10%	1	
<i>Мікросхеми</i>			
DD1	SN74LS01	1	Texas Instruments
DD2	74LS90	1	Philips Semiconduct.
DD3	AD8045	1	Analog devices
DD4	AD8045	1	Analog devices
DD5	SN74ALS22	1	Texas Instruments
DD6	AD8045	1	Analog devices
DD7	PIC17F84	1	Philips Semiconduct.
DD8	LTC1515	1	Linear Technology
DD9	LTC1515	1	Linear Technology
DD10	SN74LS00	1	Texas Instruments
<i>Котушки індуктивності „ABC Taiwan”</i>			
L1	AA0307100KS	1	
L2	AA0307150KS	1	
L3	AA0307100KS	1	
L4	AA0307150KS	1	
<i>Резистори „Royal Ohm” RMC 1/8w</i>			
<i>Змінні резистори 3006P „Bourn”</i>			
R1	RMC 12 кОм +/-1%	1	
R2, R3	RMC 100 кОм +/-1%	2	
			PE41.430112.000 ПЕ
<i>ЗМН</i>	<i>АРК</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i> <i>Дата</i>
			2

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка		
R4	RMC 21 кОм +/-1%	1			
R5	RMC 100 Ом +/-1%	1			
R6	RMC 33 кОм +/-1%	1			
R7	RMC 21 кОм +/-1%	1			
R8	RMC 100 Ом +/-1%	1			
R9	RMC 33 кОм +/-1%	1			
R10	RMC 62 кОм +/-1%	1			
R11,R12	RMC 100 кОм +/-1%	2			
R13	RMC 2 кОм +/-1%	1			
R14	RMC 61 кОм +/-1%	1			
R15	RMC 100 кОм +/-1%	1			
R16	RMC 33 кОм +/-1%	1			
R17	RMC 61 кОм +/-1%	1			
R18	RMC 100 кОм +/-1%	1			
R19	RMC 33 кОм +/-1%	1			
R20,R21	RMC 33 кОм +/-1%	2			
R22,R23	RMC 100 кОм +/-1%	2			
R24	RMC 47 кОм +/-1%	1			
R25,R26	RMC 12 кОм +/-1%	2			
R27	RMC 12 кОм +/-1%	1			
R28	RMC 47 кОм +/-1%	1			
R29	RMC 47 кОм +/-1%	1			
R30	RMC 330 Ом +/-1%	1			
R31	RMC 15 кОм +/-1%	1			
R32	RMC 12 кОм +/-1%	1			
R33	RMC 5,1 кОм +/-1%	1			
R34,R35	RMC 47 кОм +/-1%	2			
R36	RMC 15 кОм +/-1%	1			
R37,R38	RMC 15 кОм +/-1%	2			
R39,R40	RMC 12 кОм +/-1%	2			
РЕ41.430112.000 ПЕ					
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					3

Поз. Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка			
R41,R42	RMC 47 кОм +/-1%	1				
R43	RMC 430 Ом +/-1%	2				
R44,R45	RMC 64 кОм +/-1%	1				
R46	RMC 47 кОм +/-1%	1				
R47	3006P-1-103 +/-10%	1				
R48	RMC 1 кОм +/-1%	1				
R49,R50	RMC 15 кОм +/-1%	2				
R51	RMC 10 кОм +/-1%	1				
R52	RMC 5,1 кОм +/-1%	1				
R53	RMC 15 кОм +/-1%	1				
R54	RMC 1 мОм +/-1%	1				
R55,R56	RMC 5,1 кОм +/-1%	2				
R57	RMC 47 кОм +/-1%	1				
R58	RMC 51 кОм +/-1%	1				
	<i>Діоди</i>					
VD1	1N4148	1	Taiwan <u>Semicond.</u>			
VD2	1N4148	1	Taiwan <u>Semicond.</u>			
VD3	BYV26C	1	Vishay <u>Semicond.</u>			
VD4	BYV26C	1	Vishay <u>Semicond.</u>			
VD5	BYV26C	1	Vishay <u>Semicond.</u>			
VD6	BYV26C	1	Vishay <u>Semicond.</u>			
VD7	KP 521	1	International <u>Rect.</u>			
VD8	KP 521	1	International <u>Rect.</u>			
VD9	KP 521	1	International <u>Rect.</u>			
VD10	KP 521	1	International <u>Rect.</u>			
VD11	KP 521	1	International <u>Rect.</u>			
VD12	KP 521	1	International <u>Rect.</u>			
VD13	BYV26C	1	Vishay <u>Semicond.</u>			
<u>Змн.</u>	<u>Арк.</u>	<u>№ докум.</u>	<u>Підпис</u>	<u>Дата</u>	PE41.430112.000 ПЕ	4

Форм.	Зона	Поз	Найменування	Позначення	Кільк	Примітка
				<u>Документація</u>	1	
A4			PE41.401161.000 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
A1			PE41.401161.001 СК	Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
A1		1	PE41.401161.002 СК	Плата	1	
				<u>Деталі</u>		
A1		2	PE41.301151.002	Корпус	1	
A1		3	PE41.301151.001	Кришка	1	
		4		Кришка джерела живлення	1	
		5		Рамка	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		6		Гайка M2x2 ГОСТ 1956-86	4	
		7		Шайба M2X2 ГОСТ 1956-86	4	
		8		Шуруп M2 X1,25 ГОСТ 1956-86	4	
		9		Шуруп M2 X2 ГОСТ 1956-86	2	

					PE41.401161.001		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Білошанська			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Новосад А			У	1	2
Т. Контр.					РТФ		
Н. Контр.							
Затвердив							
					Індикатор електромагнітного поля		
					Специфікація		

Форм.	Зона	Поз	Найменування	Позначення	Кільк	Примітка	
				<u>Документація</u>			
A1			PE41.401161.002 СК	Плата складальне креслення	1		
A1			PE41.401161.000 E3	Схема електрична принципова	1		
				<u>Деталі</u>			
A1		1	PE41.301151.000	Плата	1		
		2		Поверхневий екран	1		
		3		Поверхневий екран	1		
				<u>Інші вироби</u>			
				Конденсатори <u>Evoh Rifa</u>			
		4		X7R – 150 пФ +/-10%	1	C5, C6	
		5		2000VDC – 1 нФ +/-10%	2	C24, C41	
		6		2000VDC – 10 нФ + 10%	4	C7, C8, C14, C15	
		7		X7R – 10 нФ +/-10%	2	C19, C21	
		8		X7R – 0,1 мкФ +/-10%	1	C28	
		9		X7R – 0,022 мкФ +/-10%	1	C9	
		10		X7R – 0,6 мкФ +/-10%	1	C41	
		11		X7R – 0,047 мкФ +/-10%	2	C16, C27	
		12		X7R – 0,033 мкФ +/-10%	1	C29	
		13		X7R – 5 мкФ +/-10%	2	C17, C18	
			PE41.401161.002				
<u>Зим.</u>	<u>Арк.</u>	<u>№ докум.</u>	<u>Підпис</u>	<u>Дата</u>			
Розробив		Криштальнік			Плата Специфікація	Літера У	
Перевірів		Новосад А					Аркуш 1
Т. Контр.							Аркуші 4
Н. Контр.							
Затвердив							РТФ

