ДВНЗ УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: Багатоканальний нормуючий підсилювач

Студента(ки) 2 курсу магістратури

напряму підготовки:

171 електронні пристрої та системи

Микола МОЛНАР

(прізвище та ініціали)

Керівник Олександр СПЕСИВИХ

(прізвище та ініціали)

доцент, к.ф.-м. наук

(*посада, вч. звання, наук. ступінь)*

Національна оцінка_____

Кількість балів:_____

Оцінка ECTS_____

Члени комісії:

_____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Ужгород – 2021

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
Ужгородський національний університет
Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

на кваліфікаційну роботу магістра на

тему:

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ НОРМУЮЧИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

Студента групи ЕС: МОЛНАРА Миколи Віталійовича ( )
Керівник проекту: доц. СПЕСИВИХ Олександр Олександрович( )

Ужгород 2021

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний
факультетКафедра
Електронних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень «МАГІСТР»
Напрям підготовки 171 -Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач

кафедрид.ф.-м.н.,

Тарас ЗАЯЦЬ

_____
« »_____2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студенту МОЛНАРУ Миколі Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема МКР: Багатоканальний нормуючий підсилювач
керівник роботи СПЕСИВИХ Олександр Олександрович,
к.ф.-м. наук доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затвердженні наказом по університету від « 26»жовтня2021 року №__.
2. Термін подання студентом роботи: 16.12.2021року.
3. Вихідні дані до роботи: Провести порівняльний аналіз переваг сил ювачів та недоліків аналогів об'єкту дослідження. Розробити технічну пропозицію нормуючого підсилювача з наступними параметрами: живлення системи від джерел живлення ±5 В…..±9В; коефіцієнти підсилення по напрузі: K_U=0.001, 0.01, 0.1, 01, 1.0, 10,0;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

Вступ
1. Огляд аналогів об'єкту проектування
2. Проектно-конструкторський розділ
2.1.Опис структурної та принципової схем пристрою

2.2. Розрахунок окремих блоків пристрою

3.Техніко-економічні розрахунки собівартості пристрою

4.Захист людини та навколишнього середовища

Висновки

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

1. Структурна (функціональна) схема пристрою

2. Електрична принципова схема пристрою

3. Креслення друкованої плати

4. Складальнне креслення

Консультанти проекту, вказати з яких розділів.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
3	Олександр СПЕСИВИХ		
Нормоконтроль	Роман Мешко		

Дата видачі завдання: «_____»_____20___року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ з/п	Найменування етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітки
1	Пошук аналогів об'єкта проектування	10.11.2020	
2	Огляд та аналіз аналогів	10.01.2021	
3	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції	20.01.2021	
4	Синтез структурної та принципової схем, друкованої плати їх розрахунок	20.01.2021	
5	Виготовлення конструкторської документації	20.01.2021	
6	Техніко-економічне обгрунтування	30.11.2021	
7	Оформлення магістерської кваліфікаційної роботи	10.12.2021	

Студент_____Микола МОЛНАР)

(підпис)

Керівник роботи_____(Олександр СПЕСИВИХ)

(підпис)

Вступ. 8
1. Огляд. Операційні підсилювачі 9
1.1. Параметри і характеристики операційних підсилювачів 9
1.2.Характеристики операційного підсилювача 14
1.3. Амплітудно-частотна характеристика операційного підсилювача 16
1.4. Стійкість операційного підсилювача із зворотним зв'язком 17
1.5. Функціональні пристрої на операційних підсилювачах 21
1.5.1. Інвертуючий підсилювач 21
1.5.2.Неінвертуючий підсилювач 24
2. Електронні комутатори 27
2.1. Аналогові комутатори 31
3. Розробка структурної схеми нормуючого підсилювача 38
3.1. Розробка принципової схеми нормуючого підсилювача 39
3.2. Розрахунок ключового режиму роботи транзистора 42
3.3.Блок живлення 44
4. Конструкторсько-технологічна розробка плати 45
4.1. Проектування та розрахунок друкованої плати 45
4.2. Теплові характеристики пристрою 47
4.3. Розрахунок характеристик надійності пристрою 51
5. Техніко-економічне обгрунтування 54
5.1. Розрахунок собівартості приладу 54
6. Заходи з охорони праці і техніки безпеки на виробництві приладу 62
6.1. Загальні питання безпеки праці 62
6.2. Клімат виробничих приміщень 66
6.3. Охорона праці при складано-монтажних роботах в процесі виготовлення приладу 69
6.4. Охорона праці при виробничих випробуваннях РЕА 77
Висновки 89
Список використаної літератури 80

					КРМ ЕС 20055034 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Разраб.		Микола МОЛНАР			Багатоканальний нормуючий підсилювач	Лит. / Лист 4 / Листов 2
Провер.		Олександр				
Н. Контр.		Роман МЕШКО				УжНУ ІТФ 2 курс ЕС
Утв.		Тарас ЗАЯЦЬ				

Додатки

КРМ.ЕС.20055034.01.000 Е1 - Схема електрична структурна

КРМ.ЕС.20055034.01.000Е3 - Схема електрична принципова

КРМ.ЕС.20055034.01.000 Е4 - Схема електрична складальна

КРМ.ЕС.20055034.01.000 ПЕ3 - Схема друкованої плати

КРМ.ЕС.20055034.01.000 - Специфікація

КРМ.ЕС.20055034.01.000. ПЕ3 - Перелік елементів

ВСТУП

Масштабуючий підсилювач – це пристрій який узгоджує параметри вихідного сигналу попереднього пристрою з послідуючим. Це може бути узгодження по формі частотної характеристики, по фазочастотній характеристиці, по вхідному і вихідному опору, по рівню сигналу, по постійній складовий сигналу, по динамічному діапазону сигналу і т.п. В даній роботі представлено масштабуючий підсилювач напруги, який призначений для як основа перемикання коефіцієнта підсилення при виборі шкал вимірювання сигналів широкого динамічного діапазону 80-100dB.

З появою у 1960-х р підсилювачів у інтегральному виконаннюі ця задача значно спростилась. Це був легендарний uA709 — ОП фірми Fairchild, виконаний за біполярною технологією. Він був розроблений Робертом Відларом (англ. Robert J. Widlar) в 1965 році. Майже відразу, на заміну uA709 з'явився 741, який мав кращі характеристики, був стабільніший і простіший у використанні. ОП uA741 виготовляється і донині, Нижче розглянемо основні характеристики і параметри операційних підсилювачів які виробляються промисловістю.

1. Операційні підсилювачі.

1.1. Параметри і характеристики операційних підсилювачів

Найбільш поширеними аналоговими ІМС є операційні підсилювачі завдяки універсальності їх застосування [1].

Операційний підсилювач (ОП) – це підсилювач напруги з безпосередніми зв'язками між каскадами, який має великий коефіцієнт підсилення, малий рівень шумів, великий вхідний опір, малий вихідний опір і широку смугу одиничного підсилення. ОП є підсилювачем постійного струму (ППС), оскільки здатний підсилювати постійну напругу. Назву «Операційний підсилювач» було дано спочатку підсилювачам з великим коефіцієнтом підсилення, розробленим для виконання математичних операцій складання, віднімання, множення й ділення. В даний час інтегральні ОП використовуються для створення різних функціональних вузлів.

Операційний підсилювач має два входи: ***інвертуючий*** і ***неінвертуючий***. На рис. 1.1, а і б інвертуючий вхід позначений кружечком. Обидва входи називають ***диференціальним*** (або різницевим). Оскільки вхідний каскад ОП є диференціальним, вихідна напруга ОП $U_{вих}$ залежить від різниці напруг

$$U_{вх\ д} = U_{вх2} - U_{вх1},$$

$U_{вх\ д}$ називається ***диференціальним вхідним сигналом.***

Умовні позначення операційного підсилювача наведено на рис. 1.1.

Якщо $U_{вх2} > U_{вх1}$, то полярність вихідного сигналу співпадає з полярністю сигналу $U_{вх2}$ (сигнал не інвертується). Якщо $U_{вх1} > U_{вх2}$, то полярність вихідного сигналу протилежна полярності сигналу $U_{вх1}$ (сигнал інвертується). Формула) справедлива також для випадку, коли або $U_{вх2} = 0$, або $U_{вх1} = 0$.

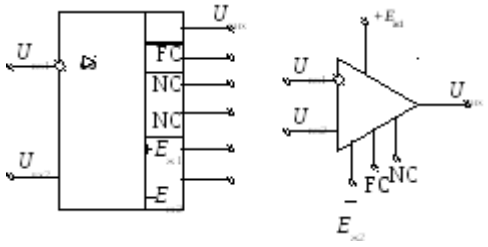


Рис.1.1. Умовні позначення операційного підсилювача

а – згідно ЄСКД; б – за функціональною ознакою (підсилювач)

Операційний підсилювач не чутливий до ***синфазної складової вхідних сигналів*** $U_{\text{вх с}}$ яка дорівнює

$$U_{\text{вх с}} = \frac{1}{2}(U_{\text{вх2}} + U_{\text{вх1}}).$$

Тому коефіцієнт підсилення ОП визначається тільки для диференціального вхідного сигналу

$$K_{\text{ОП}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх2}} - U_{\text{вх1}}}.$$

Напруги $U_{\text{вх1}}$, $U_{\text{вх2}}$ і $U_{\text{вих}}$ відлічуються відносно корпусу (заземлення).

Операційний підсилювач має один вихід і два виводи для підключення джерела живлення: $+E_{\text{ж1}}$, $-E_{\text{ж2}}$. Для ОП використовується, як правило, симетричне (відносно корпусу) джерело живлення ($\pm E_{\text{ж}}$).

Таке живлення називають ***двополярним***, може використовуватися також несиметричне (однополярне) живлення.

Виводи, що служать для підключення кіл корекції нуля ОП, позначаються символами NC, а для підключення елементів частотної корекції – символами FC.

Якщо аналізуються характеристики і параметри пристроїв на операційних підсилювачах для сигналу, звичайно використовують ***спрощене позначення*** ОП: виведення кіл живлення і корекції не показують.

Операційний підсилювач за своїми характеристиками і параметрами наближається до «***ідеального»*** підсилювача.

Параметри ***ідеального ОП***:

1. нескінченний коефіцієнт підсилення напруги ($K_{ОП} \to \infty$);
2. нескінченний повний вхідний опір ($Z_{вх\ ОП} \to \infty$);
3. нульовий повний вихідний опір ($Z_{вих\ ОП} = 0$);
4. рівна нулю вихідна напруга $U_{вих} = 0$ при рівних напругах на обох входах $U_{вх2} = U_{вх1}$;
5. нескінченна ширина смуги пропускання (відсутність затримки при проходженні сигналу через підсилювач).

На практиці жодна з цих властивостей не може бути здійснена повністю, проте до них можна наблизитися з достатньою точністю для багатьох застосувань.

Параметри операційного підсилювача

Властивості ОП визначаються великим числом параметрів. Основними технічними показниками ОП є:

1) Коефіцієнт підсилення напруги $K_{ОП}$, рівний відношенню вихідної напруги до диференціальної вхідної напруги. Для сучасних ОП значення коефіцієнта підсилення дорівнює: $K_{ОП} = 10^5...10^6$.

2) Напруга джерела живлення $E_ж$, В при симетричному живленні.

3) Споживаний струм $I_{\text{спож}}$, мА.

4) Максимальна вихідна напруга: позитивного плеча $U_{\text{вих}\,max}^{(+)}$; негативного плеча $U_{\text{вих}\,max}^{(-)}$. Максимальна вихідна напруга звичайно на (1…2) В менша напруги живлення.

5) Коефіцієнт ослаблення синфазних вхідних напруг

$$K_{\text{пос. сф, дБ}} = 20 \lg \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх с}}}.$$

Значення цього коефіцієнта для сучасних ОП дорівнює (70...100) дБ.

6) Вхідна напруга зміщення нуля $U_{\text{зм}}$, мВ, рівна напрузі, яку необхідно подати на диференціальний вхід, щоб $U_{\text{вих}} = 0$.

7) Вхідний струм зміщення $I_{\text{зм}}$, нА, рівний середньому струму, що протікає у вхідних колах ОП при $U_{\text{вих}} = 0$.

8) Різниця вхідних струмів зміщення $\Delta I_{\text{зм}} = |I_{\text{зм}}^{+}| - |I_{\text{зм}}^{-}|$, нА, яка визначається при $U_{\text{вих}} = 0$.

9) Вхідний опір ОП $R_{\text{вх ОП}}$ для диференціального сигналу.

10) Вихідний опір ОП $R_{\text{вих ОП}}$ при подачі диференціального вхідного сигналу.

11) Частота одиничного підсилення f_1, на якій модуль коефіцієнта підсилення ОП рівний одиниці, тобто $|K_{\text{ОУ}}| = 1$ або $K_{\text{ОП, дБ}} = 20\lg K_{\text{ОП}} = 0$ дБ.

Структура операційного підсилювача

Більшість операційних підсилювачів виконується у вигляді трикаскадних підсилювачів. Структурну схему ОП наведено на рис. 1.2.

Рис. 1.2. Структурна схема операційного підсилювача

Вхідний каскад ОП – це диференціальний підсилювач. Диференціальний підсилювач має великий коефіцієнт підсилення диференціального вхідного сигналу і велике ослаблення синфазного вхідного сигналу. Диференціальний підсилювач має також великий вхідний опір для будь-яких вхідних сигналів. Вхідний каскад є найбільш відповідальним каскадом ОП.

За вхідним слідує проміжний каскад, який здійснює основне підсилення струму і напруги ОП. В ОП використовується безпосередній (гальванічний) зв'язок між каскадами, тому проміжний каскад повинен забезпечити також пониження напруги спокою, щоб на виході ОП напруга спокою дорівнювала нулю. Вихідний каскад повинен забезпечити малий вихідний опір ОП і струм, достатній для живлення передбачуваного навантаження. Крім того, цей каскад повинен мати великий вхідний опір, щоб не навантажувати проміжний каскад. Як вихідний каскад в ОП використовується двотактний емітерний повторювач.

1.2.ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Передавальна характеристика ОП

Передавальна характеристика ОП – це залежність вихідної напруги $U_{вих}$ від вхідної диференціальної напруги $U_{вх\ д}$. Передавальну характеристику ОП наведено на рис. 1.3, яка апроксимована ламаною лінією.

У передавальній характеристиці ОП можна виділити три характерні області: лінійну область і області насичення. У лінійній області вихідна напруга прямо пропорційна вхідній диференціальній напрузі

$$U_{вих} = K_{ОП}U_{вх\ д}.$$

Лінійна область з обох боків (зверху і знизу) обмежена областями насичення. У будь-якому випадку напруга на виході ОП не може перевищити напругу будь-якого з джерел живлення, тобто $E_ж$. Максимально можлива вихідна напруга, як правило, приблизно на 2 В менша абсолютної величини напруги живлення, а при низькоомному навантаженні діапазон зміни вихідної напруги скоротиться ще більше. Отже, можна вважати, що максимальна неспотворена вихідна напруга рівна

$$U_{вих\ max} \approx E_ж - 2\ В.$$

Оскільки підсилення ОП велике ($K_{ОП} = 10^5...10^6$), то ширина лінійної зони передавальної характеристики мала. Максимальне значення вхідного диференціального сигналу $U_{вх\ д\ max}$ можна розрахувати

$$U_{вх\ д\ max} \approx \frac{U_{Вих\ max}}{К_{ОП}}.$$

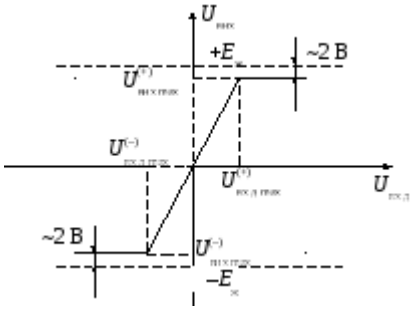


Рис. 1.3. Передавальна характеристика операційного підсилювача

Наприклад, якщо напруга живлення дорівнює $E_ж = ±15$ В, то максимальне значення вхідного диференціального сигналу буде рівне

$$U_{вх\ д\ max} \approx \frac{15-2}{10^{-6}} = 13 \text{ мкВ}.$$

Отже, щоб сигнал на виході ОП був рівний підсиленій вхідній напрузі без спотворень, амплітуда вхідної напруги повинна бути невеликою. При подачі великого вхідного сигналу ОП потрапляє в область насичення, форма вихідного сигналу буде «обрізаною», тобто сильно спотвореною.

У операційний підсилювач вводять негативний зворотний зв'язок, що створює ряд істотних переваг і дозволяє створити велику кількість різних електронних пристроїв. Оскільки коефіцієнт підсилення ОП має велике значення, то при введенні негативного зворотного зв'язку глибина зворотного зв'язку має велике значення: $\gamma = (1 + BK_{ОП}) >> 1$. Отже, негативний зворотний зв'язок виходить глибоким, тоді

$$\underline{K}_{ГНЗЗ} = \frac{\underline{K}_{ОП}}{1 + \underline{B}\underline{K}_{ОП}} \approx \frac{1}{\underline{B}}$$

В цьому випадку коефіцієнт підсилення пристрою, виконаного на ОП з глибоким негативним зворотним зв'язком, буде визначатися тільки елементами кола зворотного зв'язку $\underline{B}$, тобто зовнішніми елементами, і не буде залежати від коефіцієнта підсилення ОП $K_{ОП}$. Змінюючи елементи кола зворотного зв'язку B, можна реалізувати різні електронні пристрої на операційних підсилювачах.

1.3 Амплітудно-частотна характеристика операційного підсилювача

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) операційного підсилювача – це залежність модуля коефіцієнта підсилення ОП $K_{ОП}$ від частоти вхідного диференціального сигналу. ОП є підсилювачем постійного струму (ППС), тому його частотна характеристика починається від нульової частоти. Коефіцієнт підсилення $K_{ОП}$ залишається незмінним у невеликій області частот. При збільшенні частоти коефіцієнт підсилення $K_{ОП}$ зменшується, бо зменшуються коефіцієнти підсилення каскадів, з яких складається ОП. ОП , найчастіше, складається з трьох каскадів, тому три постійні часу і три граничні частоти (частоти зрізів) каскадів визначатимуть спад АЧХ операційного підсилювача у області верхніх частот. Коефіцієнт підсилення трикаскадного ОП дорівнює добутку коефіцієнтів підсилення його окремих каскадів.

$$K_{ОП}(f)=\frac{K_1}{\sqrt{1+\left|\frac{f}{f_{c1}}\right|^2}}\cdot\frac{K_2}{\sqrt{1+\left|\frac{f}{f_{c2}}\right|^2}}\cdot\frac{K_3}{\sqrt{1+\left|\frac{f}{f_{c3}}\right|^2}},$$

де частоти зрізів каскадів дорівнюють граничним частотам і визначаються постійними часу цих каскадів.

$$f_{c1}=f_{в\ гр1}=\frac{1}{2\pi\tau_{в1}},\ f_{c2}=f_{в\ гр2}=\frac{1}{2\pi\tau_{в2}},\ f_{c3}=f_{в\ гр3}=\frac{1}{2\pi\tau_{в3}}.$$

Граничні частоти каскадів не однакові, найбільш вузькосмуговим є, як правило, проміжний каскад, найбільш широкосмуговим – вихідний. Тому АЧХ операційного підсилювача матиме три перелома: на частотах f_{c1}, f_{c2}, f_{c3}. Кожний

з каскадів дає спад АЧХ в області верхніх частот (–20 дБ/дек), тому загальний спад АЧХ трикаскадного підсилювача буде дорівнювати (–60 дБ/дек), а загальне фазове зміщення $\left|-3\cdot\frac{\pi}{2}\right| = 270°$.

1.4.Стійкість операційного підсилювача із зворотним зв'язком

Операційні підсилювачі використовуються для створення великого числа функціональних вузлів, в яких застосовується негативний зворотний зв'язок. Трикаскадний підсилювач з негативним ЗЗ є потенційно нестійкою системою, тому що максимальне фазове зміщення в області верхніх частот такого підсилювача дорівнює $\Delta\varphi = \left|-3\cdot\frac{\pi}{2}\right|$. Отже, існує така частота, на якій фазовий

зсув підсилювача буде дорівнювати $\Delta\varphi(f) = -\pi$. На цій частоті загальний фазовий зсув у петлі зворотного зв'язку буде рівним $\varphi = \pi + \Delta\varphi = \pi - \pi = 0$, отже, на цій частоті зв'язок з негативного перейде в позитивний. Таким чином, на якійсь частоті виконується одна з умов самозбудження: умова фаз ($\varphi = 0$), зв'язок стає позитивним. Для того, щоб підсилювач із зворотним зв'язком перейшов в режим генерації, має бути виконана також умова амплітуд: петльове підсилення $BK_{ОП} = 1$. Якщо обидві умови самозбудження будуть виконані, пристрій перетвориться на генератор. Оскільки працездатність ОП визначається його стійкістю, то забезпечення стійкості – одне з основних завдань при розробці операційних підсилювачів. Для забезпечення стійкості необхідно, щоб на тих частотах, де виконується умова амплітуд ($BK_{ОП} > 1$), не виконувалася умова фаз. А на тих частотах, де виконується умова фаз ($\Delta\varphi \geq -\pi$), не повинна виконуватися умова амплітуд. Стійкість повинна забезпечуватися з певним запасом.

Для забезпечення стійкості операційних підсилювачів використовують як внутрішню, так і зовнішню корекції. Внутрішня корекція ОП виконується в процесі виробництва шляхом підключення невеликої ємності до певних точок у схемі. Ця ємність зменшує частоту першого зрізу АЧХ, що забезпечує стійкість

ОП. Перевагою операційних підсилювачів з внутрішньою корекцією є простота їх використання, оскільки вони будуть стійкі за будь-яких параметрів петлі зворотного зв'язку. Їх істотний недолік полягає у тому, що смуга пропускання пристрою з негативним зворотним зв'язком виходить невеликою.

Кола зовнішньої корекції підключаються до спеціальних виводів операційного підсилювача (FC). У цьому випадку зовнішні елементи можна підібрати з умови оптимальної роботи схеми. Такий підбір дозволяє одержати ширшу смугу пропускання пристрою.

Для апроксимації АЧХ операційного підсилювача можна використовувати одну постійну часу – максимальну. В цьому випадку АЧХ операційного підсилювача, побудована в логарифмічному масштабі за обома осями, матиме вигляд, наведений на рис.1.4. На цьому рисунку вказані дві частоти зрізу ОП:

$f_{c1} = \frac{1}{2\pi\tau_{в\ max}}$ – частота зрізу каскаду з максимальною постійною часу (як правило, проміжного); f_{c2} – частота зрізу іншого каскаду з меншою постійною часу; частота зрізу третього каскаду f_{c3} тут не показана, бо вона не визначає стійкість ОП. На АЧХ вказаний спад характеристики на різних ділянках.

АЧХ операційного підсилювача можна апроксимувати шматково-ламаною лінією, частоти перелома визначаються значеннями постійних часу каскадів ОП. Смугу пропускання ОП без зворотного зв'язку визначає частота зрізу $f_{c1} = f_{с\ ОП} = f_{в\ гр\ ОП}$.

Значення частоти $f_{с\ ОП}$ складає десятки герц.

Параметром операційного підсилювача є частота одиничного підсилення f_1, на якій модуль коефіцієнта підсилення ОП без зворотного зв'язку рівний одиниці ($K_{ОП} = 1$, $K_{ОП\ дБ} = 0$ дБ). У сучасних операційних підсилювачів частота одиничного підсилення має порядок декількох мегагерц ($f_1 \approx (1…10)$ Мгц).

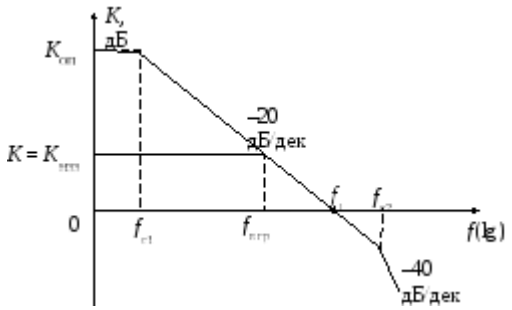


Рис. 1.4. АЧХ операційного підсилювача

При введенні негативного зворотного зв'язку коефіцієнт підсилення зменшується, смуга пропускання при цьому розширюється. Значення частоти зрізу ОП можна визначити за формулою

$$F_{\text{з ОП}} \approx \frac{f_1}{K_{\text{ОП}}},$$

значення граничної частоти підсилювача з негативним зворотним зв'язком можна визначити за формулою

$$f_{\text{в гр}} \approx \frac{f_1}{K_{\text{НЗЗ}}},$$

відношення цих частот згідно формулам, буде дорівнювати

$$\frac{f_{\text{в гр}}}{f_{\text{сОП}}} \approx \frac{K_{\text{ОП}}}{K_{\text{НЗЗ}}}.$$

Далі коефіцієнт підсилення пристрою з негативним ЗЗ позначатиметься $K = K_{\text{НЗЗ}}$.

Приклад. Частота одиничного підсилення операційного підсилювача рівна $f_1 = 4$ МГц, коефіцієнт підсилення ОП $K_{\text{ОП}} = 10^5$ ($K_{\text{ОП, дБ}} = 100$ дБ). Коефіцієнт

підсилення підсилювача з негативним зворотним зв'язком рівний $K = 10$ ($K_{дБ}$ = = 20 дБ). Визначимо значення частоти зрізу ОП

$$F_{з\ ОП} \approx \frac{4 \times 10^6}{10^5} = 40 \text{ Гц}$$

і смугу пропускання підсилювача з негативним зворотним зв'язком

$$f_{в\ гр} \approx \frac{4 \times 10^6}{10} = 400 \text{ кГц}.$$

Таким чином, одержали широкосмуговий пристрій із заданим коефіцієнтом підсилення. При збільшенні K смуга $f_{в\ гр}$ відповідно формулі буде зменшуватися.

Наведені вище залежності справедливі тільки в тому випадку, якщо частота $f_{з2}$, відповідна другій точці перелому АЧХ операційного підсилювача, значно більша смуги пропускання підсилювача з негативним зворотним зв'язком, а також більша частоти одиничного підсилення $f_{з2} >> f_{в\ гр.}, f_{з2} > f_1$.

1.5.ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПРИСТРОЇ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ

Операційні підсилювачі можна віднести до інтегральних мікросхем загального призначення, які застосовуються в різних функціональних пристроях – суматорах, диференціаторах, інтеграторах, інверторах і т.п.. Крім того, операційний підсилювач дозволяє одночасно вводити як негативний, так і позитивний зворотні зв'язки. Для отримання позитивного зворотного зв'язку сигнал з виходу ОП за допомогою кола ЗЗ необхідно подати на неінвертуючий вхід. Така комбінація негативного і позитивного зворотних зв'язків використовується при виконанні активних фільтрів, генераторів та інших пристроїв.

Розглянемо застосування операційних підсилювачів у вигляді інвертуючого і неінвертуючого підсилювача.

1.5.1. Інвертуючий підсилювач

Схему інвертуючого підсилювача наведено на рис.1.5. Аналогові ІМС на схемах позначаються буквою *A*, цифрові – буквою *D*.

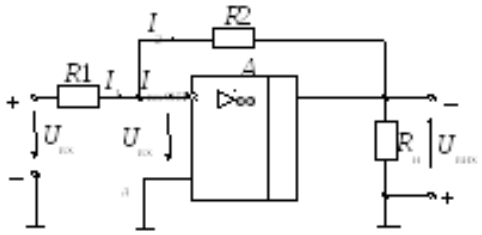


Рис. 1.5. Інвертуючий підсилювач

Схема інвертує напругу, оскільки вхідний сигнал поданий на інвертуючий вхід. Отже, напруги $U_{вх}$ і $U_{вих}$ зміщені за фазою на π. Зворотний зв'язок подається на вхід підсилювача за допомогою резистора R_2, коло зворотного зв'язку *B* утворене зовнішніми елементами R_2 і R_1. Оскільки напруги вхідна $U_{вх}$ і

зворотного зв'язку $U_{зв}$ зміщені на π, то зв'язок негативний. За способом введення – зв'язок паралельний, за способом зняття – за напругою. Паралельний негативний зворотний зв‘зок (ЗЗ) призводить до збільшення вхідного струму схеми $I_{вх} = I_1$, і, отже, до зменшення вхідного опору інвертуючого підсилювача порівняно з вхідним опором операційного підсилювача. Негативний ЗЗ за напругою призводить до зменшення вихідного опору інвертуючого підсилювача, тобто $R_{вих} < R_{вих\ ОП}$, яке і без зворотного зв'язку малий.

Для спрощення аналізу вважатимемо, що у даній смузі частот операційний підсилювач ***близький до ідеального***: $K_{ОП} \to \infty$, $R_{вх\ ОП} \to \infty$, $R_{вих\ ОП} \to 0$. Це припущення можна вважати справедливим, оскільки вхідна напруга ОП $U_{вх\ д\ max}$ дорівнює дуже маленькому значенню. У цьому випадку вважаємо, що $U_{вх\ д} \approx 0$, а вхідний струм ОП $I_{вх\ ОП} \approx 0$, тому що вхідний опір $R_{вх\ ОП} \to \infty$.

Тоді для схеми рис. 1.5 справедлива рівність

$$I_1 = I_2,$$

а вхідний опір інвертуючого підсилювача дорівнює

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_1} = R_1.$$

Для визначення коефіцієнта підсилення інвертуючого підсилювача знайдемо струми:

$$I_1 = \frac{U_{вх}}{R_1},$$

з урахуванням полярності вихідної напруги

$$I_2 = -\frac{U_{вх}}{R_2}.$$

Оскільки $I_1 = I_2$, то справедлива рівність

$$\frac{U_{вх}}{R_1} = -\frac{U_{вх}}{R_2}.$$

З цієї рівності знайдемо коефіцієнт підсилення інвертуючого підсилювача

$$K = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = -\frac{R_2}{R_1}.$$

Таким чином, коефіцієнт підсилення K визначається тільки зовнішніми елементами схеми і не залежить від коефіцієнта підсилення операційного підсилювача $K_{ОП}$. Знак мінус свідчить про інверсію сигналу.

За умовчанням, під коефіцієнтом підсилення розуміють його модуль.

Операційний підсилювач є підсилювачем постійного струму, тому підсилювач (рис. 1.5) підсилює і постійну, і змінну напруги. У загальному випадку, якщо вхідний сигнал містить і постійну, і змінну складові, обидві складові будуть підсилені в K раз. Перевагою операційних підсилювачів є те, що при використанні симетричного двополярного живлення, якщо сигнал не містить постійної складової, то і вихідний сигнал також не буде містити постійної складової. Це істотною спрощує каскадне з'єднання таких підсилювачів, оскільки немає необхідності використовувати розділяльні конденсатори між каскадами.

1.5.2.НЕІНВЕРТУЮЧИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

Схему неінвертуючого підсилювача наведено на рис. 1.6.

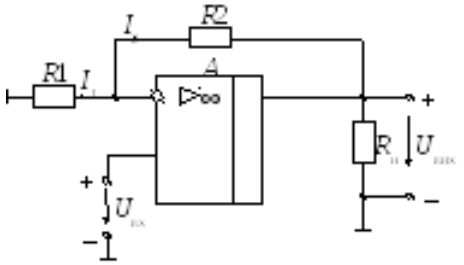


Рис. 1.6. Неінвертуючий підсилювач

Підсилювач вхідну напруга не інвертує, оскільки вхідний сигнал поданий на неінвертуючий вхід. Отже, напруга $U_{вх}$ і $U_{вих}$ співпадають за фазою. Резистори R_1 і R_2 утворюють чотириполюсник зворотного зв'язку B. Напруга зворотного зв'язку $U_{зв}$, яка виділяється на резисторі R_1 ($U_{зв} = I_1R_1$), включена послідовно з вхідною напругою у протифазі. Таким чином, у схемі рис. 1.6 використаний негативний ЗЗ послідовний за напругою. Послідовний ЗЗ збільшує вхідний опір неінвертуючого підсилювача, тобто $R_{вх} > R_{вх\ ОП}$, який і без зворотного зв'язку великий ($R_{вх\ ОП} \to \infty$). Негативний ЗЗ за напругою зменшує вихідний опір неінвертуючого підсилювача, тобто $R_{вих} < R_{вих\ ОП.}$

Знайдемо коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача, вважаючи $U_{вх\ д} \approx 0$, $I_{вх\ ОП} \approx 0$. У цьому випадку $I_1 = I_2$, а $U_{вх} = I_1R_1$, $U_{вих} = I_2R_2 + I_1R_1 = I_2R_2 + U_{вх}$. Знайдемо струм I_2

$$I_2 = \frac{U_{вих} - U_{вх}}{R_2}.$$

Прирівнявши струми, отримаємо

$$\frac{U_{вх}}{R_1}. = \frac{U_{вих} - U_{вх}}{R_2}.$$

Звідси знайдемо коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача

$$K = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

Операційні підсилювачі можуть поділяться на підсилювачі широкого застосування та прецизійні. Прецизійні підсилювачі мають високій диференційний коефіцієнт підсилення по напрузі, малу напругу зміщення нуля та малий вхідний струм від джерела живлення, високу лінійність підсилення сигналу. Використовуються в точних вимірювальних схемах. Слід відмітити, що прецизійні операційні підсилювачі мають підвищену вартість. У таблиці 1 приведені параметри деяких прецизійних операційних підсилювачів, які можуть бути використані при розробки маштабуючого підсилювача. Нариклад: AD707 [2], у якого напруга зсуву становить 15 мкВ.

У вимірювальних пристроях необхідно підсилювати без спотворення слабкі сигнали датчиків, які супроводжуються значним рівнем синфазних, температурних та інших перешкод. Прецизійні підсилювачі, що використовуються для цих цілей, повинні мати не тільки дуже великі значення коефіцієнтів посилення (більше 10^5) і придушення синфазного сигналу, але й малою напругою зміщення нуля (не більше 0,5 мВ) та його дрейфом, малим рівнем шумів і великим вхідним опором. Для побудови такого підсилювача, званого іноді інструментальним і здатного з великою точністю фіксувати ці параметри, зазвичай використовуються два-три ОП загального застосування з декількома високоточними, добре підібраними за температурними коефіцієнтами резисторами зворотного зв'язку, від яких в значній мірі залежить похибка посилення.

Таблиця 1 Параметри прецезійних операційних підсилювачів

	Операційні підсилювачі							
Параметр	TL074 CN	AD820 ARZ	AD8551 ARZ	AD8605 ARTZ	AD823 ANZ	NE5532 P	К140 УД17	AD 707
Напруга живлення, В	±5 ±15	±2,5 ±15	2.5 5	±2,7 ±5,5	±3 ±18	±5 ±15	±5 ±15	±3 ±15
GBP*, мГц	5.25	1.9	1,5	10	10	10	0.4	0.4
Швидкість наростання, V/mks	13	3.0	0.4	5	25	9	0,1	0.3
Т.дрейф нуля, мкв/С	18	2	0.04	4.5	2	0.1	3	0.1
CMRR **, dB	70	80	140	100	70	70-100	106	130
Вхідной струм зміщення , nA	0.065-0.2	0.002	1.5	0.25	0.03	0.03	3.8	1
Вхідна напруга зміщеня нуля, мкВ	13	3	1	20	3.5	700	75	15
Підсилення по напрузі, дБ:	120		145			110		
PSRR - Коэфіцієнт подавлення завад по живленню, dB	86	80	115	95	80	80	94	110
Діапазон робочих температур, °C	-65 +150	-40 +85	-40 +125	-40 +125	-40 +85	-0 +70	-10 +70	-65 +150

GBP* - добуток коефіцієнта підсилення на ширину смуги пропускання (fT);
CMRR** – коефіцієнт приглушення синфазного сигн

Посилання: https://rudatasheet.ru/microchips/k140ud17_kr140ud17

https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD823.pdf

https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1314135/TI/TL074CN.html

2.Електронні комутатори

Комутатором називають пристрій, що дозволяє комутувати (вмикати або перемикати) електричні сигнали. Аналоговий комутатор призначений для комутації аналогових, т. е. сигналів, що змінюються по амплітуді в часі.

Зазначимо, що аналогові комутатори з успіхом можна використовувати і для комутації цифрових сигналів.

Зазвичай станом «включено/вимкнено» аналогового комутатора управляють подачею сигналу на керуючий вхід. Для спрощення процесу комутації, використовують цифрові сигнали:

♦ логічна одиниця — ключ увімкнено;

♦ логічний нуль — вимкнено.

Найчастіше рівню логічної одиниці відповідає діапазон керуючих напруг, що лежать у межах від 2/3 до 1 від напруги живлення мікросхеми комутатора, рівнем логічного нуля - зона керуючих напруг у межах від 0 до 1/3 від напруги живлення. Вся проміжна область діапазону керуючої напруги (від 1/3 до 2/3 від величини напруги живлення) відповідає зоні невизначеності. Оскільки процес перемикання носить, хоч і неявно виражений, пороговий характер, аналоговий комутатор можна розглядати стосовно входу управління як найпростіший компаратор.

Основними характеристиками аналогових комутаторів є:

♦ електричний опір та ємність замкнутого та розімкнутого ключа;

♦ опір та ємність на шину (шини) живлення;

♦ лінійність ВАХ замкненого ключа;

♦ швидкодія;

♦ максимальна та мінімальна комутована напруга;

♦ максимальний комутований струм;

♦ гранична частота та амплітуда комутованих сигналів;

♦ гранична (максимальна та мінімальна) напруга живлення комутатора;

♦ вхідний опір та ємність по ланцюгу керування.

Ідеальним комутатором слід вважати без інерційний електронний перемикач, що має нульовий опір і ємність замкнутого ключа, нескінченно великий опір і нульову ємність розімкнутого ключа, нульові струми витоку.

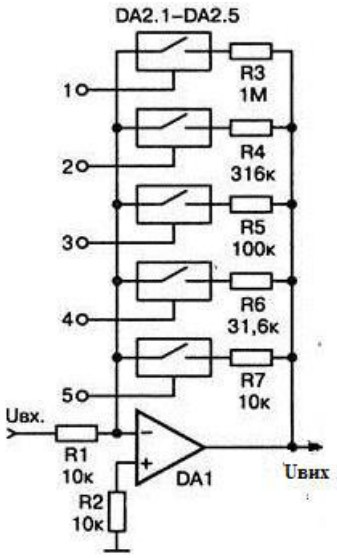


Рис.2.1. Схема прецизійного підсилювача з електронним керуванням

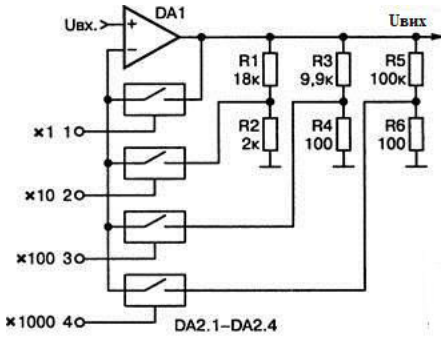


Рис. 2.2. Схема підсилювача з електронним декадним перемиканням коефіцієнта передачі

Підсилювач на ОП з електронним ступінчастим керуванням дозволяє отримати сітку коефіцієнтів передачі 1, 10, 100, 1000 (рис.2.2, рис.2.3.). Коефіцієнт передачі за умови близькості нуля опору замкнутого електронного ключа можна визначити із співвідношення (Rl+R2)/R2; (R3+R4)/R4; (R5+R6)/R6. (рис.2.2).

Керуючі входи кожного з електронних ключів для зниження ймовірності перемикання під впливом наведень тут та в наступних схемах рекомендується з'єднати із загальною шиною через резистор опором 1 МОм.

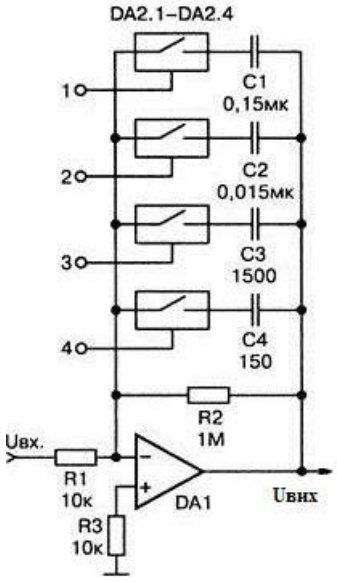


Рис.2.3. Прецизійний підсилювач з ємнісним зворотним зв'язком та електронним керуванням

Прецизійний підсилювач з ємнісним зворотним зв'язком та електронним керуванням показаний на рис.2.3. Його граничний коефіцієнт передачі в області нижніх частот визначається співвідношенням R2/R1. Частотну межу зниження коефіцієнта передачі на рівні -3 дБ, Гц можна оцінити з виразу $\frac{1}{2\pi R2C}$, де R2 = 10^6 Ом; С - ємність підключеного конденсатора у пФ. Частота нульового підсилення, Гц, (рис. 2.4). Опір замкненого ключа DA2.1 - DA2.4 при побудові АЧХ прийнято за 100 Ом. Граничний коефіцієнт ослаблення (область високих частот) визначається як -40 дБ.

$$\frac{R^{\text{откр.}}_{DA2.1-DA2.4}, \text{кОм}}{10\ \text{кОм}} = 100$$

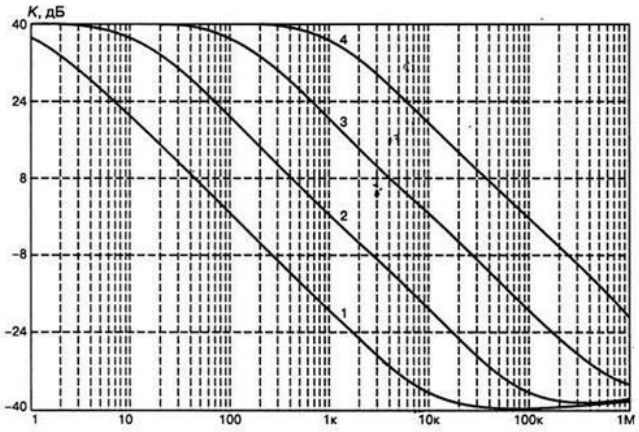


Рис. 2.4. АЧХ підсилювача з ємнісним зворотнім зв‘язком.

Раніше у техніці підсилення низьких частот широко застосовували багатопозиційні механічні перемикачі, що комутують ланцюжки резисторів. Очевидно, що таке схемне рішення мало перевагу в мінімальних втратах на контактах у перші місяці експлуатації апаратури, що дозволяло комутувати великі струми. Недоліки також були очевидними:

♦ незадовільні масогабаритні показники;

♦ необхідність докладання значних зусиль для перемикання;

♦ шуми та тріски при перемиканні або роботі;

♦ непостійність електричного опору контактної групи;

♦ схильність контактів до корозії та механічного зносу;

♦ низька надійність та довговічність;

♦ складність розведення електричних провідників, особливо при необхідності одночасного керування сукупністю однакових каналів апаратури.

Заміна механічних комутаторів електронними ключами різко підвищила надійність роботи апаратури, знизила її габарити та вагу, дозволила керувати пристроєм дистанційно за допомогою електричних сигналів.

2.1.Аналогові комутатори (ключі)

Основне призначення аналогових комутаторів полягає у можливості з'єднувати чи роз'єднувати джерело вхідного сигналу з приймачем під впливом спеціальних управляючих сигналів.

На рис.2.5 показана найпростіша схема аналогового комутатора на біполярному транзисторі, включеному за схемою із загальним емітером.

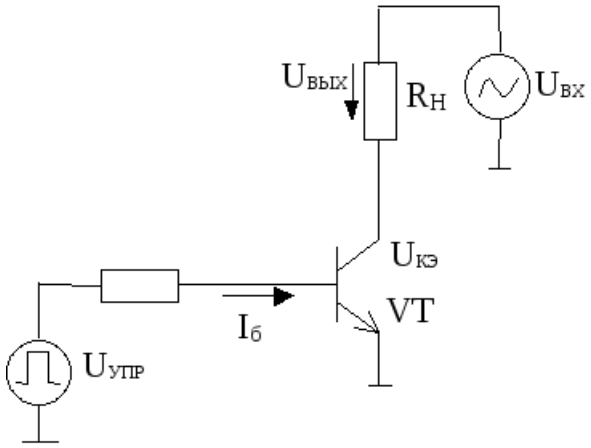


Рис.2.5. Аналоговий комутатор на біполярному транзисторі

Під дією керуючого напруги $U_{упр}$ транзистор VT може бути закритий або відкритий. Коли транзистор закритий (Uбе< U бе пор), струм через опір навантаження $R_н$ джерела вхідного сигналу не тече (Uвих=0). Напруга Uвх то, можливо як позитивним, і негативним. У першому випадку транзистор працює у прямому, тоді як у другому в інверсному режимах. Коли під впливом позитивно управляючого сигналу транзистор відкривається до опору

навантаження, прикладається напруга Uн = Uвх - Uке. Одним із недоліків такої схеми є те, що її вихідні характеристики не проходять через нуль. Тобто Uвих=0 при Uвх=0. Умова Uвих = 0 буде дотримуватися при деякій позитивній вхідній напрузі U≈10-100мВ, яку називають залишковою напругою або напругою усунення.

Найкращими характеристиками мають аналогові ключі, що використовують комплементарні транзисторні пари. Варіант комплементарного аналогового ключа наведено на рис. 2.6.

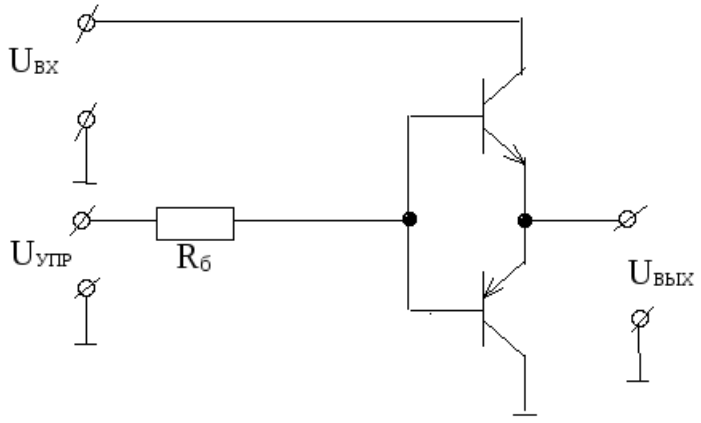


Рис. 2.6. Комплементарний аналоговий комутатор

У цій схемі задіяний компліментарний емітерний повторювач, що працює в режимі насичення в обох напрямках. Для цього забезпечуються умови Uпр max>Uвх і Uпр min<0. Схема реалізує високу швидкість комутації у діапазоні вхідної напруги від 0 до Uвх.

Комутатори, що виконуються на польових транзисторах, відрізняються тим, що в них відсутня залишкова напруга, і отже їх зручно використовувати при комутації малих сигналів. На рис. 2.7. наведена схема найпростішого аналогового комутатора на МДН-транзисторі.

Посилання: http://nauchebe.net/2014/07/analogovye-kommutatory-i-multipleksory-v-ustrojstvax-na-mikrosxemax/ X

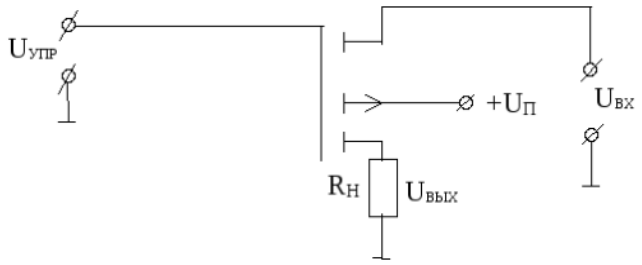


Рис. 2.7. Схема найпростішого аналогового комутатора на МДН-транзисторі

Підкладка транзистора підключена до позитивного полюса джерела живлення +Uж для того, щоб переходи між підкладкою та витоком та підкладкою та стоком не відкривалися. При малих значеннях Uупр транзистор закритий струм від Uвх в навантаження Rн не проходить. Коли Uупр перевищує величину порогової напруги Uзв пор. транзистор відкривається та Rн підключається до Uвх. Ключ може комутувати як позитивні і негативні напруги.

До недоліків такого комутатора відноситься відносно велика величина його вихідного опору, який може бути зменшена різними схемотехнічними рішеннями.

Як відомо, польовий транзистор в області малих напруг сток-витік веде себе як резистор, опір якого може змінюватися у багато разів при зміні напруги керуючого затвор-витік Uзв. На рис. 2.8а. зображена спрощена схема послідовного комутатора на польовому транзисторі з керуючим pn-переходом.

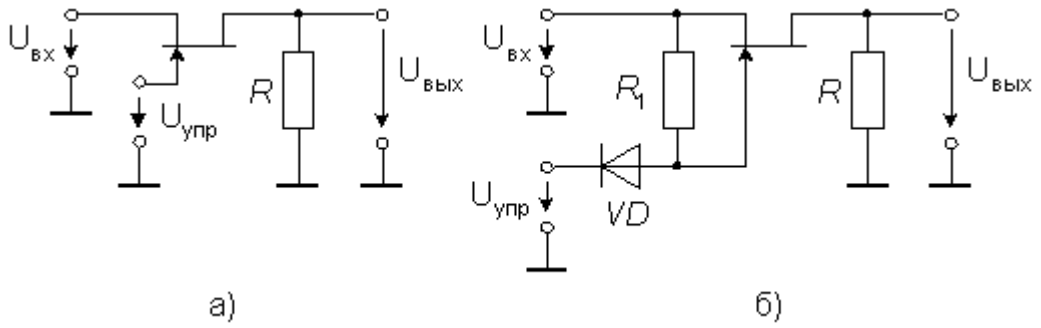


Рис. 2.8. Послідовний комутатор на польовому транзисторі з керуючим pn-переходом

Якщо в цій схемі керуючу напругу Uупр встановити меншою, ніж мінімально-можлива вхідна напруга, принаймні на величину порогової напруги транзистора транзистор закриється і вихідна напруга стане рівним нулю. Для того, щоб транзистор був відкритий, напруга затвор-витік Uзв слід підтримувати рівним нулю, що забезпечує мінімальний опір каналу. Якщо ж ця напруга стане більшою за нуль, керуючий pn-перехід відкриється, і вихід комутатора виявиться з'єднаним з ланцюгом управління. Рівність нулю Uзв непросто реалізувати, оскільки потенціал початку змінюється відповідно до зміни вхідного потенціалу. Найпростіший шлях подолання цієї проблеми показаний на рис. 2.8б.

Якщо напругу Uупр встановити більше, ніж максимально - можлива вхідна напруга комутатора, діод VD закриється і напруга Uзв буде, як і потрібно, дорівнює нулю. При досить великій негативній керуючій напрузі діод буде відкритий, а польовий транзистор закритий. У такому режимі роботи через резистор R1 тече струм джерела вхідного сигналу в ланцюг керуючого сигналу. Це не заважає нормальній роботі схеми, тому що вихідна напруга комутатора в цьому режимі дорівнює нулю. Порушення нормального режиму роботи такої схеми може статися лише у випадку, якщо ланцюг вхідного сигналу містить розділовий конденсатор, який при закритому транзисторі комутатора зарядиться до негативного рівня напруги управління.

Проблеми подібного роду не виникають, якщо як ключ використовувати польовий транзистор з ізольованим затвором (МОН-транзистор). Його можна переводити у відкритий стан, подаючи керуючу напругу більшу, ніж максимальна вхідна позитивна напруга, причому і в такому режимі роботи струм затвора дорівнюватиме нулю. Таким чином, у цій схемі комутатора відпадає необхідність у діоді та резисторі R1. Схема ключа на МОН-транзисторі наведено на рис. 2.9а. Тут ключом є n-канальний МОН-транзистор збагаченого типу, який не проводить струм при Uзв <= 0. У цьому стані опір каналу, як правило, досягає одиниць або навіть десятків МОм, і сигнал не проходить через ключ. Подача на затвор щодо витоку значної позитивної напруги призводить

канал у провідний стан з типовим опором від 20 до 200 Ом для транзисторів, які використовуються як аналогові ключі

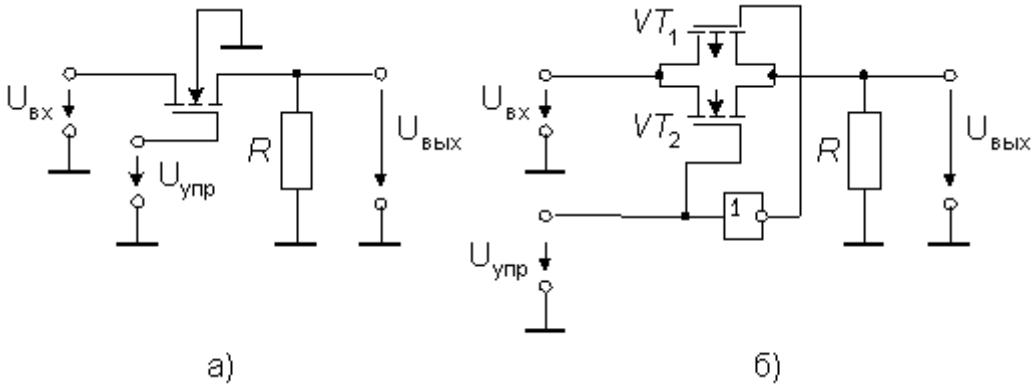


Рис.2.9. Послідовні ключі на МОН транзисторах.

Наведена на рис. 2.9а схема буде працювати при позитивних вхідних сигналах, які принаймні на 5 менше, ніж Uупр; при вищому рівні сигналу напруга затвор-витік буде недостатньо, щоб утримати транзистор у відкритому стані (опір каналу у відкритому стані Ro почне рости); негативні вхідні сигнали викликають увімкнення транзистора при заземленому затворі. Тому, якщо треба перемикати сигнали обох полярностей (наприклад, в діапазоні від -10 до +10 В), то можна використовувати таку ж схему, з'єднавши підкладку з джерелом -15 і подаючи на затвор напруги +15 В (включено) і -15 (вимкнено).

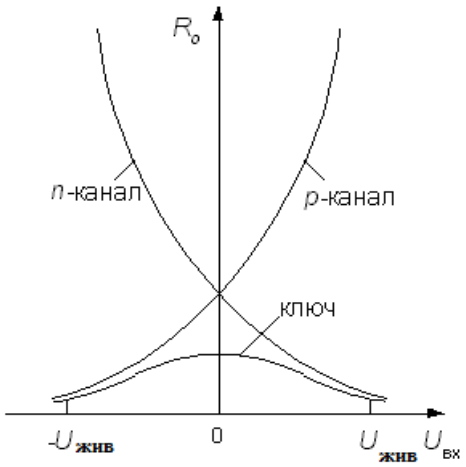


Рис.2.10. Залежність опору каналів транзисторів КМОП-ключа від $U_{вх}$

Найкращими характеристиками мають ключі на комплементарних МОП-транзисторах (КМОП-ключі), рис. 2.9б. Тут на підкладку транзистора VT1 подається позитивне керуючого сигналу напруга на затворі n-канального транзистора VT2 практично +Uжив. В такому випадку керуючого сигналу напруга на затворі n-канального транзистора VT2 майже дорівнює +Uжив. У такому разі транзистор VT2 проводить сигнали з рівнями від -Uжив до +Uжив без кількох вольт (при більш високих рівнях сигналу Ro починає катастрофічно зростати). У цей час напруга на затворі VT1 практично дорівнює Uжив. Транзистор VT1 пропускає сигнали з рівнями від +Uжив до значення на кілька вольт вище -Uжив. Таким чином, всі сигнали в діапазоні від +Uжив до -Uжив проходять через двополюсник з малим опором (рис. 2.10). При перемиканні керуючого сигналу на низький рівень, напруга на затворі n-канального транзистора VT2 встановлюється близьким до -Uив, а напруга на затворі p-канального транзистора VT1 встановлюється близьким до +Uжив. Тоді, при -Uжив < Uвх < +Uжив, обидва транзистори замкнені, і ланцюг комутатора розімкнуто. В результаті виходить аналоговий перемикач сигналів в діапазоні від низької напруги живлення ключа до високої напруги його живлення. Ця схема працює у двох напрямках - будь-який її затискач може бути вхідним. Вона є основою практично для всіх ІМС аналогових комутаторів, що випускаються в даний час.

Вітчизняна промисловість випускає двонаправлені ключи К561 КТ3 (аналог CD 4066) та К176КТ1 (аналог CD 40016) параметри яких наведено у Табл.2

Таблиця 2. Параметри та характеристики двонаправлених аналогових ключів

Двонаправлені аналогові ключі			
Параметри	К176КТ1	CD40667	CD4016
Напруга живлення , В	±3 ±9.45	±2.0 ±12.0	±2,5 ±7.5
Час перемикання, ns	20-25	20	20
Опір канала, Ом при 25 Cº	500	5-200	5-300
Потужність споживання, Вт	0/5	0.6	0/5
Робоча температура, Cº	-10 +70	-40 +85	-55 +125

Посилання: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4016b.pdf

https://www.microshemca.ru/M.K176KT1

https://studfile.net/preview/1198553/page:6/

3.Розробка структурної схеми нормуючого підсилювача

Розглянувши властивості операційних підсилювачів можливо сформувати вигляд структурної схеми нормуючого підсилювача. Необхідно: блок живлення (Бж), відповідний операційний підсилювач (К), обернений зв‘зок (В) та система управління перемиканням коефіцієнта підсилювача К. Структурна схема нормуючого підсилювача представлена на Рис.3.1

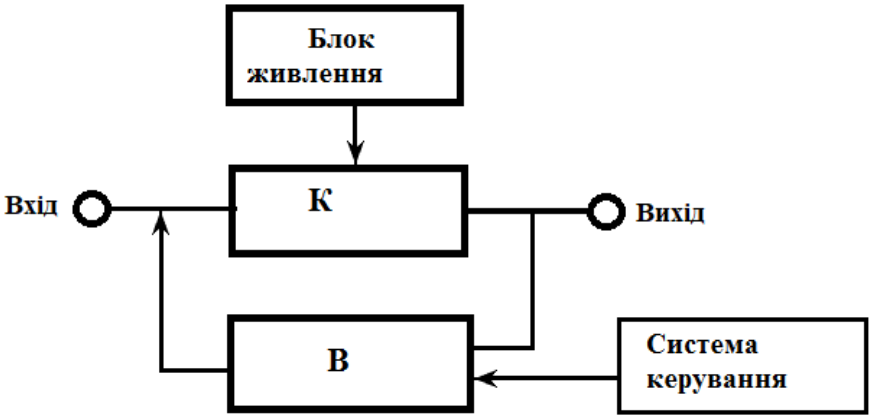


Рис.3.1. Структурна схема нормуючого підсилювача

Згідно цієї структурної схеми та вимог технічного завдання розроблена принципова схема нормуючого підсилювача, яка представлена на Рис. 3.2

3.1.Розробка принципової схеми нормуючого підсилювача

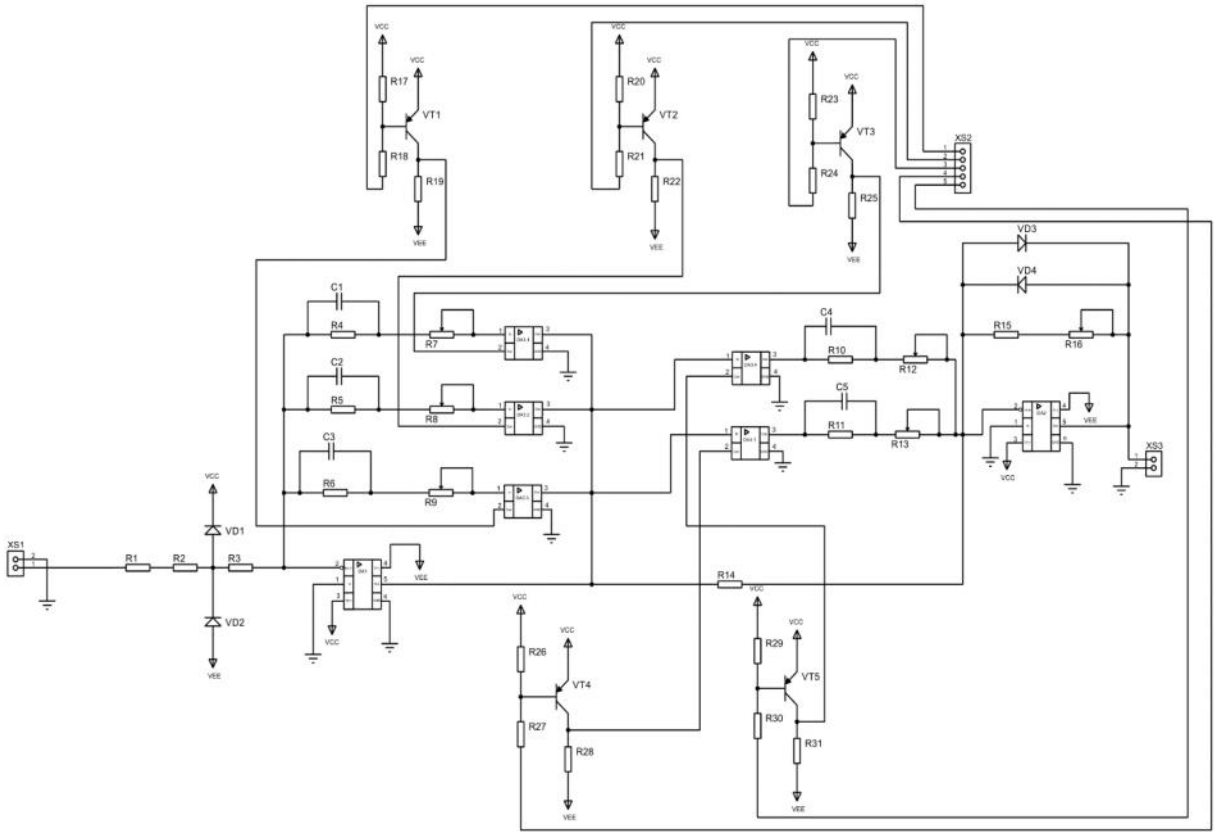


Рис. 3.2. Принципова схема нормуючого підсилювача

На принциповій схемі використовуються два підсилювача AD820 (DA1-DA2). Також використовуються два електронних перемикача К176КТ1(CD4016), які розділені на 5 тразисторних ключів(Т1-Т5), для перемикання коефіцієнта підсилення(DD1-DD1.5). Для точного налогодження опору у колах зворотнього зв‘язку встановлені змінні резистори (R7-9 та R12-13). Так як використовуються тільки інвертуючі входи підсилювачів, неінвертуючі підключені до землі. Для запобігання виникнення перенавантаження на підсилювачі, використовуються діоди D1 та D2 на ході DA1, Ця схема має коефіцієнти підсилення DA1 K_1=0.5, 0.05, 0.005 та DA2 K_2=0.2, 2, 20, що забезпечує загальний коефіцієнт підсилення 0.001, 0.01, 0.1, 1.0 та 10. Живлення схеми здійснюється двополярним джерелом ± 9 В.

DA1, DA2 інтегральні операційні підсилювачі AD820

Порядок розрахунку:

Вихідна напруга інвертуючого підсилювача за формулою :

$$V_O = V_I \times \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) U_{вих} = U_{вх} \times (-R_2/R_1),$$

Задаємо заначення R_1. Співвідношення опору резистора R_1 і джерела вхідного сигналу визначає похибку підсилення. Припустимо, що опір джерела малий (наприклад, 100Ом), для отримання похибки в 1% потрібно вибрати R_1 =10кОм. В даному випадку у якості опору R1 обрано резистор 201 К, що забезпечує точність перетворення напруги при вихідному опорі джерела сигналу 1 К точність перетворення не гірше 0.5%. При перетворені вхідний сигнал двічі інвертується і на виході сигнал знаходится у тій же фазі що і вхідний.
Для розширення діапазону робочих частот використовується два операційних підсилювача у яких постійна часу кола зворотнього зв‘язку на всіх діапазонах підсилення складає порядка 0.3 мкс.

Коефіцієнт підсилення схеми визначається за формулою :

$$K = R_2/R_1$$

Задамо коефіцієнти перетворення відповідним вибором резисторів

$K_{0.005}$= 1k/200 k;

$K_{0.05}$= 10k/200 k;

$K_{0.5}$= 100k/200 k;

$K_{2.0}$= 20k/11 k;

$K_{20.0}$=20k/1 k.

В якості резисторів оберемо резистори типу МЛТ 0.125.

Розрахуємо ширину смуги пропускання при заданому підсиленні:

Максимальна робоча частота (GBR) = 1.8 МГц

Максимальний коефіцієнт підсилення схеми $К_{мах}$ - 20;

Частота перетворення, кГц - $GBR/ К_{мах}$ =1,8 МГц/20 = 90 кГц;

Розрахуємо мінімальну швидкість наростання вихідної напруги (SR), яка потрібна для мінімізації спотворень за формулою:

$$SR \geq 2\times\pi\times f\times U_{вих} = 2\times 6.28\times 90\ кГц\times 5\ В = 2,8\ В/мкс,$$

що задовольняє параметри операційного підсилювача AD 820 який дорівнює 3.0 В/мкс.

Таким чином ця умова виконана.

Для задання одинакової постійной часу підбираємо ємності у колі зворотнього зв'зку $CR = 100\ К\times 3\ пФ = 1\times 10^{5}\times 3\times 10^{-12} = 0.3$ мкс.

Щоб уникнути проблем зі стабільністю, необхідно переконатися, що нулі частотної характеристики, створені резисторами і вхідною ємністю, знаходяться нижче смуги пропускання схеми

$$1/2\times\pi\times (C_{см}+C_{діф.})\times (R_2 \parallel R_1) > GBR/ К_{мах} = 1/ 2\times 3,14 (0.5 + 2.8)\times$$
$$10^{-12}\ пФ \times (20\ К \parallel 1к) = 5.1\times 10^{10}\ Гц > 90\ кГц.$$

В даному випадку $С_{СМ}$ та $С_{діф}$ - синфазна та диференціальна вхідні ємності операційного підсилювача $С_{СМ}$ =0.5пФ, $С_{діф}$ =2,8 пФ. Так, як 5.1×10^{10} Гц > 90кГц то потрібна умова виконана.

3.2. Розрахунок ключового режиму роботи транзистора

Розрахуємо ключовий режим роботи транзистора, який керує мікросхемою К176КТ1 електронним ключем (Рис.3.3.).

Усі мікросхеми серії незалежно від призначення та складності характеризуються електричними параметрами, які мають такі значення :

Напруга джерела живлення, ... 9±5%

Вихідна напруга логічного О, В. . . . <0,3

Вихідна напруга логічної 1, ... >8,2

Статична завадостійкість, В..... 0,9

Вхідний струм логічного 0, мкА ..... - 0,1

Вхідний струм логічної 1, мкА..... <0,1

Коефіцієнт розгалуження після виходу (статичний) 100

Максимальний вихідний струм у станах 0 та 1, мА 1

Найменший опір навантаження, при якої зберігається рівень логічної 1 на виході, ком 150

Діапазон допустимих значень вхідної напруги, В..... — 0,2-+ Ui.п

Середній час затримки поширення сигналу через логічний елемент, ns..... 250

Найбільша частота перемикання, МГц. 1

Потужність, що споживається одним логічним елементом в статичному режимі, мкВт..... <0,25

Конструктивно мікросхеми оформлені у пластмасові корпуси з 14 або 16 вводами.

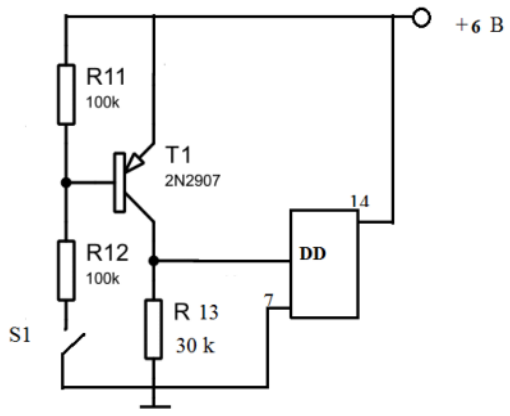


Рис.3.3.Схема управління електронним ключем К176КТ1

Виходячі з параметрів електронного ключа напруга живлення не може перевищувати 9 В, у зв‘зку з чим живлення транзистора Т1 теж примемо 9 В. Враховуючи, що транзистор Т1 pnp, на базу транзистора потрібно подати від’ємну напругу по відношенню до колектора, Обмежимо колекторний струм резистором R13 9 В /30 кОм=3 мА. ключовий режим роботи транзистору Т1. При напрузі на базі транзистора -3.0 В яка буде при замкнутому ключі S1 транзистор буде відкритий і через ділянку колектор-емітер буде протікати струм, який відкриє електронний ключ. При розімкнутому ключі S1 струм через ділянку емітер-колектор транзистора Т1 менше порогового, транзистор закритий. Маємо на вході К176 КТ1 логцічний нуль. Визначимо потужність розсіювання опорами R11, R12, R13.

$$I = 9\ В/200\ К = 45 \times 10^{-6}\ А,$$

$$P = I \times U = 45 \times 10^{-6}\ А \times 9\ В = 4.5 \times 10^{-4}\ Вт,$$

Обираємо резистор типу МЛТ 0.125 Вт;

$$R13\quad I = U/R13 = 9\ В/\ 30\ К = 3 \times 10^{-4} А,$$

$$P = I\ U = 9\ В \times 3 \times 10^{-4} А = 2.7 \times 10^{-3}\ Вт,$$

Обираємо резистор типу МЛТ 0.125 Вт;

3.3 БЛОК ЖИВЛЕННЯ

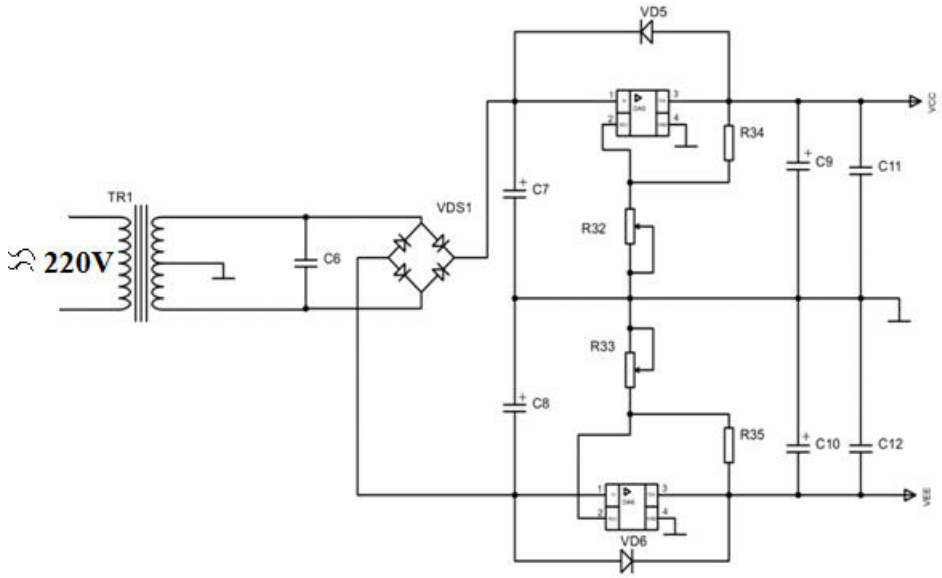


Рис.3.4. Блок живлення нормуючого підсилювача

Напруга змінного струму з вторинної обмотки трансформатора надходить на конденсатор С6, який зменшує перешкоди, а після нього на діодний міст VDS1, де випрямляється і надходить на лінійні стабілізатори LM317 і LM337. Регульований стабілізатор LM317 стабілізує позитивне плече, а стабілізатор LM337 стабілізує негативне плече.

Регулювання напруги здійснюється підстроювальними резисторами R32 і R33. Розрахувати необхідне значення можна за формулою (для позитивного плеча):

$$V_{out}=1.25(1+R32/R34)$$

Для негативного плеча:

$$V_{out}=1.25(1+R33/R35)$$

Електролітичні конденсатори С7 , С8, С9 та С10 згладжують пульсації.

Діоди D6 та D5 захищають мікросхеми (LM317 та LM337) від розряду.

На виході блоку живлення маємо ±6В.

4. Конструкторсько–технологічна розробка плати

4.1. Проектування та розрахунок друкованої плати

Розрахунок по визначенню геометричних розмірів плати проводиться у наступній послідовпості. Знаходиться сумарна установочна площа $S_{мг}$, $S_{сг}$, Sвг відповідно для мало-, середньо- та великогабаритних електрорадіоелементів (ЕРЕ).

При виконанні такого поділу необхідно враховувати, що до малогабаритних ЕРЕ відносять мініатюрні резистори (0,125 Вт), діоди і стабілітрони у скляних корпусах, деякі типономінали керамічних конденсаторів та інші радіокомпоненти, які мають площу індивідуального встановлення $S_i \leq 1см^2$. До середньогабаритних ЕРЕ належать ІМС у прямокутних корпусах, резистори потужністю вище 0,5 Вт, конденсатори в циліндричних корпусах і подібні радіокомпоненти, які мають площу індивідуального встановлення $S_i \leq 2см^2$. До великогабаритних ЕРЕ належать потужні резистори, конденсатори в прямокутних корпусах, змінні резистори, трансформатори, напівпровідникові прилади з радіаторами та інші, індивідуальна площа встановлення яких $S_i > 2см^2$.

Під установчою площею ЕРЕ розуміють площу прямокутника (квадрата), в яку вписується ЕРЕ разом з виводом та контактними площинками при його установці на плати друкованої. Розраховується площа монтажної зони для середньої щільності монтажу за формулою:

$$S_м = 4S_{мг} + 3S_{сг} + 1{,}5S_{вг}$$

Коректуються і знаходяться розміри монтажної зони у відповідності із можливостями встановлення в корпус і стандартними лінійними розмірами друкованої плати (ДП). Під установочними площами ЕРЕ розуміють, площі прямокутників, в які вписані ЕРЕ разом із виводами та контактними площадками при встановленні їх на друковану плату.

В даній схемі до великогабаритних ЕРЕ відносяться: DA1, DA2, DA3.1-DA4.1, DA5, DA6, XS1, XS2, XS3, VDS1 тоді:

$S_{вг}$= (10.92×6.6×2) + (4.7×10.67) + (10.16×4.7) + (13.4×5.5×2) + (13.4×13) + (20.9×3.56) = 638.1 мм^2

До середньо-габаритних ЕРЕ відносяться:R1-R35, VD1-VD4, VT1-VT5 тоді:

$$S_{сг}=(4.2\times10.8\times35)+(0.4\times12\times4)+(0.5\times1.39\times5)=1610.28 \text{ мм}^2$$

До малогабаритних ЕРЕ відносяться: С1-С12 тоді:

$$S_{мг}=(2.5\times6.5\times12)=195 \text{ мм}^2$$

Необхідні для користування ДП, дані про елементи зведені до таблиці

Позначення	Тип	Ø виводів, мм	Ø конт. площадки, мм	Габаритні розміри, мм	К-сть, шт	Установча площа, мм^2	Установчий об'єм, мм^3
DA1, DA2	AD820	0.5	1.7	10.16×7.1×5	1	72.1	360.7
R1-R6, R10-R11, R14-R15, R17-R31, R34,R35	МЛТ 0.125	0.5	1.8	2.2×6×2.2	27	105.6	232.3
R7-R9,R12, R13, R16, R32, R33	KLS4-WH148	1	1	15×6×13	8	195	1170
C1-C6, C11, C12	К-73-17	0.5	1.8	2.5×6.5×5	8	32.5	81.3
C7-C10	ERS101	0.4	2.5	6.3×5.5×15	4	94.5	519.8
VD1-VD4	Д223А	0.6	1.8	0.4×12×0.4	4	38.4	15.4
VT1-VT5	2N2907	0.4	2.4	17×4.45×3.2	5	75.7	242.1
DA3.1-DA4.1	4016	0.5	1.65	20×8.4×8.5	2	170	1428
DA5	LM317	0.9	1.35	10.3×28×4.7	1	288.4	1355.5
DA6	LM337	0.9	1.4	10.16×26.3×4.7	1	267.2	1255.9
XS1,XS3	MSD	0.8	1.5	13.4×7.6×5.5	2	101.8	560.1
XS2	MSD	0.8	1.5	13.4×7.6×13	1	101.8	1323.9
Всього:						1543	8545

Площа монтажної зони:

$$S_м=6567,9 \text{ мм}^2$$

Вибираємо для ДП розмір згідно ГОСТ 10317-79 Плати друковані. Основні розміри 135×55 мм

4.2. Теплові характеристики пристрою

Розрахуємо чи потрібне додаткове охолодження плати. Для цього спочатку розрахуємо площу уявного кожуха:

Габаритні розміри плати – 135×55 мм.

Товщина плати - біля 1.5 мм.

Беремо кожух приблизно на 5 мм більший габаритів плати, тобто для блоку кожух буде 140х60х45 (мм×мм×мм).

Так, як наша плата буде вбудована в інший прилад, тому беремо висоту найвищого елементу та беремо на 5-10мм більше.

Тепловий режим електронної апаратури характеризується залежністю температури нагріву компонентів пристрою від температури навколишнього середовища. Ця залежність визначається розсіюваною потужністю всіх електронних та електричних компонент, розміщених в обємі пристрою. Отже, однією з умов експлуатації електронного пристрою є температура навколишнього середовища, яка може вплинути на надійність його роботи. Такий вплив пояснюється існуванням максимально допустимих температур, при яких тривалий час можуть працювати електронні компоненти в необхідному режимі.

Розрахунок проведемо для максимальної температури навколишнього середовища +50 С, згідно ГОСТ 15-150.

При аналізі теплових режимів враховують щільність розміщення компонентів в обємі пристрою, його геометричну форму та вид корпусу. Розрахунок теплових режимів проводять наступним чином:

1) Знаходять об’єм корпусу (кожуха) за формулою:

$$V_{кож}=A\times B\times H$$

2) Знаходять коефіцієнт форми:

$$S_ф = H/\sqrt[3]{V}$$

3) Визначають коефіцієнт заповнення:

$$K_и = V_{дп}/V_{кож}$$

4) Робимо припущення, що плата розподіляє тепло рівномірно. Кожний елемент має свою потужність розсіювання, а сумарна потужність визначається:

$$P_{роз} = \sum_{i=1}^{n} p^e$$

5) Знаходимо питому потужність на одиницю площі:

$$Q=P_{роз}/S$$

В значення S входить як фізична площа самих РЕА, так і площа доріжок.

6) Використовуючи номограми Глушицького за розрахованими даними *V, S,* $K_ф$ *і* $K^V_{зап}$ наближено знаходимо температуру навколишнього середовища і повітря.

7) З одержаних даних визначаємо вид корпусу, конвекції і якщо потрібно тип вентилятора.

Проводимо розрахунки теплових режимів згідно принятих кроків:

1. Знаходимо об’єм кожуха згідно формули:

$$V_{кож} = 140\times60\times45 = 378000(мм^3)$$

2. Коефіцієнт форми визначаємо згідно формули:

$$K_Ф = \frac{45}{\sqrt[3]{378000}} = \frac{45}{72,3} = 0.6$$

3. Коефіцієнт заповнення визначаємо як:

$$K^V = V_{дп}/V_{кож} = 0.77$$

1. Сумарну потужність визначаємо як суму розсіювальної теплової некорисної потужності всіх елементів на друкованій платі. Беручи до уваги, максимальну розсіювану потужність всього пристрою в межах 1,8 Вт.
2. Знаходимо питому потужність на одиницю площі з номограми : По заданій площі визначається площа умовно нагрітої зони при визначених коефіцієнтів форми та заповнення дорівнює 0,08 м^2.
3. Питому потужність на одиницю площі визначеної з графіків Глушицького

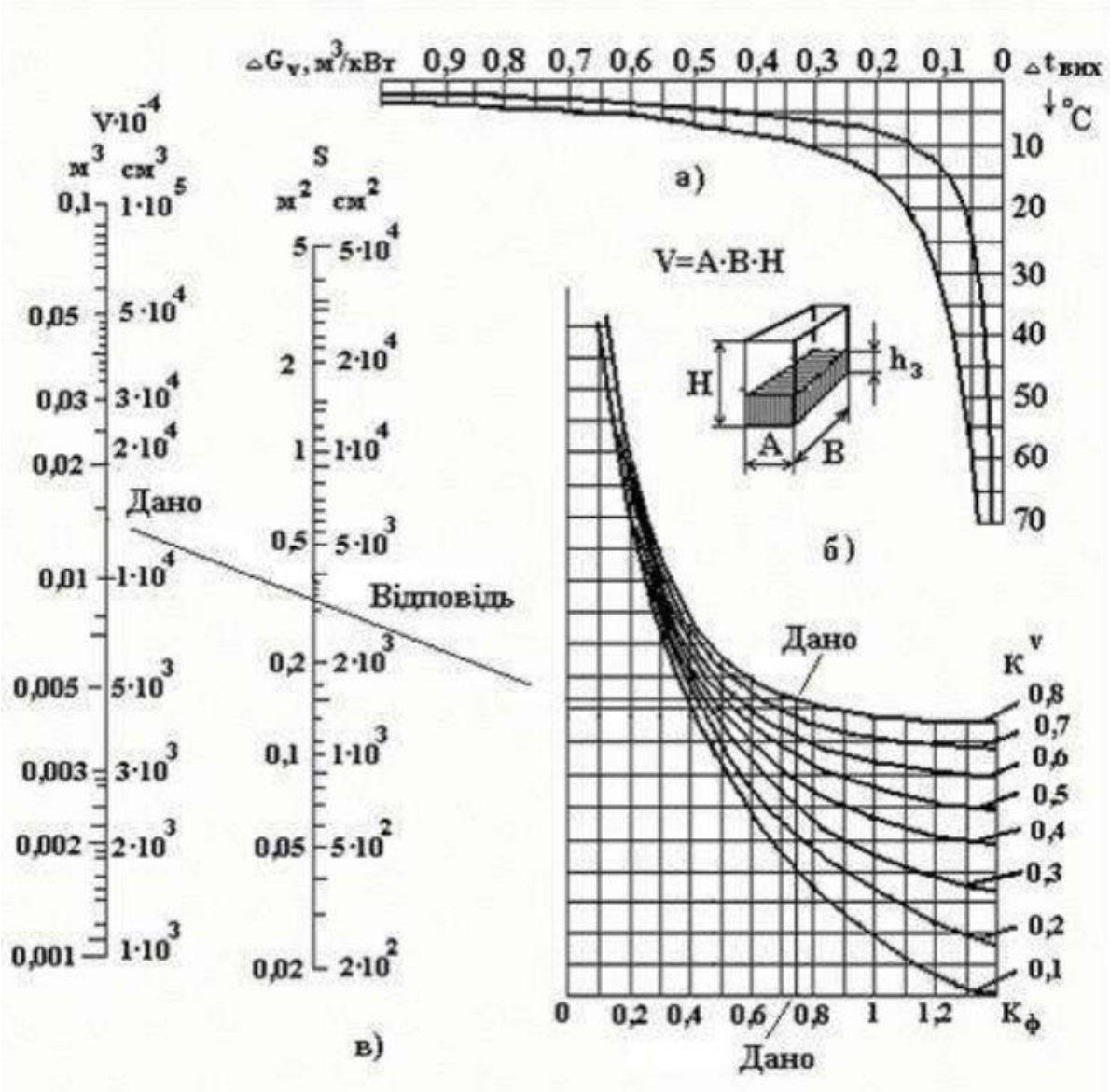


Рис. 4.1. Номограма для визначення поверхні нагрітої зони

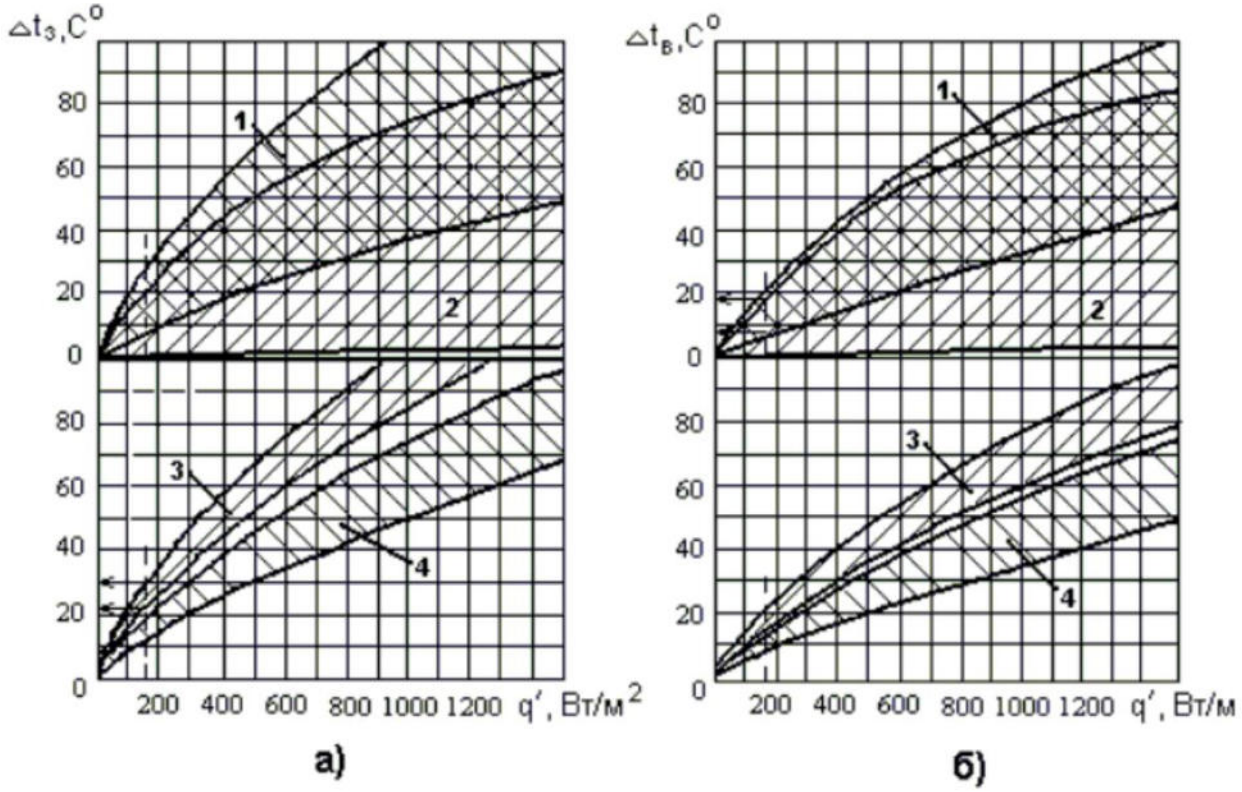


Рис. 4.2. Визначення перегріву $\Delta t_з$ нагрітої зони

$q` = 1.8\ Вт/0,08=22.5 Вт/м^2$

По визначеної питомої потужності нагрітої зони за номограмою Рис.4.2. визначаємо значення температури перегріву нагрітої зони Δ tз =5°С. Тому при розрахунку імовірності надійності поправочні коефіцієнт будемо брати для максимальної температури 35+5=40 °С, для розрахунків приймемо температуру т 50 °С, яка може виникнути при неправильній експлуатації.

4.3. Розрахунок характеристик надійності пристрою

Основною кількісною характеристикою надійності є функція надійності P(t), або скорочено надійність, яка по визначенню рівна імовірності того, що в заданому інтервалі часу або в межах заданого напрацювання при заданих режимах і умовах експлуатації відмов в системі не виникає, тобто

P(t) = W{T>t}, де *T* – час безвідмовної роботи системи, *t* – заданий час,

W{A} – імовірність події *A*, у даному випадку подія *A* заключається у тому, що *T>t*.

Непередбачувані експлуатаційні відмови представляють собою непередбачувані відмови повнонадійної РЕА, які виникають в період нормальної експлуатації, коли проробка пристрою вже закінчилася, а зношування і природне старіння ще не настали. Ці відмови обумовлені лише випадковими факторами, такими як: приховані внутрішні дефекти, які не можуть бути виявлені системою технологічного контролю; рівно імовірні, і тому не передбачені схемою та конструкцію технологічні дефекти; відхилення режимів роботи; співставлення параметрів концентрації зовнішніх навантажень і внутрішніх напружень; помилки операторів у період експлуатації. У зв'язку з перерахованими причинами поява таких відмов принципово не виключена і рівно імовірна в часі: *λ0 = const*.

Розрахунок характеристик надійності полягає у визначенні показників надійності виробу по відомим характеристикам надійності складових компонент і умовам експлуатації.

$$P(t) = exp\ (\sum_{j=1}^{m} \lambda_j N_j)$$

Напрацювання системи на відмову отримуємо по формулі :

$$T_{ср.с} = {}^{1}/_{\sum_{j=1}^{m} \lambda_j N_j}$$

При уточненому розрахунку надійності враховують зовнішні дії, впливи теплових і електричних навантажень елементів пристрою. Розрахунок проводять по формулі:

$$P(t) = \exp\ (-k_\lambda \sum_{j=1}^{m} \lambda_j N_j)$$

Де $\lambda_j = \alpha j\ \lambda_0 jkн$,

k λ = k λ1 k λ2 k λ3,

P(t) – імовірність безвідмовної роботи;

λ_j – інтенсивність відмов елементів j-ої рівнонадійної групи при заданих експлуатаційних даних;

λ0j – інтенсивність відмов елементів j-ої рівнонадійної групи в номінальному режимі;

αj – поправочний коефіцієнт інтенсивності відмов j-ої групи, що враховує вплив температури навколишнього середовища і електричне навантаження елемента;

$k_н$ – коефіцієнта навантаження елемента;

kλ – враховує умови експлуатації радіоелектронної апаратури;

kλ1– вплив механічних факторів (вібрація, ударні навантаження);

kλ2 – вплив кліматичних факторів (температура, вологість);

kλ3 – умови роботи при пониженому тиску.

Значення поправочного коефіцієнта αj в залежності від температури і коефіцієнта навантаження kн знаходять в довіднику, коефіцієнти kλ1— kλ3 також. При цьому під коефіцієнтом навантаження kн розуміють відношення робочого навантаження, встановленого по визначеному параметру, який діє на елемент, до цього номінального навантаження, що встановлене нормативнотехнічною документацією.

Згідно ТЗ умови експлуатації приладу стаціонарні. Для стаціонарних умов характерно:

t= +10 – +35 °С;

вологість 50% – 80%;

атмосферний тиск 84 – 106 кПа.

По відповідних таблицях знаходять коефіцієнти: $K_м$=1; $k_в$=1; $k_{а.т.}$=1;

Отже, $k_е$=1.

Коефіцієнт αj знаходять для кожної групи окремо, враховуючи більш ширший діапазон температур (+1...+50 °С) і рекомендовані значення $k_н$.

Далі складається таблиця згідно електричного розрахунку принципової схеми і вибраної елементної бази. Довідникові дані про λ_{oj} знаходять з відомих джерел.

Примітка: розрахунок надійності проводили без врахування монтажу.

Напрацювання на відмову:

$$T = {}^{1}/_{\lambda_{\Sigma}} = 1/505*10^{-8} \ [год] = 19800 \ [год]$$

З врахуванням часу наробітки приладу 20000 год., отримаємо:

$$P_{(20000)} = e^{-\lambda \Sigma * t} \approx 1 - \lambda_{\Sigma} \times t \approx 0.99$$

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1 Розрахунок собівартості приладу

Собівартість продукції — це витрати на її виробництво і реалізацію, що включають в себе вартість витрачених сировини і матеріалів, заробітну плату працівників, витрати по утриманню й експлуатації устаткування та інші поточні витрати. Проведемо розрахунок собівартості виготовлення спроектованого пристрою у вигляді калькуляції. Для цього скористаємось методом побільшеного розрахунку собівартості - методом питомої ваги, що забезпечує прийнятну похибку (~5%) прогнозування собівартості.

Цей метод полягає у пропорційному віднесенні непрямих витрат до суми витрат на основну заробітну плату виробничих робітників та витрат на утримання та експлуатацію устаткування. При розрахунках потрібно врахувати додаткові умови: затрата лаку на площу 1 см = 0,008 кг, затрата припою 1 ніжка = 3×10^{-6} кг; кількість виробів; кількість працюючих.

Провівши такий розрахунок ми можемо оцінити економічний ефект від впровадження розробленого виробу. Калькуляція собівартості спроектованого приладу таблиця 5.1.

Таблиця 5.1. Калькуляція собівартості спроектованого приладу

І №п/п	Стаття витрат	Сума, грн
1	Основні матеріали	4,52
2	Покупні комплектуючі вироби і напівфабрикати	203,8
3	Основна заробітна плата виробничих робітників	15,88
4	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1,59
5	Відрахування ЄСВ	3,91
6	Витрати на утримання та експлуатацію устаткування	12,7
7	Цехові витрати	7,94
8	Загально заводські витрати	19,09
9	Інші виробничі витрати	1,08
Разом:	Виробнича собівартість $С_{вир}$	270,51
10	Позавиробничі витрати	11,8

Разом:	Повна собівартість $С_{повн}$	282,31

Розрахунок кількості і вартості матеріалів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Розрахунок кількості і вартості матеріалів представлений у вигляді табл. 5.2. Для визначення кількості витраченого припою, з врахуванням затрати на паяня 1 ніжка = 3×10^{-6} кг, розрахуємо масу необхідну для нашого виробу. Кількість ніжок -134. Тоді:

К-сть(припою)=$134\times3\times10^{-6}$=0,0004кг

Ціна необхідного припою визначається:

Ціна припою=690×0,0004=0,28грн

де 690 - ціна за 1 кілограм припою ПОС61 1.0 мм з флюсом (http://www.euro-k.com.ua/?q=node/45)

Для визначення кількості витраченого лаку, з врахуванням затрати на площу 1 см2 = 0,0008 кг, розрахуємо масу лаку необхідну для нашого виробу. Площа друкованої плати рівна 13,2см×5,08см=67.05 $см^2$. Двосторонє покритя, тоді: К-сть(лаку)=67.05×2×0,0008=0.1(кг)

Ціна необхідного лаку визначається:

Ціна лаку=36,5×0,1=3,65грн де 36,50 - ціна за 1 кілограм лаку НЦ-134

№ п/п	Найменування матеріалу	Профіль, сорт, марка, розмір, ГОСТ, ДСТУ, ТУ	Одиниця виміру	К-сть	Ціна за одиницю	Сума, грн.
1	Припій ПОС61	ГОСТ 21930-76	кг	0,0004	690,00	0.28
2	Лак НЦ-134	ТУ6-101291-77	кг	0,1	36,50	3.65
Разом:						3.93
Зворотні відходи (1-5% від вартості матеріалів)						0,2
Транспортно-заготівельні витрати (7-10% від загальної вартості матеріалів)						0,39
Разом.						4,52

Розрахунок кількості і вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу. Розрахунок кількості і вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів представлений у вигляді табл. 5.3.

Таблиця 5.3

№ п/п	Найменування покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів	Марка, розмір, ГОСТ, ДСТУ, ТУ, DIN, ISO	Одиниця вимірювання	К-сть	Ціна за один. грн	Сума, грн
1	2	3	4	5	6	7
1	DA1,DA2	TDA820	шт.	2	12,35	24,7
2	R1, R2, R4, R14, R17, R18, R20,R21,R23, R24, R26, R27,R29, R30	МЛТ-0,125-100 кОм ±10%	шт.	14	1	14
3	R34,R55	МЛТ-0,125-25 кОм ±10%	шт.	2	1	2
4	R19, R22, R25, R28, R31	МЛТ-0,125-22 кОм ±10%	шт.	5	1	5
5	R15	МЛТ-0,125-20 кОм ±10%	шт.	1	1	1
6	R11	МЛТ-0,125-11кОм ±10%	шт.	1	1	1
7	R5	МЛТ-0,125-10кОм ±10%	шт.	1	1	1
8	R32,R33	МЛТ-0,125-5кОм ±10%	шт.	2	1	2
9	R3, R6, R7, R10, R16	МЛТ-0,125-1кОм ±10%	шт.	5	1	5
10	R8, R13	МЛТ-0,125-500Ом ±10%	шт.	2	1	2
11	R9, R12	МЛТ-0,125-100Ом ±10%	шт.	2	1	2
12	C4	К-73-17 100В 470пФ	шт.	1	5	5
13	C3	К-73-17 100В 220пФ	шт.	1	1.6	1,6
14	C9, C10	К50-24 100В 100пФ	шт.	2	1	2

№ п/п	Найменування покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів	Марка, розмір, ГОСТ, ДСТУ, ТУ, DIN, ISO	Одиниця вимірювання	К-сть	Ціна за один. грн	Сума, грн
15	C2	К-73-17 100В 27пФ	шт.	1	1	1
16	C5	К-73-17 100В 22пФ	шт.	1	1	1
17	C1	К-73-17 100В 3пФ	шт.	1	1	1
18	C6, C11, C12	К-73-17 100В 100нФ	шт.	3	1	5
19	C7, C8	К50-24 100В 100нФ	шт.	2	1	5
20	VD1-VD4	1N4007	шт.	4	0,4	1,6
21	VT1-VT5	2N2907	шт.	5	1,4	7
22	DA3.1-4.1	4016	шт.	2	13,72	27,44
23	DA5	LM317	шт.	1	12	12
24	DA6	LM337	шт.	1	11	11
25	Плата друкована	130×50	шт.	1	50	50
Разом:						185,3
Транспортно-заготівельні витрати(7-10% від загальної вартості виробів і напівфабрикатів)						18,5
Разом:						203,8

Розрахунок основної заробітної плати виробничих робітників:

До основної заробітної плати виробничих робітників, що включається до собівартості, входить оплата робітникам відрядникам і погодинникам, що безпосередньо зайняті виготовленням спроектованого приладу.

Основну заробітну плату визначають шляхом множення трудомісткості виготовлення спроектованого приладу на годинну тарифну ставку відповідно розряду робіт.

Трудомісткість виготовлення спроектованого приладу на стадіях ескізного і технічного проектів визначають на підставі отриманих трудомісткостей виготовлення аналога та його складових частин.

Розрахунок основної заробітної плати по складанню, монтажу, регулюванню і випробуванню спроектованого приладу представлений у вигляді табл. 5.4.

Погодинна оплата праці яка діє з 01.0.1.2021 (Мінімальна зарплата 6000 гр.) становить 36,11 (гривень на годину). З врахуванням коефіцієнта підвищення окладу розрахуємо для кожного розряду.

3 розряд = 36,11 ×1,18 = 42,60 грн.*год;

4 розряд = 36,11 ×1,27 = 45,85 грн.*год;

5 розряд = 36,11 ×1,36 = 49,11 грн.*год.

Трудомісткість операції - встановлення і пайка залежить від кількості елементів і їх складності. Тому з врахування затрати часу на одну пайку 0,0014 год і встановлення 0,0006 год визначимо час для пайкі і встановлення всіх елементів. Трудомісткість (пайка) =134×0,0028=0,37;

Трудомісткість (встановлення) = 63×0,0006+0,05=0,09, Загальна трудомісткість = 0,11+0,09=0,2.

Таблиця 5.4. Розрахунок основної заробітної плати по складанню, монтажу, регулюванню і випробуванню спроектованого приладу

№ п/ п	Зміст операції	Фах	Розряд роботи	Годинна тарифна ставка, грн	Трудомісткість робіт, нормо-год.	Сума зарплати за тарифом.
1	Встановлення і пайка	17474	4	45,85	0,2	9,17
2	Контроль	60188	5	49,11	0,05	2,45
3	Лакування і збирання	18352	3	42,60	0,1	4,26
Разом						15,88

Розрахунок додаткової заробітної плати виробничих робітників:

До додаткової заробітної плати відносять оплату відпусток, лікарняних, виплати за вислугу років, вихідну допомогу.

Величина додаткової заробітної плати визначається процентом від суми основної заробітної плати виробничих робітників (10%) і складає:

$$ЗП(додаткова)=15,88 \times 10/100=1,59грн$$

Розрахунок відрахувань ЄСВ:

Відповідно до Закону від 24.12.2015 р. №909-VIII, єдина ставка нарахувань становить 22%. Визначається процентом від суми основної і додаткової заробітної плати виробничих робітників, а саме 15,88+1,59=17,77 грн. Процентна ставка 22% і складає 3,91грн.

Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію устаткування:

До витрат на утримання та експлуатацію устаткування відносять витрати на повне відновлення основних виробничих фондів та капітальний ремонт у вигляді амортизаційних відрахувань від вартості виробничого та підйомно-транспортного устаткування, цехового транспорту та інструментів із складу основних виробничих фондів на реконструкцію, модернізацію та капітальний ремонт фондів.

Величина витрат на утримання та експлуатацію устаткування визначається процентом від суми основної заробітної плати виробничих робітників. Розроблюваний прилад відноситься до радіотехнічних тому витрати на утримання та експлуатацію устаткування будуть складати 80% від 15,88 грн, а саме 12,70 грн.

Розрахунок цехових витрат:

Величина цехових витрат визначається по цехам відсотком від суми основної заробітної плати і витрат на утримання та експлуатацію устаткування Розроблюваний прилад відноситься до радіотехнічних тому цехові витрати будуть складати 50% від 15,88 грн, а саме 7,94 грн.

Розрахунок загальнозаводських витрат:

Величина загальнозаводських витрат визначається процентом від суми основної заробітної плати і витрат на утримання та експлуатацію устаткування.

Розроблюваний прилад відноситься до радіотехнічних приладів тому цехові витрати будуть складати 80% від 15,88+7,94=23,82 грн, а саме 19,09 грн.

Розрахунок інших виробничих витрат:

Величина інших виробничих витрат визначається процентом від суми всіх попередніх статей (0,2-0,4%). Треба знайти 0,4% від 4,52+203,8+15,88+1,58+3,91+12,70+7,94+19,09=269,42 грн. І це буде складати 1,08 грн.

Розрахунок позавиробничих витрат:

Величина позавиробничих витрат визначається процентом від величини виробничої собівартості (2 - 4%). Треба знайти 4% від 269,42 грн. і це буде складати 10,8 грн.

Розрахунок ціни спроектованого приладу:

Ціну спроектованого приладу можна визначити за формулою:

$$Ц=С_{повн}+П$$

де $С_{повн}$ - повна собівартість виготовлення спроектованого приладу, а П - запланований прибуток. Прибутковість підприємства характеризується таким показником як рентабельність. Величину рентабельності можна визначити за формулою:

$$Р=П/С_{повн}$$

Якщо прийняти величину рентабельності 20%, тоді:

$$П = Р\times С_{повн} = 0,2\times С_{повн}$$

Тоді ціну спроектованого приладу можна визначити за формулою.

$$Ц = С_{повн} + 0,2 \times С_{повн} = 1,2\times С_{повн}$$

Якщо підприємство є платником податку на додану вартість (ставка ПДВ 20%), то вихідна ціна на спроектований прилад буде слідуючою:

$$Ц_{вих}=1,2\times Ц$$

Розрахунок:

Згідно формули вказаної вище, ціна спроектованого приладу буде.

$$Ц=1,2\times 269,42=323,3 \text{ грн}$$

Із врахуванням ПДВ згідно формули вихідна ціна:

$$Ц_{вих}=1,2*323,3 = 388 \text{ грн.}$$

6.ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ І ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ НА ВИРОБНИЦТВІ ПРИЛАДУ

6.1 Загальні питання безпеки праці

Одним з найважливіших завдань охорони праці є забезпечення таких умов праці, які б виключали можливість дії на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Згідно із статтею 153 Кодексу законів про працю власник підприємства зобов'язаний забезпечити належне технічне обладнання всіх робочих місць і створювати на них умови праці відповідно до умов нормативних актів з охорони праці. Умови праці — це сукупність факторів виробничого середовища і виробничого процесу, які впливають на здоров'я і працездатність людини під час її професійної діяльності.

Працездатність — здатність людини до праці, яка визначається рівнем його фізичних і психофізіологічних можливостей, а також станом здоров'я і професійною підготовкою.

Безпека — відсутність неприпустимого ризику, що пов'язаний з можливістю нанесення ушкодження.

Безпека праці — стан умов праці, при якому відсутній виробничий травматизм.

Безпека умов праці — стан умов праці, при яких вплив на працюючого небезпечних і шкідливих виробничих факторів виключено або дія шкідливих виробничих факторів не перевищує гранично допустимих рівнів.

Безпека виробничого процесу — здатність виробничого процесу відповідати вимогам безпеки праці під час його проведення в умовах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Безпека виробничого устаткування — здатність устаткування зберігати безпечний стан при виконанні вказаних функцій в певних умовах протягом встановленого часу.

Умови праці поділяються на 4 класи:

1 клас — оптимальні умови праці, при яких зберігається здоров'я працюючих і працездатність підтримується на високому рівні;

2 клас — допустимі умови праці, при яких параметри факторів виробничого середовища не перевищують встановлені гігієнічні нормативи;

3 клас — шкідливі умови праці, які характеризуються наявністю факторів виробничого середовища і трудового процесу, рівні яких перевищують гігієнічні нормативи і можуть мати негативний вплив на організм працюючого; шкідливі умови праці поділяються на 4 ступені (за величиною перевищення гігієнічних нормативів і виразності змін у організмі працюючих);

4 клас — небезпечні (екстремальні) умови праці, що характеризуються таким рівнем виробничих чинників, коли їх дія протягом робочої зміни створює великий ризик виникнення тяжких форм гострих професійних уражень, отруєнь, ушкоджень, загрозу для життя.

Нанесення травми людині на виробництві обумовлене наявністю фізичних, хімічних, біологічних та психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Фізичні небезпечні виробничі чинники — це рухомі машини, елементи обладнання, вироби, матеріали, підвищена або знижена температура поверхні обладнання чи матеріалів, небезпечна напруга електричної мережі, енергія стиснутого газу, повітря тощо.

Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі чинники — це дія на людину їдких та подразнюючих речовино Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються:

— за характером дії на організм людини (загальнотоксичні, подразнюючі, канцерогенні, мутагенні);

— за шляхом проникнення до організму людини (через органи дихання, через травну систему, через шкіряний покрив).

Біологічні небезпечні та шкідливі виробничі чинники — це біологічні об'єкти, вплив яких на працюючих призводить до травми або захворювання (бактерії, віруси, рослини, тварини).

Психофізіологічні небезпечні та шкідливі чинники — це фізичні та нервово-психічні перевантаження.

Безпечність виробничих процесів забезпечується комплексом проектних та організаційних рішень. Це — вибір технологічного процесу, робочих операцій, черговості обслуговування обладнання тощо. Безпечність виробничих процесів полягає у запобіганні впливу небезпечних і шкідливих факторів на працюючих. Досягається це за допомогою організаційних заходів (навчання, інструктажі, виконання вимог інструкцій з охорони праці) та технічних засобів безпеки.

Дія технічних засобів захисту повинна забезпечити безпеку працюючих від початку робочого процесу до кінця і не повинна закінчитись раніше ніж припиниться дія небезпечного або шкідливого виробничого фактора.

Основними технічними засобами безпеки для запобігання виробничого травматизму є: огороджувальні та запобіжні пристрої, блокування, профілактичні випробування машин.

Основні вимоги, які пред'являються до технічних засобів безпеки— це підвищення продуктивності праці, зниження небезпеки та шкідливості при обслуговуванні обладнання та виконанні технологічних операцій, надійність і міцність, зручність під час обслуговування устаткування та засобів захисту, виконання вимог технічної естетики.

Важливу роль відіграє використання комплексної, механізації, автоматизації та дистанційного керування в тих випадках, коли дію небезпечних і шкідливих виробничих факторів не можна усунути.

Безпечність виробничого устаткування досягається: правильним вибором принципів дії, конструктивних схем, матеріалів, робочих процесів, максимальним використанням засобів механізації, автоматизації, дистанційного керування, включенням вимог до технічної документації по монтажу, експлуатації, ремонту, транспортуванню і зберіганню.

З точки зору охорони праці основними вимогами до устаткування є: безпечність для здоров'я і життя людей, надійність і зручність під час експлуатації. При проектуванні машин і механізмів обов'язково повинні враховуватися ергономічні вимоги: розміщення органів керування на робочому місці, зусилля для приведення в дію органів керування тощо.

При конструюванні устаткування частини, що обертаються і рухаються, комунікації (трубопроводи, кабелі тощо) необхідно розміщувати у корпусі машини, щоб виключити можливість доступу до них працюючих. Устаткування має відповідати вимогам електробезпеки і забезпечувати захист працюючих від ураження електричним струмом.

У конструкції устаткування повинні передбачатись вбудовані (місцеві) відсмоктувачі, необхідні для видалення пожежо- і вибухонебезпечних сумішей, небезпечних і шкідливих хімічних речовин, пилу тощо безпосередньо з місця їх виникнення. Для виключення або зниження до регламентованих рівнів шуму та вібрації необхідно застосовувати звукопоглинаючі матеріали, кожухи тощо.

Органи керування технологічним обладнанням повинні мати безпечні та зручні форми і поверхню, встановлюватись у безпечному для працюючих місці, приводитись у дію зусиллями, що встановлені відповідними нормами.

При монтажі всі стаціонарні машини, верстати, апарати тощо мають бути встановлені і закріплені таким чином, щоб виключити можливість їх зсуву під час роботи.

Під час експлуатації все технологічне устаткування має утримуватися у справному стані і використовуватись лише за призначенням. Крім того, необхідно виключити можливість випадкового дотику працюючих до устаткування, що має температуру понад 45℃, в разі неможливості — поверхні устаткування повинні мати теплоізоляцію або огородження.

Технологічне устаткування, обслуговування якого пов'язане з переміщеннями працюючого на висоті, повинне мати безпечні і зручні за конструкцією і розмірами робочі площадки, переходи та драбини. Майданчики та драбини висотою понад 0,5м від підлоги обладнуються поручнями висотою не менше 1 м.

Устаткування повинно підлягати періодичному профілактичному оглядові, ремонтам за графіками.

Щойно встановлене устаткування приймається комісією за участю представників органів державного нагляду за охороною праці.

6.2 Клімат виробничих приміщень

Мікроклімат виробничих приміщень - це метерологічні умови внутрішнього середовища цих приміщень, які визначаються спільною дією на організм людини температури, вологості, швидкості руху повітря, та теплового випромінювання. Клімат виробничих приміщень регламентується по ГОСТ 12.1.005-88.

Продуктивність праці та самопочуття працюючих залежить від стану довкілля і передусім від змін температури, швидкості руху повітря, атмосферного тиску, теплового випромінювання.

Відповідно до чинних санітарних норм метерологічні умови робочої зони визначаються на висоті 2 м над рівнем підлоги.

Робоча зона — простір, в якому знаходяться робочі місця постійного або тимчасового перебування працівників.

Робоче місце — місце постійного або тимчасового перебування працівника в процесі трудової діяльності.

Оптимальні мікрокліматичні умови — це таке поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалій і систематичній дії на людину забезпечують збереження нормального теплового стану організму без напруження механізмів терморегуляції. Вони забезпечують почуття теплового комфорту і створюють передумови для високого рівня працездатності.

Людина працездатна і гарно себе почуває, якщо температура навколишнього повітря знаходиться у межах 18-20 ºС, відносна вологість — 40-60 %, а швидкість руху повітря – 0,1-0,2 м/с.

При високій температурі, та вологості може статись перегрів тіла, навіть тепловий удар. Він може бути викликаний також інфрачервоним випромінюванням прямих сонячних променів. Висока температура у виробничому приміщенні призводить до інтенсивного перерозподілу крові від внутрішніх органів до шкіри. Змінюється діяльність серцево-судинної системи, пульс прискорюється і може досягти 100 ударів на хвилину, що спричиняє інтенсивне потовиділення, розширення судин шкіри. Фізична робота в умовах

підвищеної температури призводить до різкого прискорення серцебиття. Артеріальний тиск падає, дихання прискорюється.

При низькій температурі може статись переохолодження, що призведе до простудного захворювання. В умовах дії низьких температур поверхневі судини м'язів і шкіри рук, ніг, обличчя звужуються. Це призводить до зниження кровотоку на всіх ділянках тіла людини.

Підвищується в'язкість крові, що зменшує її приток до переохолодження поверхні.

Рух повітря здійснює одночасно термічний і механічний вплив. Мінімальна швидкість повітряного потоку, що відчувається людиною — 0,2 м/с.

Показники метеорологічних умов для виробничих приміщень нормовані з урахуванням важкості робіт та інтенсивності виділення теплоти обладнанням.

Усі роботи залежно від фізичного навантаження поділяються на 3 категорії: легкі, середньої важкості та важкі.

Легкі фізичні роботи:

— категорія 1 а — роботи, що проводяться сидячи і супроводжуються незначним фізичним напруженням (окремі професії на підприємствах точного приладо-та машинобудування, на годинниковому, швейному виробництві, в галузі управління тощо);

— категорія 1 б — роботи, що ведуться сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням і супроводжуються незначним фізичним напруженням (окремі професії в поліграфічній промисловості, на підприємствах зв'язку, контролери, майстри різних. виробництв тощо). Витрати енергії при виконанні легких фізичних робіт не більше 150ккал/год.

Фізичні роботи середньої важкості:

- категорія 2 а — роботи, пов'язані з постійним ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів у положенні сидячи або стоячи, що вимагають відповідного фізичного напруження (окремі професії у механоскладальному цеху машинобудівних підприємств тощо);

— категорія 2 б — роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням та перенесенням важких речей (до 10 кг), що вимагають помірного фізичного напруження (окремі професії у механізованих ливарних, прокатних зварювальних цехах машинобудівних та металургійних підприємств).

Витрати енергії при виконанні фізичних робіт середньої важкості — у межах 151 до 225 ккал/год.

Важкі фізичні роботи:

- категорія 3 — роботи, пов'язані з постійним перенесенням важких речей (понад 10 кг), такі, що вимагають великих фізичних зусиль (професії у ковальських цехах з ручним куванням, ливарних цехах з ручною набивкою і заливкою опок машинобудівних та металургійних підприємств тощо).

Витрати енергії при виконанні важких фізичних робіт понад 250ккал/год.

Заміри показників мікроклімату проводяться на початку, всередині й у кінці холодного і теплого періодів року не менше ніж 3 рази на зміну (на початку, всередині та в кінці).

Температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря міряють на висоті 1м від підлоги або робочого майданчика при роботах, що виконуються сидячи, і на висоті 1,5 м — при роботах, що виконуються стоячи.

Температуру у виробничому приміщенні заміряють ртутним або спиртовим термометром. Для замірів вологості використовують гігрометри, гігрографи і психрометри.

Найбільш розповсюджені стаціонарні психрометри Августа й Асмана). Швидкість руху повітря вимірюють здебільшого анемометрами.

Рівень шкідливих і небезпечних умов праці на промислових підприємствах, у робочій зоні визначають санітарні лабораторії цих підприємств або лабораторії з санітарно-епідеміологічних станцій. Для цього використовують відповідні прилади. Наприклад, рівень вібрації визначають вимірювачами шуму і вібрації (ВИП-2, ИПІВ-1, ВЩВ-003) тощо.

Посилання: ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартів безпеки праці. Шкідливі речовини. Класифікація та загальні вимоги безпеки.

6.3 Охорона праці при складально-монтажних роботах в процесі виготовлення приладу

Охорона праці при пайці і випалюванні ізоляції. Нині майже усі електромонтажні з'єднання РЕА здійснюються пайкою. Технологічний процес пайки включає випалювання ізоляції і лудіння.

При виконанні пайки на працюючих можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники:

запиленість і загазованість повітря робочої зони; наявність інфрачервоних випромінювань від розплавленого припою у ванні або від паяльника; наявність електромагнітного випромінювання високої частоти; дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, яка утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій; дія електростатичного заряду; незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість; незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні; дія бризок і крапель розплавленого припою; поразка електричним струмом; а також група психофізіологічних шкідливих виробничих чинників: фізичні перевантаження (статичні і динамічні) і нервовопсихічні (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Операції пайки, лудіння і випалення ізоляції супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами свинцю, олова, сурми і інших елементів, що входять до складу припою; парами каніфолі і різних рідин, вживаних для флюсу, змиву і розчинення різних лаків, які застосовуються для покриття друкованих плат; парами соляної кислоти; газами(окисел вуглецю, вуглеводня) і т. д. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються на аерозоль такої конденсації, частки якої по своїй диспертності наближаються до димів.

Знаходячись в запиленій атмосфері, робітники піддаються дії пилу і пари; шкідливі речовини осідають на поверхні шкірного покриву, потрапляють на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, із слиною заковтуються в травний тракт, вдихаються у легені. Разом із забрудненням

повітряного середовища забруднюються робочі поверхні, одяг і шкірні покриви працюючих.

Особливо шкідливі при пайці олов'яно-свинцевими припоями пари свинцю. Свинець і його з'єднання отруйні. Частина свинцю, що поступив в організм, виводиться через кишечник і нирки, а частина затримується в кістковій речовині, м'язах, мозку, печінці. За несприятливих умов свинець починає циркулювати в крові, викликаючи явища свинцевого отруєння. Свинець викликає зміни у складі крові, вражає нервову систему, нирки і печінку.

Властивість свинцю накопичуватися в організмі призводить до хронічного отруєння при систематичному надходженні в організм навіть малих його кількостей. Для запобігання гострим і професійним захворюванням вміст свинцю в повітряному середовищі не повинен перевищувати гранично допустимої концентрації — 0,01 мг/м^3.

У виробництві радіоелектронної апаратури окрім олов'яно-свинцевих припоїв знаходять застосування припої, до складу яких входять мідь, літій, срібло, кадмій і інші метали. В деяких випадках пайка здійснюється шляхом занурення в розплавлені хлористі солі кадмію, натрію, бору, літію з додаванням активних присадок — фтористих солей. Пари більшості з перерахованих речовин, що утворюються при пайці, можуть чинити шкідливу дію на організм працюючих.

Найбільш небезпечні пари окислу кадмію, міді і фтористі сполуки. Не байдужі для організму також літій і хлористий цинк, що чинять подразливу дію на шкіру і дихальні шляхи.

Пайка в атмосфері звичайними припоями робиться із застосуванням флюсів.

Біологічна дія флюсів на організм людини залежить від компонентів, що входять до складу паяльних флюсів. Одні компоненти (каніфоль соснова, етилацетат, олеїнова кислота та ін.) мають подразливу дію; інші (спирт етиловий) — наркотичним; треті (семікарбазид гідрохлорид, етилгліколь) —

високою токсичністю; дія четвертих (кремнійорганічна рідина) на організм ще вивчено недостатньо.

Деякі марки флюсів (ФГСп, ФДФс, ФСкСп та ін.) через високу токсичність рекомендується не застосовувати або обмежувати їх застосування. У всіх флюсах етилгліколь слід замінювати на гліцерин, оскільки він здатний проникати в організм навіть через неушкоджену шкіру.

Для видалення залишків флюсів після пайки залежно від марки флюсу застосовуються різні миючі середовища, які мають токсичні властивості.

Кожному різновиду процесів пайки і лудіння притаманні певні шкідливі і небезпечні фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні фактори, що відрізняються як кількісними, так і якісними характеристиками. При цьому деякі види паяння і лудіння утворюють одночасно кілька таких виробничих факторів, які можуть призвести до травмування та профзахворювань або виникнення пожеж і вибухів.

Такими потенційними небезпечними і шкідливими виробничими факторами можуть бути:

запиленість і загазованість повітря робочої зони;

наявність інфрачервоних випромінювань від розплавленого припою у ванні або паяльника;

наявність електромагнітного випромінювання високої частоти;

дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, яка утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій;

вплив електростатичного заряду;

незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість;

незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;

впливу бризок і крапель розплавленого припою;

ураження електричним струмом;

група психофізіологічних шкідливих виробничих факторів: фізичні перевантаження (статичні і динамічні), нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Всі різновиди процесів пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища аерозолем припою і флюсу, парами різних рідин, застосовуваних для флюсу, змивки і розчинення лаків, парами соляної кислоти, газами (окис вуглецю, вуглеводні) і т.д.

Операції пайки і лудіння супроводжуються забрудненням повітряного середовища в приміщеннях парами оксиду свинцю, олова, сурми та інших елементів, що входять до складу припою, а також парами каніфолі. Пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються в аерозоль конденсації.

Перебуваючи в запиленій атмосфері, робочі піддаються впливу пилу і парів; шкідливі речовини осідають на шкірному покриві, попадають на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, зі слиною потрапляють в травний тракт, вдихаються в легені. Поряд із забрудненням повітряного середовища забруднюються робочі поверхні і одяг працюючих. Ступінь впливу аерозолів залежить від хімічного складу, який визначається хімічним складом припою.

Більшість елементів, що входять до складу застосовуваних припоїв, є небезпечним для здоров'я та життя людини.

Однак аерозоль конденсації, що утворюється при пайці, містить кілька оксидів елементів, що входять до складу припою, і біологічна дія цього аерозолю буде залежати від того чи іншого компонента. В одних випадках спостерігається зниження токсичного ефекту на окремі органи людини, в інших - його дія стає біологічно активною, тобто відзначається синергетичний ефект. До найбільш токсичним відносяться припій, що містять свинець і кадмій.

Біологічна дія флюсів на організм залежить від компонентів, що входять до їх складу.

Для видалення залишків флюсів після пайки в залежності від марки флюсів застосовуються різні миючі засоби.

Запиленість і загазованість атмосфери виробничих приміщень залежать від виду пайки і лудіння, кількості постів паяння, марки припою, флюсу, змивки засобів локалізації та об'єму приміщень.

Таблиця 6.1 Клас небезпеки, ГДК та біологічна дія ШР при пайці ручним паяльником

Найменування ШР	Клас небезпеки	ГДК, мг/м^3	Біологічна дія на організм людини
Компоненти припою			
Свинець	I	0,01	Уражає всі органи та системи організму, має комулятивну здатність
Олово	III	10,0	Подразнююча (кашель, задуха)
Компоненти флюсу			
Каніфоль	IV	40,0	Подразнююча та наркотична дія
Миючи засоби			
Ацетон	IV	>200,0	Подразнююча та наркотична дія. Послідовно уражає усі відділи центральної нервової системи, має мулятивну здатність.
Спирт етиловий			
Бензин		400	

Питоме утворення аерозолю свинцю при лудіння і паянні олов'яно-свинцевими припоями наступне:

- при пайці електропаяльником:

потужністю 20-60 Вт ..... 0.02-0,04 мг/100 пайок;

- при лудінні зануренням у припій:

(віднесено до поверхні ванни) .... 300-500 мг / (м^{2}·ч);

- при лудінні і паяння хвилею:

(віднесено до поверхні хвилі) ..... 3000-5000 мг / (м^{2}·ч).

Залишки паяльного флюсу після операції лудіння і паяння містять свинець, який може надходити в повітря приміщення. Залишки флюсу від 1000 пайок, проведених електропаяльником, містять 0,4 мг свинцю.

Кількість оксиду вуглецю, що виділяється при випаленні ізоляції при температурі 800-900^{0}С, наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 Виділення оксиду вуглецю при випаленні 1 г ізоляції.

Матеріал	Кількість, мг/г	Матеріал	Кількість, мг/г
Вініпласт	240	Бавовна	100
Поліхлорвініл	180	Шовк	200
Поліетилен	100	Шовк вініпласт	190
Фторопласт	100		

Знаючи питоме пило - і газоутворення, можна визначити концентрацію в атмосфері аерозолю свинцю, мг/м^3:

а) при ручній пайці за формулою

$$C = 0{,}6ynN/V,$$

де y-питоме утворення свинцю;

n - кількість пайок у хвилину, шт.;

t - тривалість зміни, год;

N - кількість робочих місць, на яких ведеться пайка, шт.:

V - об'єм приміщення, м^3;

б) при лудіння занурюванням в припій за формулою

$$C = ySt/V$$

де S - площа поверхні ванни, м^2;

в) при пайку і лудіння хвилею за формулою

$$C = ySt/V,$$

де S - площа поверхні хвилі, м^2.

Концентрацію оксиду вуглецю або фтористого водню при випалі ізоляції можна визначити за формулою

$$C = ym/V,$$

де y - питоме утворення оксиду вуглецю або фтористого водню, мг / год;

m - маса обпалюється ізоляції, г.

Допустимі граничні концентрації шкідливих речовин у виробничих приміщеннях регламентуються по ГОСТ 12.1.007-76.

Враховуючи шкідливість початкових компонентів, що входять до складу припоїв, флюсів, миючих середовищ, і забруднення атмосфери виробничих приміщень пилом, парами і газами, для досягнення сприятливих умов праці необхідно провести комплекс наступних заходів:

1. Ділянки, на яких зосереджені операції пайки, виділяють в окремі приміщення. Якщо пайка проводиться на потоковій лінії при чергуванні з іншими технологічними операціями, виробничі приміщення в цьому випадку розглядають як приміщення, призначені для пайки.
2. Стіни, віконні рами, опалювальні прилади, повітропроводи мають бути гладкими і покриваються масляною фарбою світлих тонів (панелі на рівні 1,5...2 м від підлоги краще облицьовувати плиткою). Підлоги мають бути водонепроникними, мати підвищену міцність і опір стиранню і займанню, без щілин і мати ухили до трапів каналізації. На ділянках пайки їх миють після кожної зміни. Не рідше за один раз в тиждень роблять вологе прибирання усього приміщення.
3. При ручній пайці і випалюванні ізоляції в цілях захисту від ураження електричним струмом електропаяльник та електровипалювалка мають працювати від електромережі напругою не вище 42 В.
4. Прибирання устаткування робиться із застосуванням пневмоприбиральної системи. Робочі поверхні столів, ящиків для зберігання інструментів і тара у кінці зміни очищаються і обмиваються гарячим мильним розчином.
5. Використані серветки і ганчір'я після зміни повинні спалюватися, повторне їх використання не допускається.
6. Шафи для зберігання робочого одягу і особистих речей щотижня усередині і зовні обмиваються гарячою водою з милом.
7. Експлуатація ділянок пайки, не обладнаних витяжною вентиляцією, забороняється. Вентиляційні установки повинні вмикатися до початку робіт і вимикатися після їх закінчення.
8. Приміщення, в яких розміщуються ділянки пайки, обладнуються відособленою приточно-витяжною вентиляцією. Приплив повітря повинен складати 95% об'єму витягу. Бракуючі 5% приточного повітря

поступають з суміжних, чистіших приміщень.

9. Особи, що не досягли 18-літнього віку, до постійної роботи з припоями, що містять свинець і кадмій, не допускаються.
10. Жінки, зайняті пайкою, в період вагітності і годування дітей переводяться на роботу, не пов'язану з пайкою.
11. Усі, хто поступають на роботу, мають бути проінструктовані про запобіжні заходи при поводженні з припоями і флюсами. Особлива увага при інструктажі слід приділяти питанням особистої гігієни.

Місця, відведені для паління, а також кімнати для прийому їжі і виробничі ділянки обладнуються умивальниками, до яких безперебійно повинна подаватися гаряча і холодна вода. У умивальників передбачаються банки з 1% -им розчином оцетової кислоти або змивочної пасти на основі ОП-7 для попереднього обмивання рук з подальшим миттям їх теплою водою з милом. Перед їжою і палінням обов'язково необхідно мити руки і полоскати порожнину рота. Для обтирання рук застосовуються разові серветки. Застосування рушників загального користування не дозволяється.

Для захисту шкіри рук від дії сенсибілізуючих речовин, що входять до складу флюсів, застосовують захисні мазі і пасти типу «Миколан», пасти ИЕР-1, ХИОТ-14, казеїнову пасту і біологічні рукавички, які наносять на шкіру перед початком роботи і після обідньої перерви. Після роботи для шкіри рук необхідно застосовувати жирні поживні креми.

Питну воду для працюючих на ділянках пайки слід подавати через фонтанчики, які встановлюються за межами паяльних ділянок, але поблизу них.

Паяльні роботи повинні виконуватися робітниками в передбаченому для цього спецодязі, який забороняється виносити за територію установи, в якій працюють.

У приміщеннях, де виконується пайка, забороняється зберігати спецодяг, особисті речі, приймати і зберігати їжу, питну воду, а також палити. Знаходитися в приміщеннях для їжи, їдальнях і буфетах в робочому одязі забороняється.

Після закінчення роботи необхідно прийняти теплий душ, почистити зуби і прополоскати порожнину рота водою.

Цій категорії працівників не рекомендується видавати молоко, оскільки воно містить легко засвоюваний кальцій, підвищене введення якого в організм викликає негативний вплив на течію свинцевої інтоксикації. Тому при роботі зі свинцем і його з'єднаннями замість молока робітникам необхідно видавати 8...10 г пектину у вигляді мармеладу або концентрату пектину з чаєм.

Деякі з речовин і матеріалів, вживаних на ділянках пайки, пожежовибухонебезпечні. Пожежа може виникнути на операціях приготування флюсів (етиловий спирт, етилацетат), припоїв, при видаленні залишків флюсів після пайки (спиртобензинова суміш, ацетон) і при проведенні робіт по захисту дзеркала розплавленого припою в агрегатах пайки (займання олії).

6.4 Охорона праці при виробничих випробуваннях РЕА

В процесі експлуатації радіоелектронна апаратура піддається кліматичним діям, пов'язаним із станом атмосфери, її температурою, вологістю, осіданнями, тиском, сонячною радіацією, забрудненістю пилом, солями, парами, газами, радіоактивними речовинами, зараженістю мікробами; дією температурних змін, викликаних великими швидкостями в щільних шарах атмосфери, внутрішніми джерелами тепла, додатковим розігріванням і т. д.; механічною дією, причиною яких може бути сила тяжіння, сили постійно діючих прискорень, сили інерції, що виникають при зміні швидкості руху, сили, пов'язані з вібрацією роботи двигунів, сили, що виникають при експлуатації і при перевезеннях.

Під впливом вказаних зовнішніх дій відбувається погіршення електричних і механічних параметрів РЕА, а також може настати повне руйнування.

При виробництві РЕА проводяться кліматичні і механічні випробування, які мають бути організовані так, щоб працюючим забезпечувалися умови праці відповідно до вимог санітарних норм і правил.

Кліматичні випробування проводяться в спеціально обладнаних камерах або приміщеннях, доступ в які при встановленому кліматичному режимі виключається за допомогою блокувальних пристроїв. Камери і приміщення з

кліматичним середовищем герметичні з метою виключення попадання елементів кліматичного середовища(вологи, пилу, газів і т. д.) в повітря приміщень, де постійно перебувають працюючі. Для періодичної дезинфекції повітряного середовища приміщення обладнуються загальнообмінною вентиляцією і протибактерицидними лампами. Працюючі забезпечуються засобами індивідуального захисту від дії високих і низьких температур.

При проведенні механічних випробувань працюючі піддаються дії шуму, вібрації, механізмів, що рухаються і обертаються. Тому необхідно проводити заходи захисту працюючих.

Висновки

Згідно технічного завдання розроблена принципова схема та конструкція нормуючого підсилювача, який може бути використан як один з можливих каналів багатоканальних нормуючих підсилювачів, що забезпечує:

- коефіцієнт підсилення по напрузі - 0.001, 0.01, 0.1, 1,0, 2,0 та 10;
- робочу смугу частот 0 - 90 кГ;.
- похібку перетворення, що не перевищує 1.0%;
- робочу температуру +10 - + 35 C^o.
- імовірність безвідмовної роботи при 2000 год. напрацювання не перевіщує 0,99;
- собівартість пристрою – 282 грн.

Список використаної літератури.

1. К140УД17 (А,Б), КР140УД17 (А,Б) - DataSheet
https://rudatasheet.ru/microchips/k140ud17_kr140ud17
2. NE5532x, SA5532x. Dual Low-Noise Operational Amplifiers
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne5532
3.https://www.rlocman.ru/datasheet/data.html?di=164259
&/NE5532P
4. AD823.pdf
https://www.analog.com/media/en/technical-
documentation/data-sheets/AD823.pdf
5. AD8605_8606_8608.pdf
https://www.analog.com/media/en/technical-
documentation/data-sheets/AD8605_8606_8608.pdf
6 AD8551_8552_8554.pdf.
https://www.analog.com/media/en/technical-
documentation/data-sheets/AD8551_8552_8554.pdf
7. AD820.pdf
https://www.analog.com/media/en/technical-
documentation/data-sheets/AD820.pdf
8. tl074.pdf
https://www.rlocman.ru/i/File/2020/01/18/tl074.pdf
9.Circuit_design_of_analog_electronic_devices/Lectures
_Chapter_6.pdf
https://www.omgtu.ru/general_information/faculties/radi
o_engineering_department/department_quot_radio_devic
es_and_diagnostic_systems_quot/educational-materials/
10. TL074CN.
https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-
pdf/view/1314135/TI/TL074CN.html

11. Аналогові комутатори та мультиплексори у пристроях на мікросхемах http://nauchebe.net/2014/07/analogovye-kommutatory-i-multipleksory-v-ustrojstvax-na-mikrosxemax/ X

12 Аналогові комутатори (ключі) https://studfile.net/preview/1198553/page:6/

13.Операційні підсилювачі 2 https://www.compel.ru/lib/94268

14. Операційні підсилювачі 3 https://www.compel.ru/lib/94303

15. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартів безпеки праці. Шкідливі речовини. Класифікація та загальні вимоги безпеки.

16. СТАТТЯ 153. СТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ І НЕШКІДЛИВИХ УМОВ ПРАЦІ HTTPS://KODEKSY.COM.UA/KODEKS_ZAKONIV_PRO_PRATSYU_UKRAINI/STATJA-153.HTM

Додаток 1

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Заяць Т. М.

Студента (-ки) ____курсу
спеціальності 171 Електроніка
Молнар М. В.
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Молнар Микола Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові),
Студент(-ка) денна, ІТФ 2 курс магістратури
(форма навчання, факультет, курс)
заявляю: моя письмова робота на тему: Багатоканальний нормуючий підсилювач
виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмовив допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

29.12.2021
Дата

Підпис

Додаток 2.

ДОВІДКА

про результати перевірки на унікальність
кваліфікаційної, навчальної (курсової) роботи

Автор роботи	Молнар Микола Віталійович
Назва роботи	Багатоканальний нормуючий підсилювач
Спеціальність	Електроніка
Курс	2
Факультет	Інженерно - Технічний
Кафедра	Електронних систем
Керівник роботи	Спесивих Олександр Олександрович
Роботу перевірено в програмі	Unicheck
Додано до бази даних	29.12.2021
Ідентифікаційний номер роботи	1000045677
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	5.71%

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

Спесивих О.О
(прізвище, ініціали)

29.12.2021
Дата

Підпис

UNICHECK

User name:
hidden by privacy settings

Check ID:
1009742959

Check date:
29.12.2021 10:37:50 EET

Check type:
Doc vs Internet + Library

Report date:
29.12.2021 10:39:15 EET

User ID:
100006217

File name: **КМР_Молнар М. В. 1**

Page count: **6** Word count: **665** Character count: **4314** File size: **128.24 KB** File ID: **1009740928**

5.71% Matches

Highest match: **5.41%** with Library source (File ID: **1000045677**)

No Internet sources found

5.71% Library sources **53** ..... Page 8

0% Quotes

Exclusion of quotes is off

Exclusion of references is off

0% Exclusions

No exclusions

Modifind

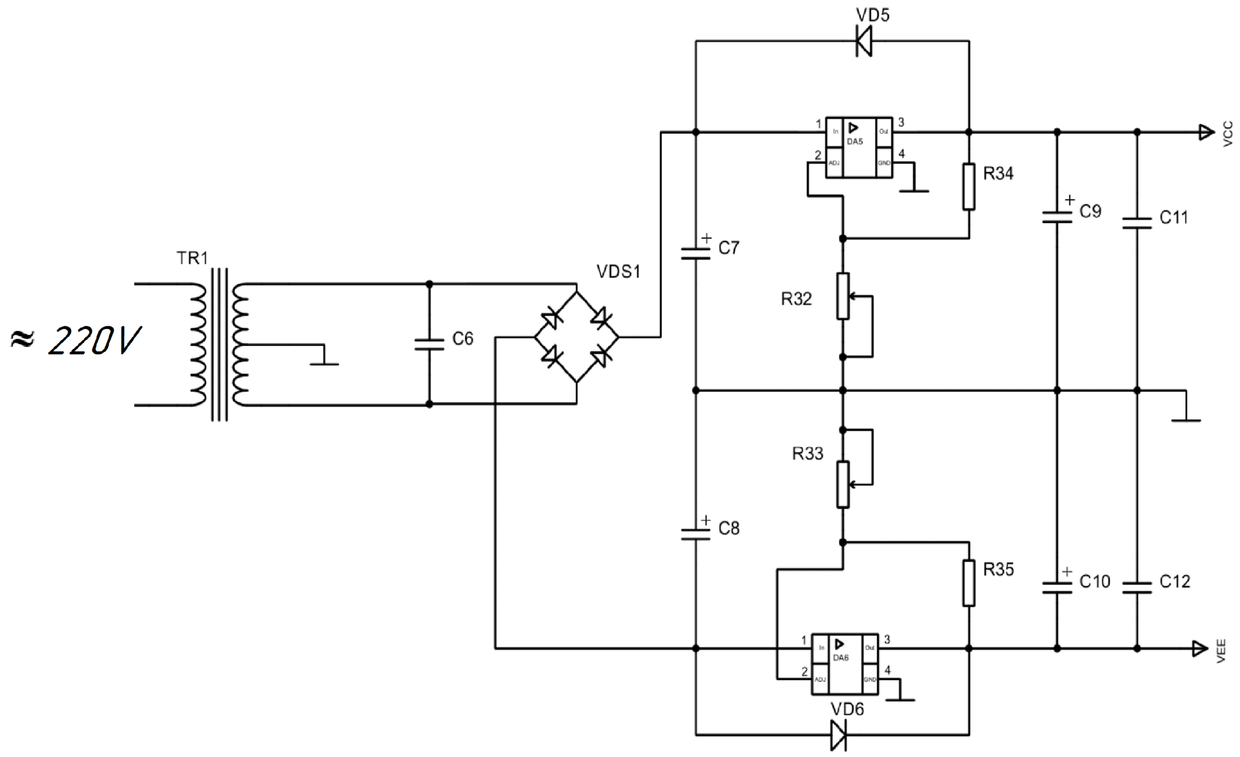
Text modifications detected. Find more details in the online report.

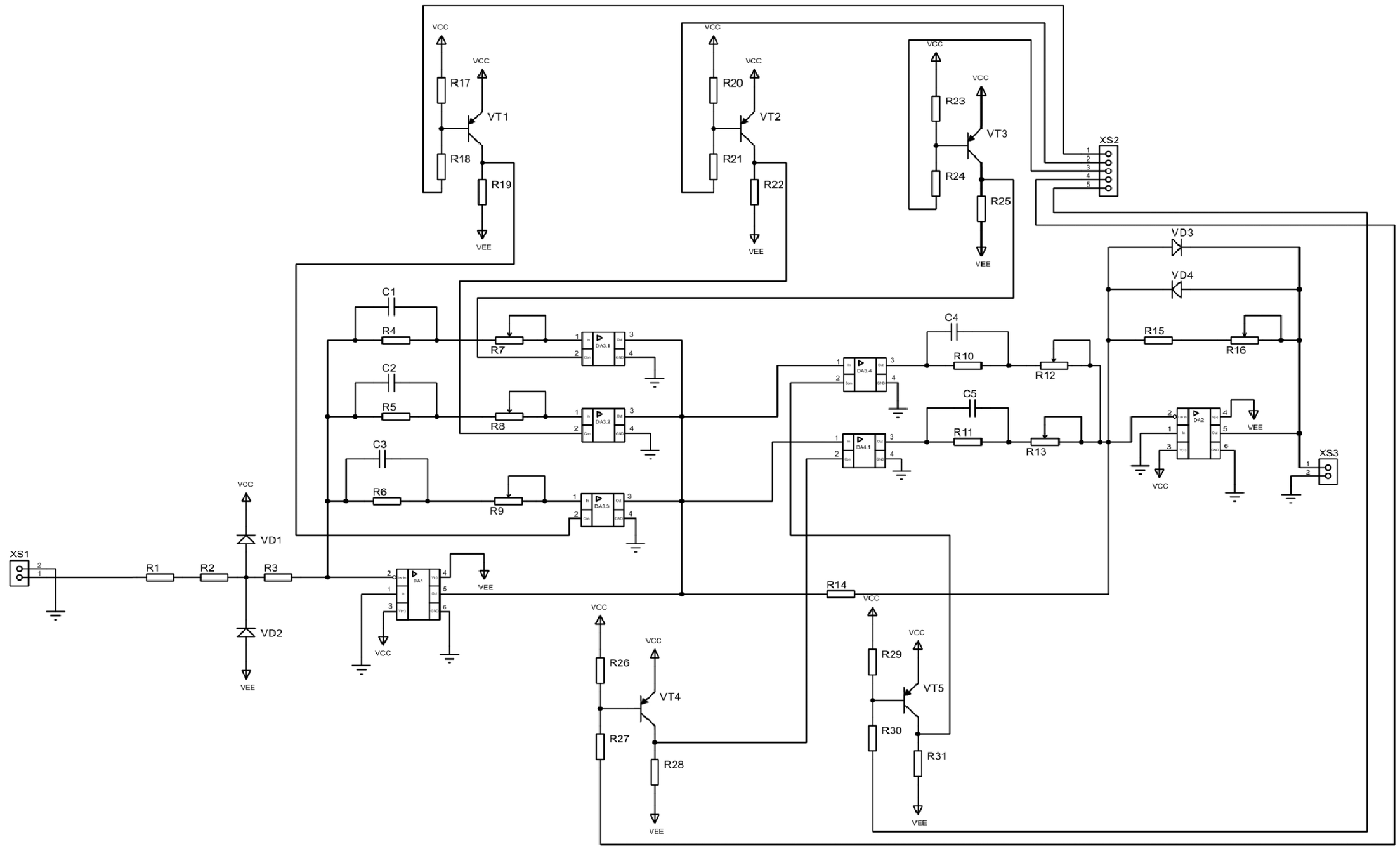
Replaced characters **12**

					КРМ.ЕС.20055034.Е1		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Багатоканальний нормуючий підсилювач	Лит.	Масса / Масштаб
Разраб.		Микола МОЛНАР					н / 5:1
Пров.		Олександр СЛЄСАРИК				Лист	Листов 1
Т.контр.					Схема електрична структурна	УжНУ, ІТФ, група ЕС, 2 курс магістратури	
Н.контр.		Роман МЕШКО					
Утв.		Тарас ЗАЯЦЬ					

Формат А1

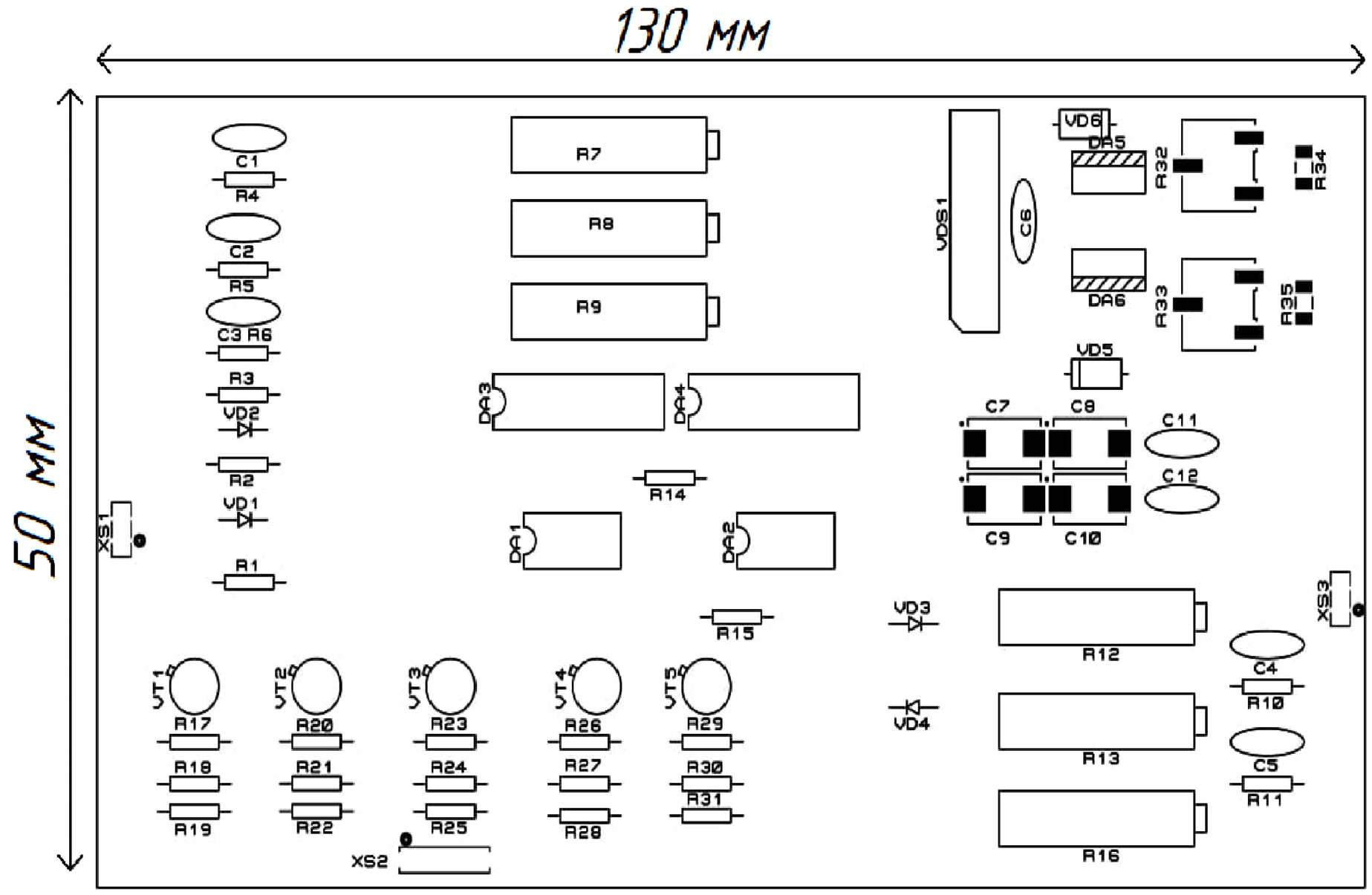
КРМ.ЕС.20055034.Е3





					КРМ.ЕС.20055034.Е3		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Багатоканальний нормуючий підсилювач	Лит.	Масса / Масштаб
Разраб.		Микола МОЛНАР					Н / 1:1
Пров.		Олександр ОЛЕСИЮК				Лист	Листов 1
Т.контр.					Схема електрична принципова	УЖНУ ІТФ, група ЕС 2 курс магістратури	
Н.контр.		Роман МЕШКО					
Утв.		Тарас ЗАЯЦЬ					

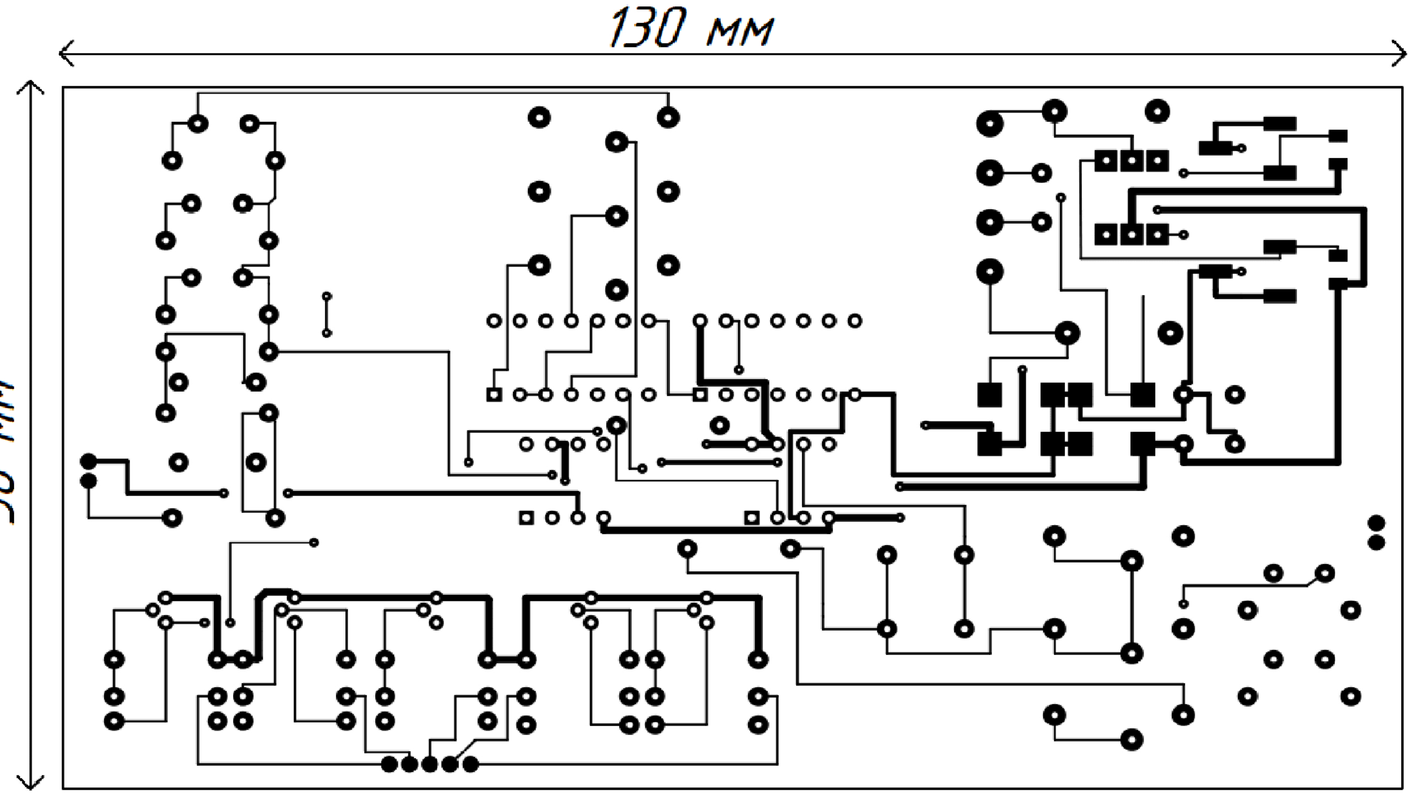
Формат А1

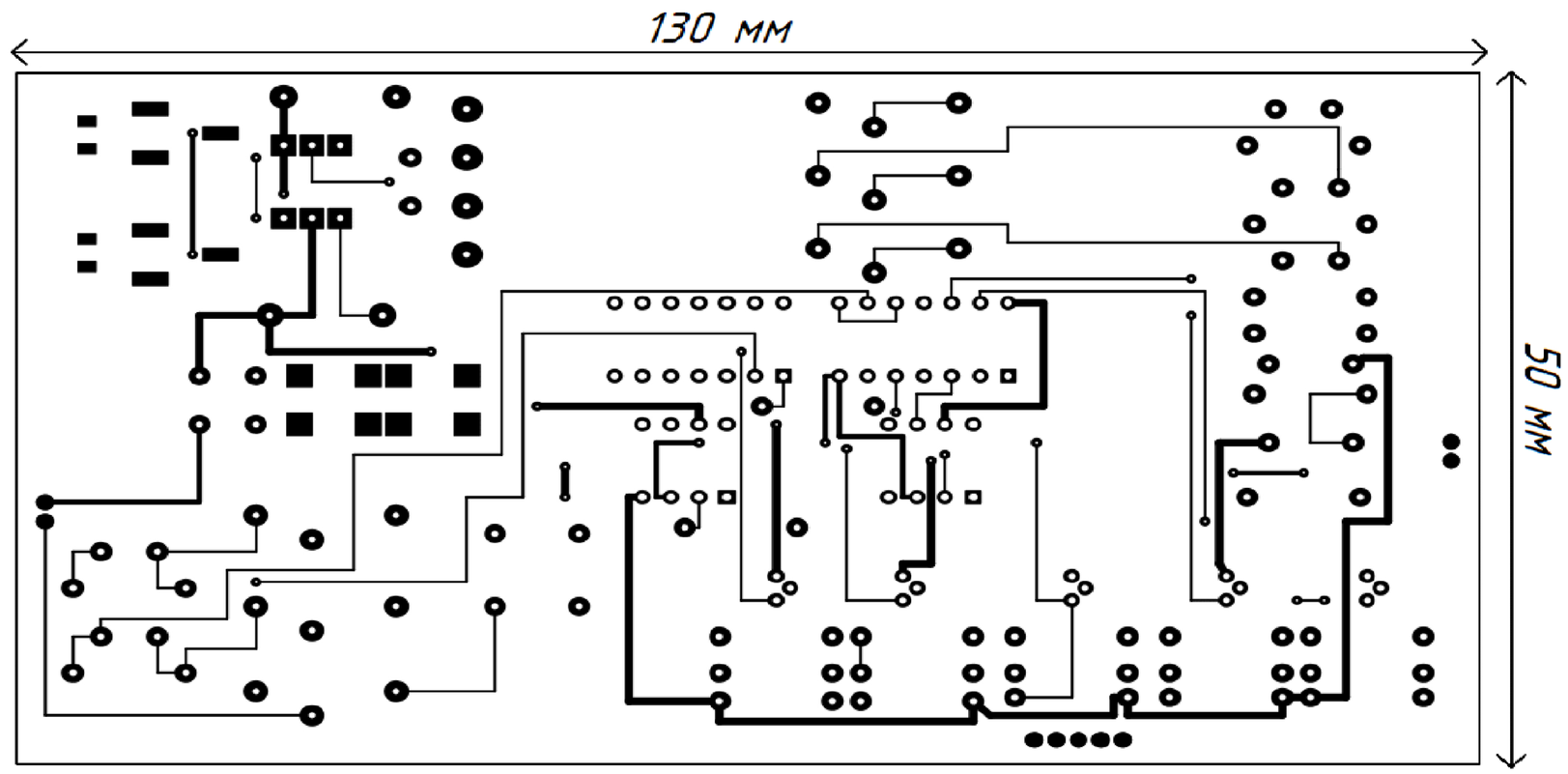


						КРМ.ЕС.20055034. Е4	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Багатоканальний нормуючий підсилювач	Лит.	Масса / Масштаб
Разраб.		Микола МОЛНАР					н / 4:1
Пров.		Олександр СЛЄСАРИК				Лист	Листов 1
Т.контр.					Схема електрична складальна	УЖНУ ІТФ, група ЕС 2 курс магістратури	
Н.контр.		Роман МЕШКО					
Утв.		Тарас ЗАЯЦЬ					

Формат А1

КРМ.ЕС.20055034.ПЕ3





					КРМ.ЕС.20055034.ПЕ3		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Багатоканальний нормуючий підсилювач	Лит.	Масса / Масштаб
Разраб.		Микола МОЛНАР					Н / 4:1
Пров.		Олександр СЛЄСИВИХ				Лист	Листов 1
Т.контр.					Схема друкованої плати	ЧЖНУ ІТФ, група ЕС 2 курс магістратури	
Н.контр.		Роман МЕШКО					
Утв.		Тарас ЗАЯЦЬ					

Формат А1