

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього рівня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Високоякісний підсилювач низької частоти

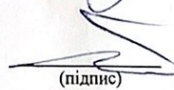
Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи РА-41
спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(шифр і назва спеціальності)


(підпис)

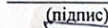
Опашний О.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник


(підпис)

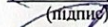
Марценюк А.С.
(прізвище та ініціали)

Консультант
роботи


(підпис)

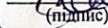
Паляниця Ю.Б.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль


(підпис)

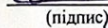
Марценюк А.С.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри


(підпис)

Дунець В.Л.
(прізвище та ініціали)

Рецензент


(підпис)

Стрелаківський М.О.
(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2024

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

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Василь ДУНЕЦЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього рівня «Бакалавр»
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Опанасу Олександр Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи високоякісний підсилювач низької частоти

Керівник роботи Марченко Анатолій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «03» 06 2024 року № 417-581

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи напрямок живлення - 250В; 12В; 6,3В, вихідна потужність - 20Вт, частотний діапазон - 20 до 20000 Гц.

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

Аналіз тех. завдання, аналіз структурної схеми вихідного пристрою, розрахунок вузлів «принципової» схеми пристрою, комбінована схема, САПР, окреме праці та їхня діяльність.

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

Електронна структурна схема,
Електронна принципова схема,
Таблиця функціоналу,
Вузол уриваний, складальне креслення,

АНОТАЦІЯ

Високоякісний підсилювач низької частоти// ТНТУ, факультет ФПТ, група РА-41. // Тернопіль, 2024 р. //с.-52, рис.-27, табл.-20.

Ключові слова: підсилювач, темброблок

У даній кваліфікаційній роботі було проведено розробку високоякісного підсилювача низької частоти. Розроблено електричну принципову та структурну схеми та надано опис їх принципу роботи, проведено розрахунок попереднього підсилювача. Також розглянуто і обґрунтовано вибір компонентів, розроблено конструкцію друкованої плати та друкованого вузла. Окремо було включено розділ про систему автоматизованого проектування, в якому описано програмне забезпечення, що використовувалося для створення креслень. В розділі про охорону праці детально розглянуті аспекти, пов'язані з охороною праці та безпекою життєдіяльності.

High-quality low-frequency amplifier // TNTU, FPT faculty, group RA-41.
//Ternopil, 2024 //p.-52, fig.-27, table-20.

Tags: amplifier, timbreblock

In this qualification work, the development of a high-quality low-frequency amplifier was carried out. Electrical schematic and structural diagrams have been developed and a description of their principle of operation has been provided, the calculation of the preamplifier has been carried out. Also, the selection of components is considered and substantiated, the design of the printed circuit board and the printed assembly is developed. A separate section on the computer-aided design system was included, which describes the software used to create the drawings. The section on occupational health and safety discusses in detail aspects related to occupational health and safety.

Зміст

Перелік скорочень.....	6
Вступ.....	7
1 Основна частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Аналіз структурної схеми виробу.....	9
1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз.....	11
1.4 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою.....	13
1.5 Вибір і обґрунтування компонентної бази.....	19
1.6 Компоновка друкованого вузла пристрою.....	38
1.7 Висновки до розділу 1.....	41
2 Спеціальна частина (САПР).....	42
2.1 Використання програмного забезпечення.....	42
2.2 Висновки до розділу 2.....	44
3 Охорона праці та безпека життєдіяльності.....	45
3.1 Вибір схеми пристрою захисного відключення від ураження електричним струмом для електроустановки напругою до 1000 В.....	45
3.2 Пристрій автоматичного контролю пошкоджень ізоляції в електроустановках.....	47
Висновки	51
Перелік посилань	52
Додатки.....	54

					ООМ 2.032.001 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Високоякісний підсилювач низької частоти	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Опашиний О.М.						
Перевір.		Марценюк А.С.					5	54
Реценз.						ТНТУ, ФПТ каф. РТ		
Н. Контр.						гр. РА-41		
Затверд.								

Перелік скорочень

ПНЧ - підсилювач низької частоти

ДВ – друкований вузол

ДДП – двостороння друкована платта

ЕП – електрична принципова

ПД – плата друкована

ПЗ - пояснювальна записка

ТП – технологічний процес

ВАХ – вольт-амперна характеристика

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Вступ

Підсилювач низьких частот - електронний пристрій, який підсилює сигнали з малою потужністю звукового діапазону, до рівня, необхідного для роботи акустичних систем

ПНЧ має широкий спектр застосувань, він використовується для того, щоб підсилити звук з джерел, таких як CD-плеєри, програвачі DVD, телевізори, ігрові консолі, звукові карти комп'ютера, а також професійних ЦАП, в гітарних підсилювачах, басових підсилювачах та інших підсилювачах для музичних інструментів, щоб підсилити звук з електрогітар, бас-гітар та інших інструментів, в мікшерах та іншому професійному аудіо обладнанні для підсилення звуку домашніх аудіо систем, концертних залах, театрах, нічних клубах та інших місцях проведення заходів.

Актуальність даної роботи полягає у створенні високоякісного підсилювача низької частоти. Такий підсилювач можна побудувати на електровакуумних лампах.

З появою першого транзистора і створенням твердотільної електроніки роль лампи перейшла на другий план. Однак в кінці минулого століття лампи почали використовувати професійні звукобудувачі, музиканти, а також прості люди, яким подобається музика. Виявилось, що лампові підсилювачі – громіздкі, мають малий коефіцієнт корисної дії, але у їхній конструкції дуже короткий електричний тракт, тому, вони з легкістю “переграють” складні транзисторні підсилювачі, хоча коефіцієнт гармонічних спотворень лампових підсилювачів більший, ніж транзисторних, але в ламповому підсилювачі домінує тільки друга гармоніка, а амплітуда всіх інших різко спадає. Дослідження в психоакустиці доводять, що сприйняття нелінійних гармонічних спотворень залежить від номера гармоніки. Парні гармоніки малозамітні при відтворюванні музики і є милозвучними, а непарні - ні.

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ще одною дуже важливою перевагою лампових підсилювачів є простота схемотехніки, відсутність складних перехідних процесів і мінімальна кількість каскадів, що дозволяє передбачити поведінку підсилювача в процесі його розробки, виготовлення та налагодження.

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

Необхідно розробити високоякісний підсилювач низької частоти, який буде призначений для використання в домашніх аудіо системах. Його побудова буде здійснюватись на лампах 6С33С та 6Э5П.

Окрім цього він має мати такі допоміжні функції як: регулювання підсилення низьких та високих частот, балансу. Для цього буде використана мікросхема – TDA1524

Основні технічні параметри пристрою:

- Постійна напруга живлення попереднього та кінцевого підсилювача.....250В;
- Постійна напруга живлення темброблоку.....12В;
- Змінна напруга живлення ниток розжарення ламп.....6.3В;
- Струм споживання попереднього та кінцевого підсилювача..0.5А;
- Струм споживання темброблоку.....0.05А;
- Струм споживання ниток розжарення ламп.....14.4А;
- Кількість каналів.....2;
- Номінальна потужність.....20Вт;
- Опір навантаження.....4/8Ом;
- Рівень вхідного сигналу.....2В;
- Коефіцієнт спотворень.....0.5%;
- Частота пропускання.....20-20000Гц;
- Вхідний опір20кОм;

1.2 Аналіз структурної схеми виробу

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

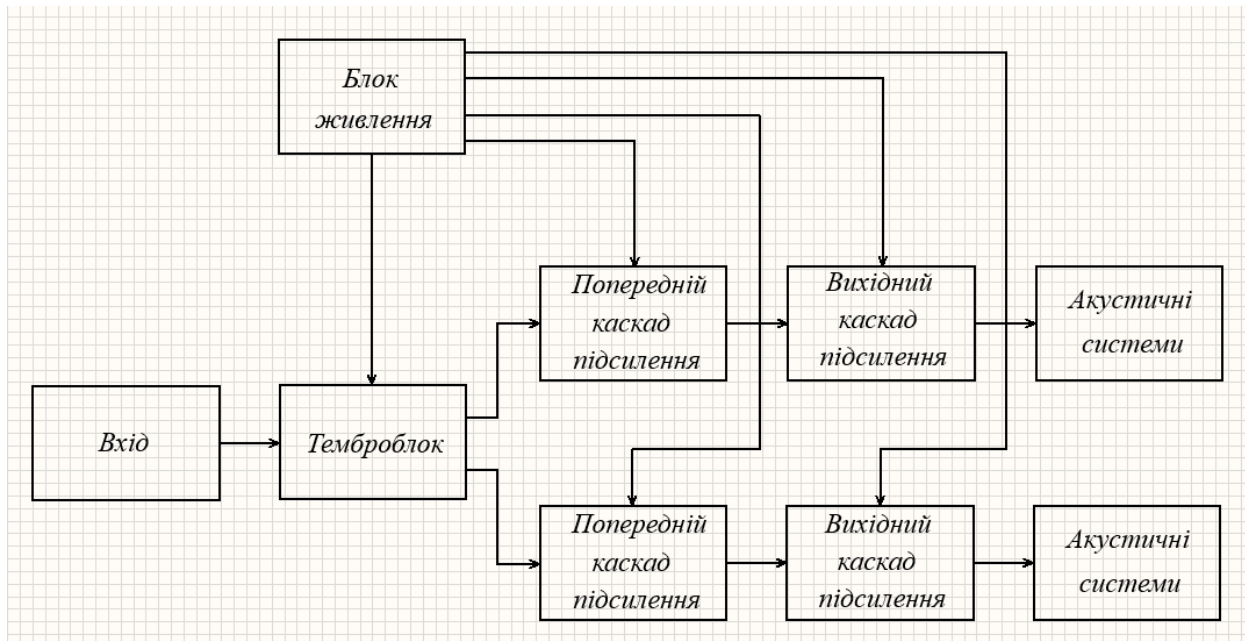


Рисунок 1.1 - Креслення структурної схеми ПНЧ

Структурна схема складається з:

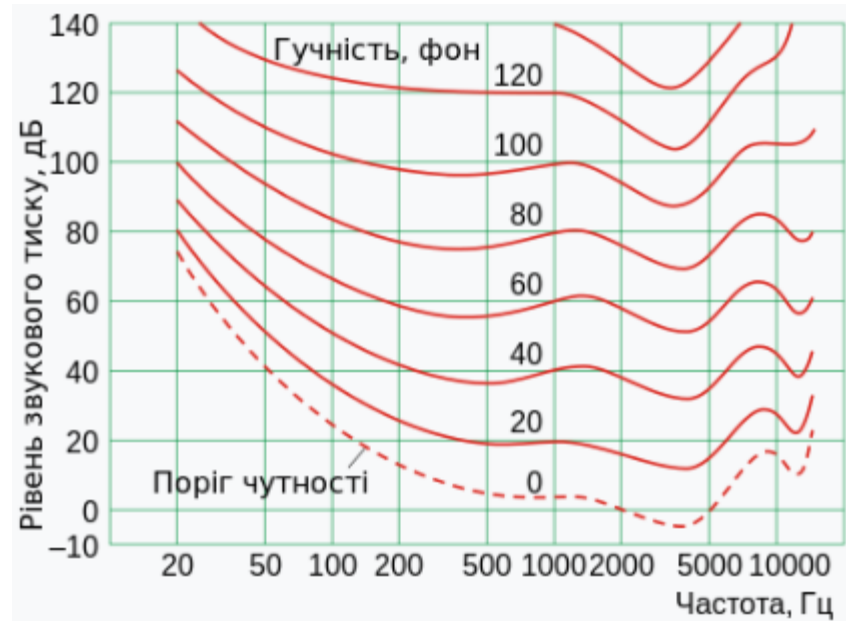
1. Блока живлення
2. Входу
3. Темброблока
4. Двох попередніх каскадів підсилення для лівого і правого каналу
5. Двох вихідних каскадів підсилення для лівого і правого каналу
6. Виходу на акустичні системи

Для роботи даного ПНЧ потрібний блок живлення з такими параметрами:

- Постійна напруга 250В, 0.5А
- Змінна напруга 6.3В, 14.4А
- Постійна напруга 12В, 0.05А

Завдання темброблоку – регулювання підсилення низьких, високих частот та балансу. В першу чергу це потрібно для того, щоб користувач мав змогу підлаштувати АЧХ за своїми вподобаннями. Це зумовлено тим, що чутливість вуха максимальна в області 3-4кГц і зменшується на більш низьких і високих частотах, але це є не головним фактором. Головний фактор – власні вподобання.

Нерівномірність чутливості вуха росте зі зменшенням гучності, тому при звуковідтворенні на низьких рівнях гучності найбільш бажана корекція АЧХ, див.рис 1.2.



Рисунк 1.2 – Криві рівних гучностей

Попередній каскад підсилення, або так званий каскад підсилення напруги, призначений для підсилення амплітуди звукового сигналу.

Вихідний каскад підсилення призначений для підсилення потужності звукового сигналу

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз

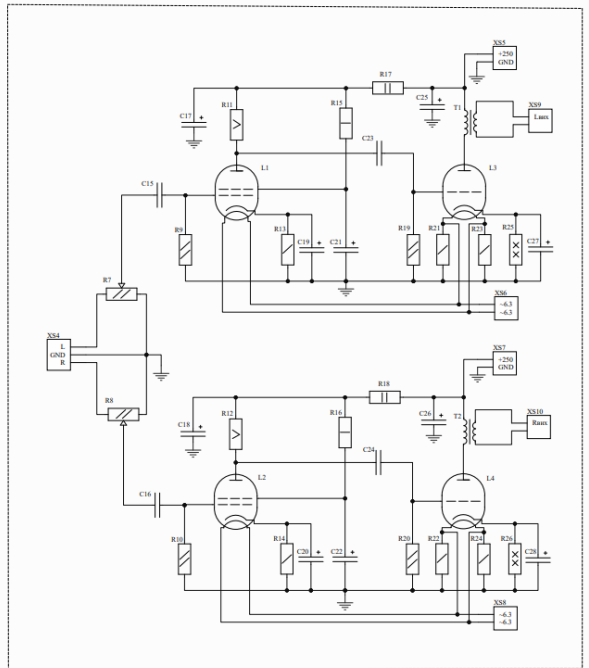
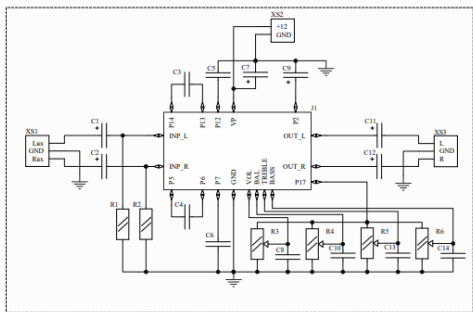


Рисунок 1.3 - Схема електрична принципова ПНЧ

Даний ПНЧ працює в класі А, що забезпечує найбільш високу якість звуковідтворення.

В його основі лежить вхідна лампа 6Э5П, що являє собою підсилювач напруги, а також вихідна – 6С33С, яка слугує підсилювачем потужності і мікросхема TDA1524 для регулювання гучності, балансу, низьких та високих частот.

Конденсатори C1,C2,C11,C12,C15,C16,C23,C24 – роздільні конденсатори, призначенні для розділення по постійному струму каскадів.

Резистори R1, R2, R9, R10, R19, R20, R21, R22, R23, R24 – підтягуючі резистори.

Конденсатори C19,C20,C27,C28 – блокуючі конденсатори, призначенні для уникнення ВЗЗ по змінному струмі, що дозволяє збільшити коефіцієнт підсилення лампи.

Резистори R11, R12 – резистори анодного навантаження ламп.

Резистори R15, R16 – струмообмежуючі резистори екранувальних сіток.

					ООН 2.899 .001.ПЗ	Адк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Резистори R13, R14, R25, R26 – катодні резистори, які завдають зміщення лампи.

Трансформатори T1, T2 – призначені для узгодження опору анодного навантаження з опором навантаження акустичних систем.

Конденсатори C7, C25, C26 – призначені для фільтрації живлення.

Конденсатори C8, C10, C13, C14, C17, C18, C21, C22 – блокуючі конденсатори.

Конденсатор C9 – призначений для затримки включення мікросхеми.

Конденсатори C3, C4, C5, C6 – призначені для корекції АЧХ мікросхеми

Резистори R7, R8 – призначені для узгодження вихідного опору мікросхеми з вхідним опором лампи.

Резистори R17, R18 – розв'язуючі

Резистор R3 – призначений для регулювання гучності

Резистор R4 – призначений для регулювання балансу

Резистор R4 – призначений для регулювання зрізу високих частот

Резистор R4 – призначений для регулювання зрізу низьких частот

1.4 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою.

В цьому пункті виконаємо розрахунок елементів, які завдають режим роботи лампи 6Э5П

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

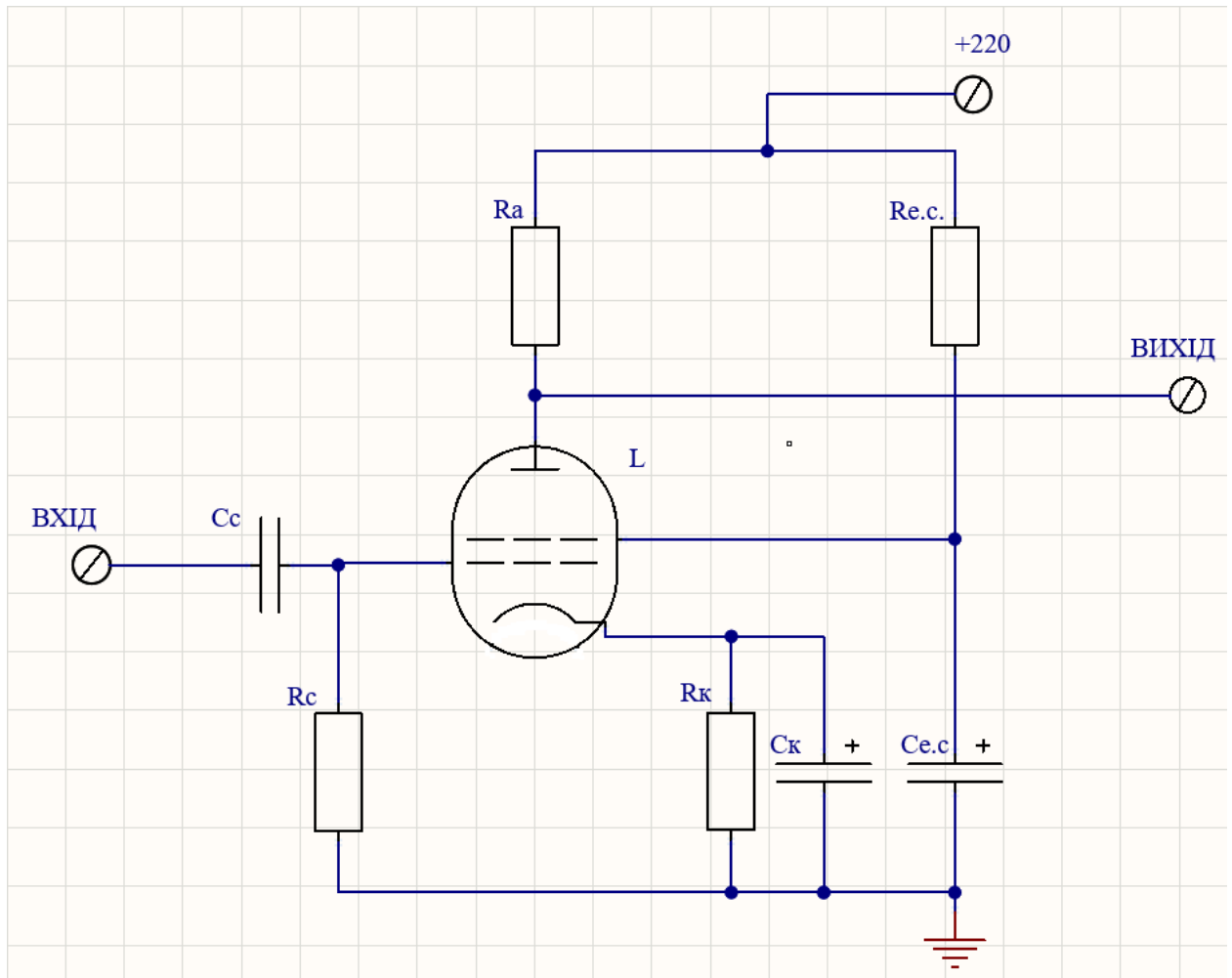


Рисунок 1.4 – Схема для розрахунку (попередній каскад підсилення)

Вхідні дані для розрахунку:

Вхідна напруга живлення $U_{ж} = 220\text{В}$;

Максимальна потужність, яка розсіюється анодом $P_a = 8.3\text{ Вт}$;

Струм екрануючої сітки лампи $I_{e.c.} = 10\text{ мА}$;

Напруга екрануючої сітки лампи $U_{e.c.} = 150\text{ В}$;

Частота пропускання $f = 20\text{-}20000\text{ Гц}$;

Розмах амплітуди вхідного сигналу $U_{вх} = 2\text{ В}$.

Визначимо режим роботи лампи, побудувавши навантажувальну пряму на ВАХ лампи.

Для цього обираємо робочу точку А на середині лінійної частини ВАХ. Дана точка відповідає напрузі зміщення $U_{зм} = -2\text{ В}$. Струм аноду в цій точці

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

14

$I_a = 38 \text{ mA}$, а напруга на аноді $U_a = 110 \text{ V}$.

Перевіряємо чи ця точка не перевищує максимально допустиму розсіювальну потужність аноду

$$P \leq P_a$$

$$P = U_a * I_a$$

$$P = 110 * 0,038 = 4,2 \text{ Вт}$$

$$4,2 \leq 8,3$$

Ставимо другу точку N на осі абсцис, яка відповідає нашій напрузі живлення $U_{ж} = 220 \text{ В}$ і проводимо пряму через дві точки до перетину з віссю ординат. Ставимо точку M, вона відповідає максимальному значенню струму $I_{\text{макс}} = 75 \text{ mA}$ коли лампа повністю відкрита і її струм обмежується анодним резистром.

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

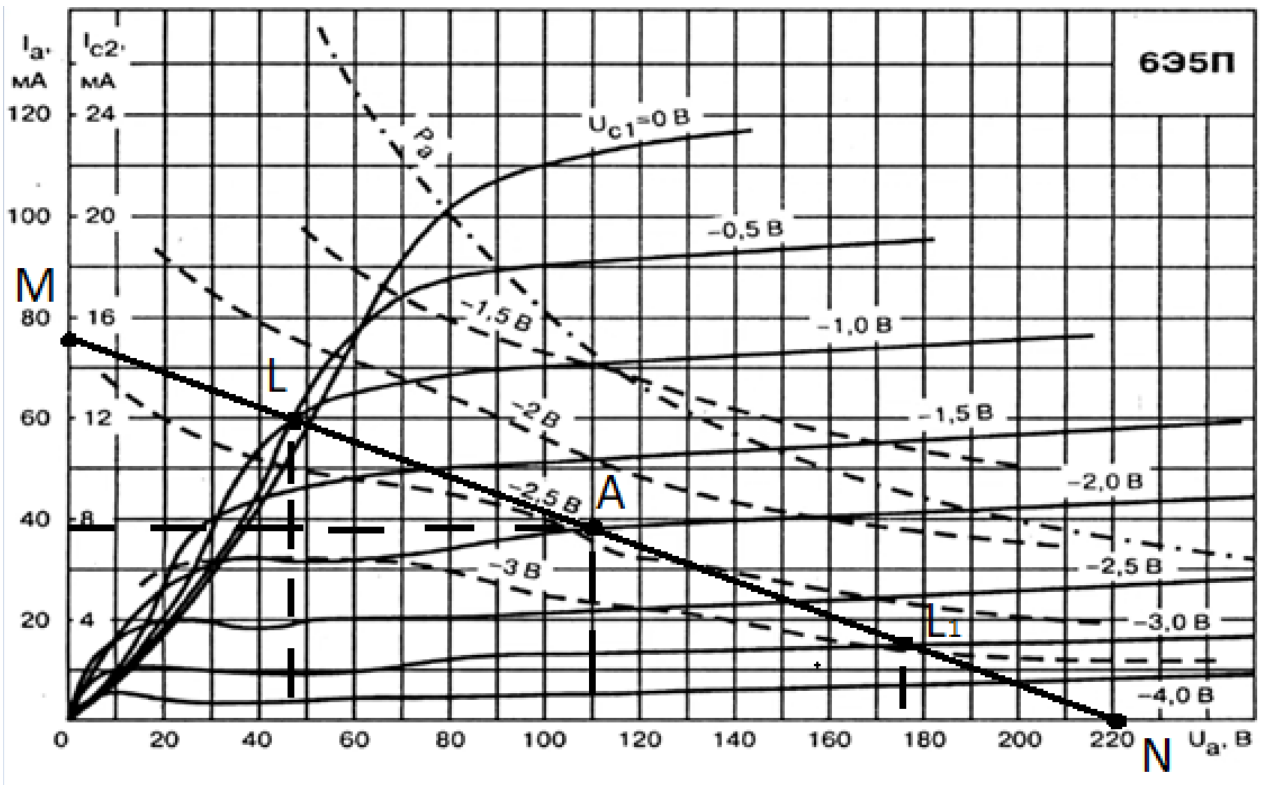


Рисунок 1.5 – ВАХ лампи 6Э5П і навантажувальна пряма

Рахуємо значення анодного резистора

$$Ra = \frac{U_{ж}}{I_{макс}}$$

$$Ra = \frac{220}{0,075} = 2933 \text{ Ом}$$

Потужність резистора

$$Pa = (U_{ж} - U_a) * I_a$$

$$P = (220 - 110) * 0,038 = 4,2 \text{ Вт}$$

З ряду E24 обираємо значення резистора – 3.3 кОм, 5 Вт

Рахуємо значення резистора екрануючої сітки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

16

$$R_{e.c.} = \frac{U_{ж} - U_{e.c.}}{I_{e.c.}}$$

$$R_{e.c.} = \frac{220 - 150}{0,01} = 7 \text{ кОм}$$

Потужність резистора

$$P_{e.c.} = (U_{ж} - U_{e.c.}) * I_{e.c.}$$

$$P_{e.c.} = (220 - 150) * 0,01 = 0,7 \text{ Вт}$$

З ряду E24 обираємо значення резистора – 7.5 кОм, 1 Вт

Рахуємо значення катодного резистора

$$R_k = - \frac{U_{зм}}{I_a + I_{e.c.}}$$

$$R_k = - \frac{-2}{0,038 + 0,01} = 41,6 \text{ Ом}$$

Потужність резистора

$$P_k = -U_{зм} * (I_a + I_{e.c.})$$

$$P_k = -(-2) * (0,038 + 0,01) = 0,1 \text{ Вт}$$

З ряду E24 обираємо значення резистора – 43 Ом, 0,25 Вт

Значення резистора R_c дано в даташиті на лампу і рівне – 200 кОм

З ряду E24 обираємо значення резистора – 220 кОм, 0,25 Вт

Рахуємо ємність катодного конденсатора

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Його опір при найменшій частоті сигналу має бути в декілька разів менший за опір катодного резистора

Складаємо пропорцію

$$\frac{R_k}{10} = \frac{1}{2\pi f C_k}$$

f – найменша частота

Звідси

$$C_k = \frac{10}{2\pi f R_k}$$

$$C_k = \frac{10}{2 * 3,14 * 20 * 42} = 1895 \text{ мкФ}$$

Обираємо 2200 мкФ, 6,3 В

Так само для конденсатора екрануючої сітки

$$C_{с.е.} = \frac{10}{2\pi f R_{с.с.}}$$

$$C_{с.е.} = \frac{10}{2 * 3,14 * 20 * 7500} = 10,6 \text{ мкФ}$$

Обираємо 22 мкФ, 250В

Рахуємо ємність роздільного конденсатора

Можемо побачити по схемі, що конденсатор C_с і резистор R_с утворюють фільтр високих частот першого порядку

Частота зрізу фільтра

$$f_z = \frac{1}{2\pi R_c C_c}$$

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Звідси

$$C_c = \frac{1}{2\pi f_3 R_c}$$

$$C_c = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 220000} = 36 \text{ нФ}$$

Обираємо 0.1 мкФ, 16В

Також ми можемо визначити робочу область лампи на побудованій прямій, розмах амплітуди вихідного сигналу, а також коефіцієнт підсилення каскаду

Розмах амплітуди вхідного сигналу 2В, а напруга зміщення -2В, тому шукаємо перетин навантажувальної прямої з лініями напруги зміщення $U_{зм.макс} = -1\text{В}$ та $U_{зм.мін} = -3\text{В}$ і ставимо точки L та L1. Робимо проекцію цих точок на вісь абсцис, $U_{a.мін} = 45\text{В}$, $U_{a.макс} = 175\text{В}$

Розмах амплітуди вихідного сигналу

$$U_{вих} = U_{a.макс} - U_{a.мін}$$

$$U_{вих} = 175 - 45 = 130\text{В}$$

Визначимо коефіцієнт підсилення каскаду

$$K_n = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$$

$$K_n = \frac{130}{2} = 65$$

1.5 Вибір і обґрунтування компонентної бази

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 1.1 – Лампа 6С33С

Позиційне позначення	L3, L4	
Назва та тип компонента	Лампа 6С33С	
Виробник	УРЛЗ	
Критерії вибору	Велика потужність, що розсіюється анодом	
Параметри конструкції	див. рисунок 1.6	
Параметри та характеристики		
Потужність, яка розсіюється анодом	60 Вт	
Максимальна напруга аноду	450В	
Струм аноду	550 мА	
Внутрішній опір	80-120 Ом	
Напруга нитки розжарення	6.3В	
Струм нитки розжарення	6.6 А	
Температура балона лампи	260 °С	
Робоча температура	-60...+100°С	

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

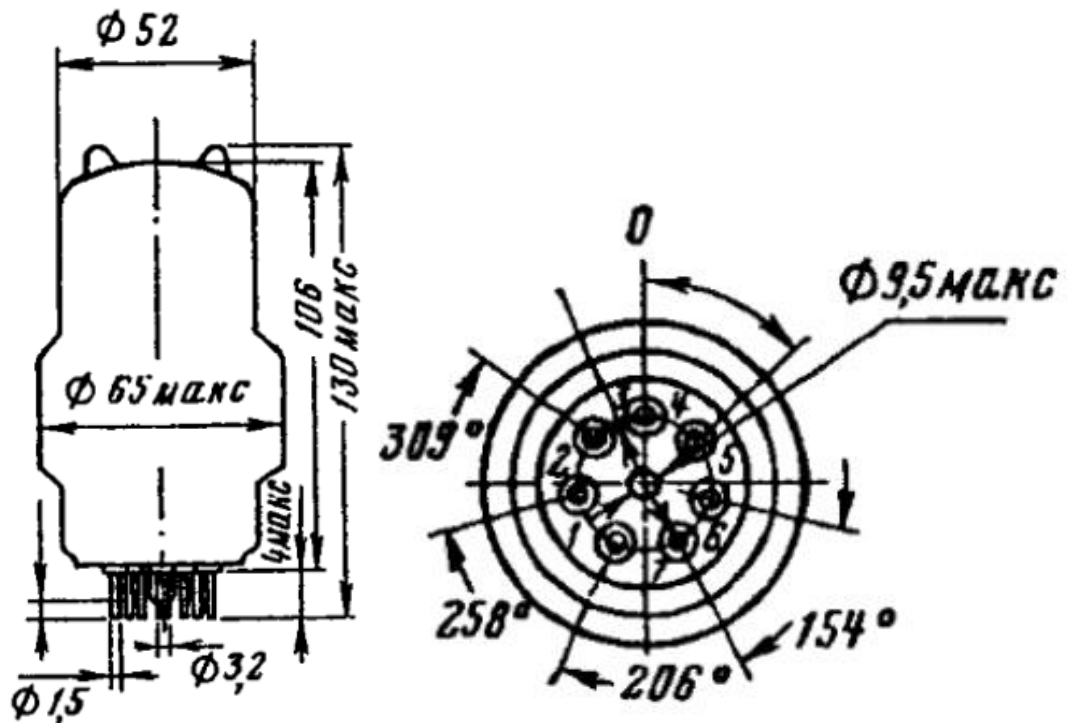


Рисунок 1.6 – Габаритні розміри лампи 6C33C

Таблиця 1.2 – Лампа 6Э5П

Позиційне позначення	L1, L2	
Назва та тип компонента	Лампа 6Э5П	
Виробник	УРЛЗ	
Критерії вибору	Велика потужність, що розсіюється анодом	
Параметри конструкції	див. рисунок 1.7	
Параметри та характеристики		
Потужність, яка розсіюється анодом	8.3 Вт	
Максимальна напруга аноду	250В	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

21

Максимальна напруга другої сітки	250В
Номінаальна напруга другої сітки	150В
Струм аноду	43 мА
Струм екрануючої сітки	<14 мА
Внутрішній опір	8 кОм
Напруга нитки розжарення	6.3В
Струм нитки розжарення	0.6 А
Температура балона лампи	210 °С
Робоча температура	-60...+90°С

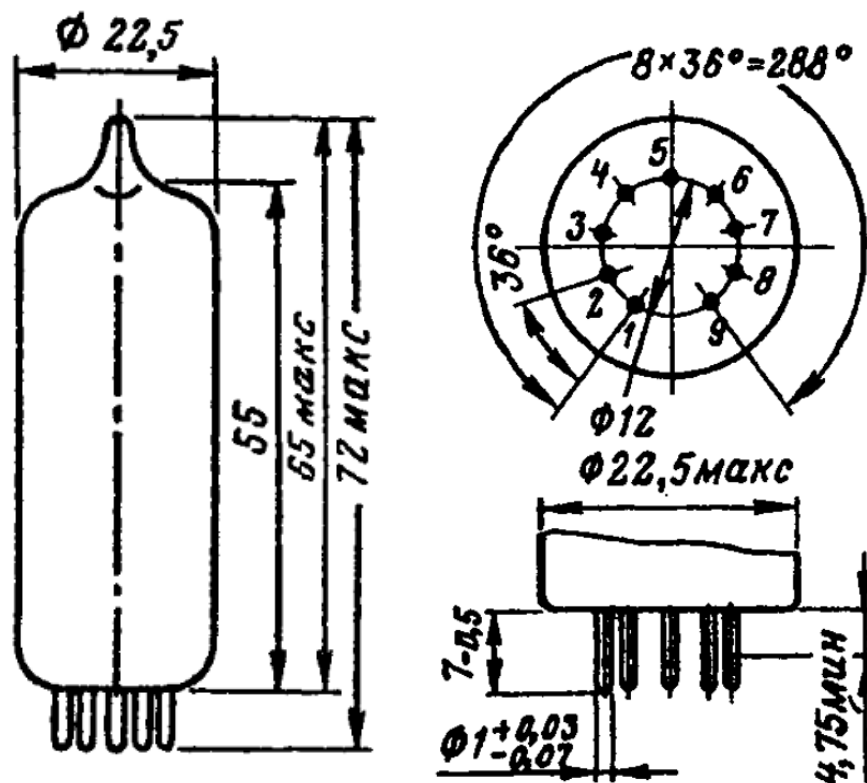


Рисунок 1.6 – Габаритні розміри лампи 6Э5П

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

22

Таблиця 1.3 – Мікросхема TDA1524

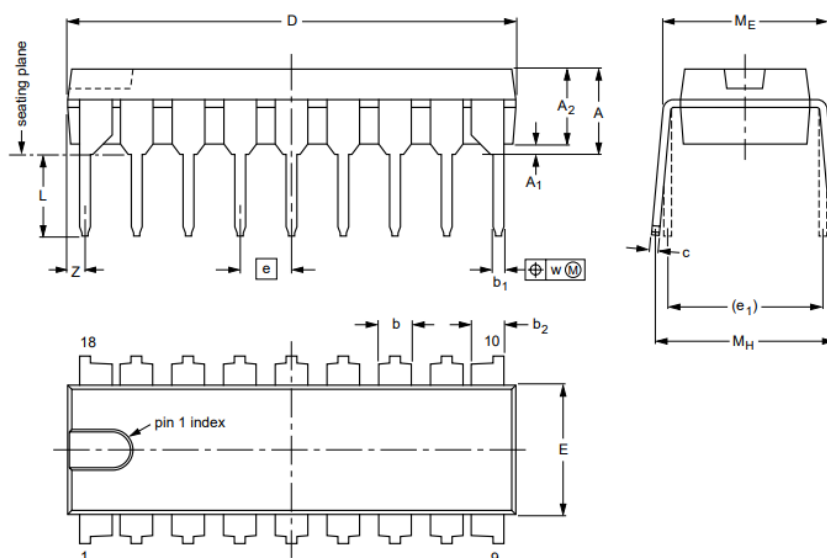
Позиційне позначення	J1
Назва та тип компонента	Мікросхема TDA1524
Виробник	Philips Semiconductors
Критерії вибору	Сtereo регулювання низьких, високих частот та балансу
Параметри конструкції	див. рисунок 1.7
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	8-20 В
Максимальний струм живлення	56 мА
Полоса частот	20-20000 Гц
Діапазон регулювання гучності	-80...-2 dB
Діапазон регулювання балансу	-40...0 dB
Діапазон регулювання НЧ	-19...+17 dB
Діапазон регулювання ВЧ	-15...+15 dB
Вхідний опір	10 кОм
Вихідний опір	300 Ом
Рівень шуму	-50 dB
Коефіцієнт гармонік	0.3 %
Робоча температура	-20...+60°C

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

23



UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	b ₂	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	z ⁽¹⁾ max.
mm	4.7	0.51	3.7	1.40 1.14	0.53 0.38	1.40 1.14	0.32 0.23	21.8 21.4	6.48 6.20	2.54	7.62	3.9 3.4	8.25 7.80	9.5 8.3	0.254	0.85

Рисунок 1.7 – Габаритні розміри мікросхеми TDA1524

Таблиця 1.4 – Змінний резистор 51AAD-B24-A15L

Позиційне позначення	R3, R4, R5, R6
Назва та тип компонента	Змінний резистор 51AAD-B24-A15L
Виробник	Bourns
Критерії вибору	Кріплення на корпус
Параметри конструкції	див. рисунок 1.8
Параметри та характеристики	
Максимальна потужність	0.25 Вт
Допуск номіналу	± 5%
Матеріал резистивного шару	Металокераміка
Робоча температура	-55...+125°C

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Адк.

24

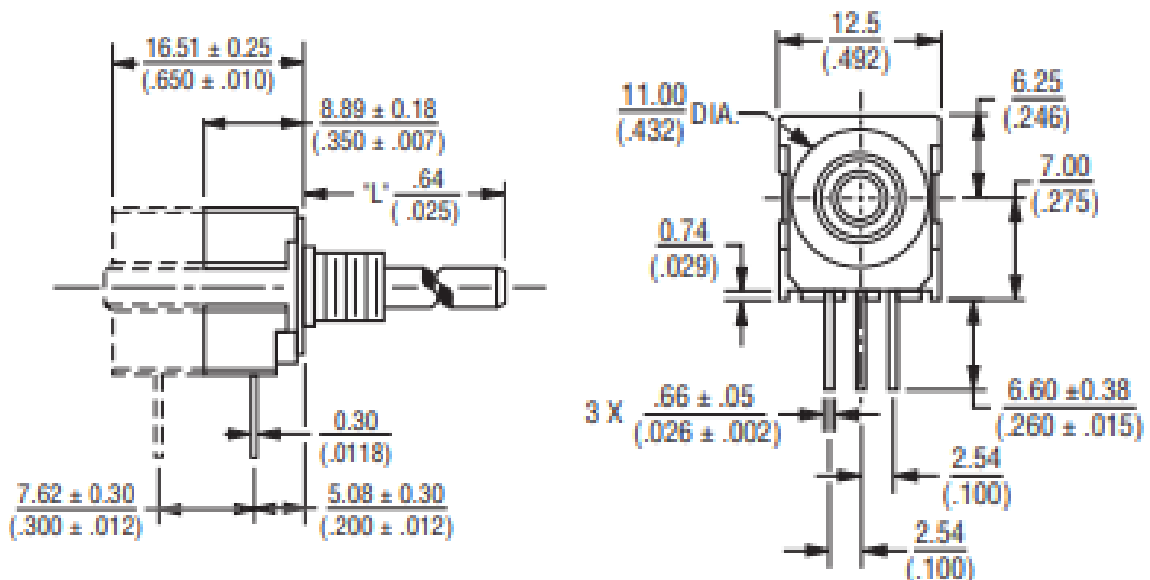


Рисунок 1.8 – Габаритні розміри резистора 51AAD-B24-A15L

Таблиця 1.5 – Конденсатор EEU-FR1H4R7

Позиційне позначення	C1,C2,C11,C12
Назва та тип компонента	Конденсатор EEU-FR1H4R7
Виробник	Panasonic
Критерії вибору	Малий внутрішній опір
Параметри конструкції	див. рисунок 1.9
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	16В
Допуск номіналу	± 20%
Внутрішній опір	0.1 Ом
Робоча температура	-40...+105°C

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

25

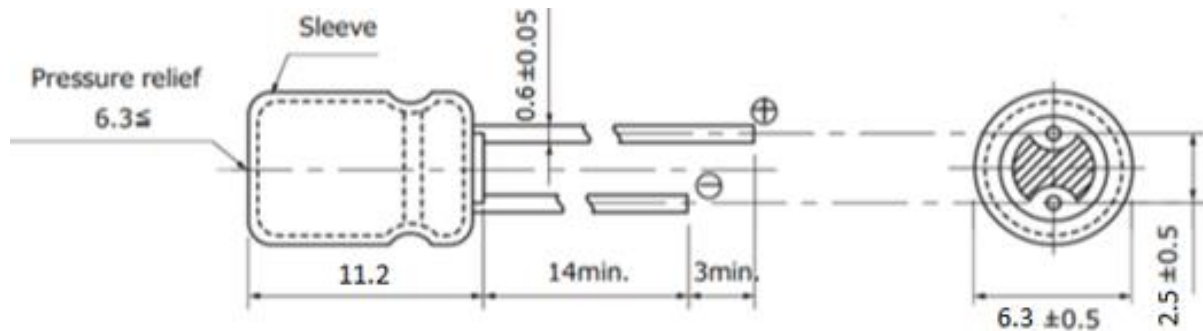
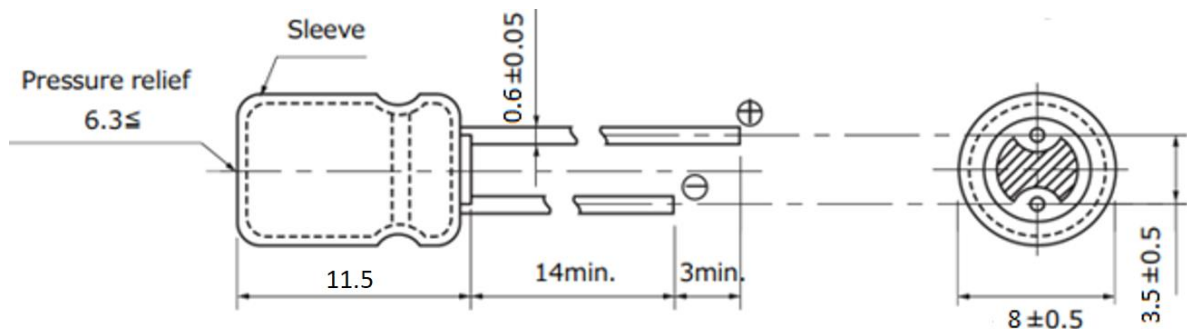


Рисунок 1.9 – Габаритні розміри конденсатора EEU-FR1H4R7

Таблиця 1.6 – Конденсатор ECA-1JM101

Позиційне позначення	C7,C9
Назва та тип компонента	Конденсатор ECA-1JM101
Виробник	Panasonic
Критерії вибору	Малий внутрішній опір
Параметри конструкції	див. рисунок 1.10
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	16В
Допуск номіналу	± 20%
Внутрішній опір	0.1 Ом
Робоча температура	-40...+105°C



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

26

Рисунок 1.10 – Габаритні розміри конденсатора ECA-1JM101

Таблиця 1.7 – Конденсатор RDER71H104K0K1H03B

Позиційне позначення	C8,C10,C13,C14,C15,C16
Назва та тип компонента	Конденсатор RDER71H104K0K1H03B
Виробник	muRata
Критерії вибору	Малі габаритні розміри
Параметри конструкції	див. рисунок 1.11
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	50В
Допуск номіналу	± 10%
Внутрішній опір	3 Ом
Робоча температура	-55...+125°C

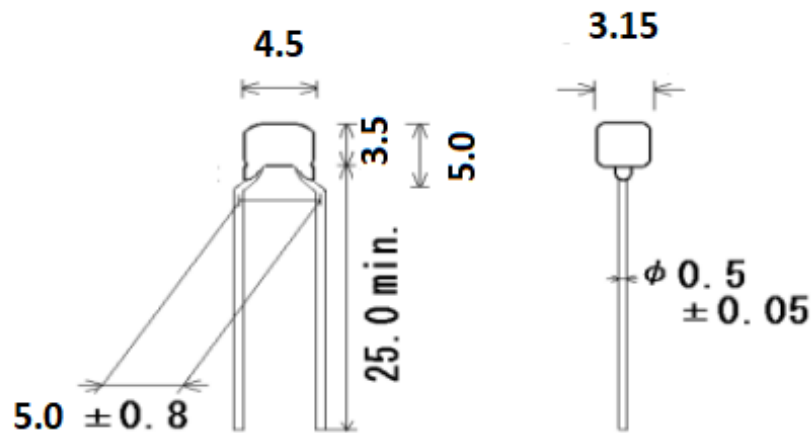


Рисунок 1.11 – Габаритні розміри конденсатора RDER71H104K0K1H03B

Таблиця 1.8 – Конденсатор ECQ-E4153KFB

Позиційне позначення	C5,C6
Назва та тип компонента	Конденсатор ECQ-E4153KFB
Виробник	Panasonic
Критерії вибору	Відповідність електричних параметрів, висока надійність
Параметри конструкції	див. рисунок 1.12
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	100В
Допуск номіналу	± 5%
Внутрішній опір	5 Ом
Робоча температура	-40...+105°C

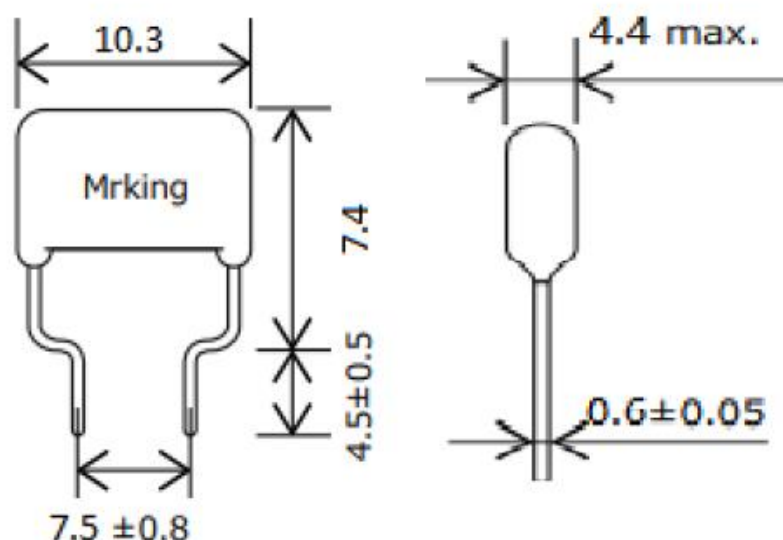


Рисунок 1.12 – Габаритні розміри конденсатора ECQ-E4153KFB

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

28

Таблиця 1.9 – Конденсатор ECQ-E4473KF

Позиційне позначення	C3,C4
Назва та тип компонента	Конденсатор ECQ-E4473KF
Виробник	Panasonic
Критерії вибору	Відповідність електричних параметрів, висока надійність
Параметри конструкції	див. рисунок 1.13
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	100В
Допуск номіналу	± 5%
Внутрішній опір	5 Ом
Робоча температура	-40...+105°C

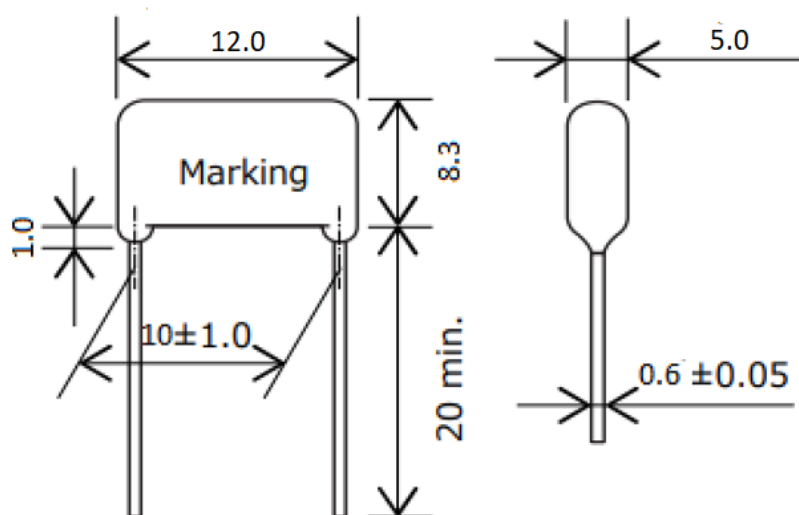


Рисунок 1.13 – Габаритні розміри конденсатора ECQ-E4473KF

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

29

Таблиця 1.10 – Резистори серії MFR

Позиційне позначення	R1, R2, R9, R10, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24
Назва та тип компонента	Резистори серії MFR
Виробник	Yageo
Критерії вибору	Малий допуск номіналу
Параметри конструкції	див. рисунок 1.14 і табл. 1.11
Параметри та характеристики	
Максимальна потужність	0.25, 0.5, 1, 2, 3 Вт
Допуск номіналу	±1, 2, 5%
Робоча температура	-55...+125°C

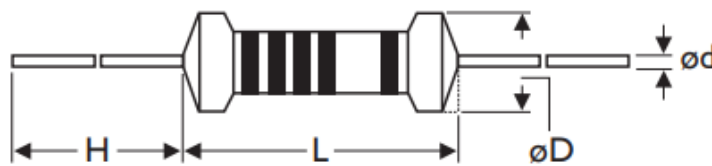


Рисунок 1.14 – Конструкція резисторів

Таблиця 1.11 – Таблиця залежності розмірів резистора від його потужності

Потужність, Вт	L	D	H	d
0.25	3.4±0.3	1.9±0.2	28±2.0	0.45±0.05
0.5	6.3±0.5	2.4±0.2	28±2.0	0.55±0.05
1	9.0±0.5	3.3±0.3	26±2.0	0.55±0.05
2	11.5±1.0	4.5±0.5	35±2.0	0.8±0.05

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

30

Таблиця 1.12 – Підстроювальний резистор 3296W-1-104

Позиційне позначення	R7, R8
Назва та тип компонента	Підстроювальний резистор 3296W-1-104
Виробник	Bourns
Критерії вибору	Багатооборотний, має велику точність налаштування
Параметри конструкції	див. рисунок 1.15
Параметри та характеристики	
Максимальна потужність	0.25 Вт
Допуск номіналу	± 10%
Матеріал резистивного шару	Металокераміка
Робоча температура	-55...+125°C

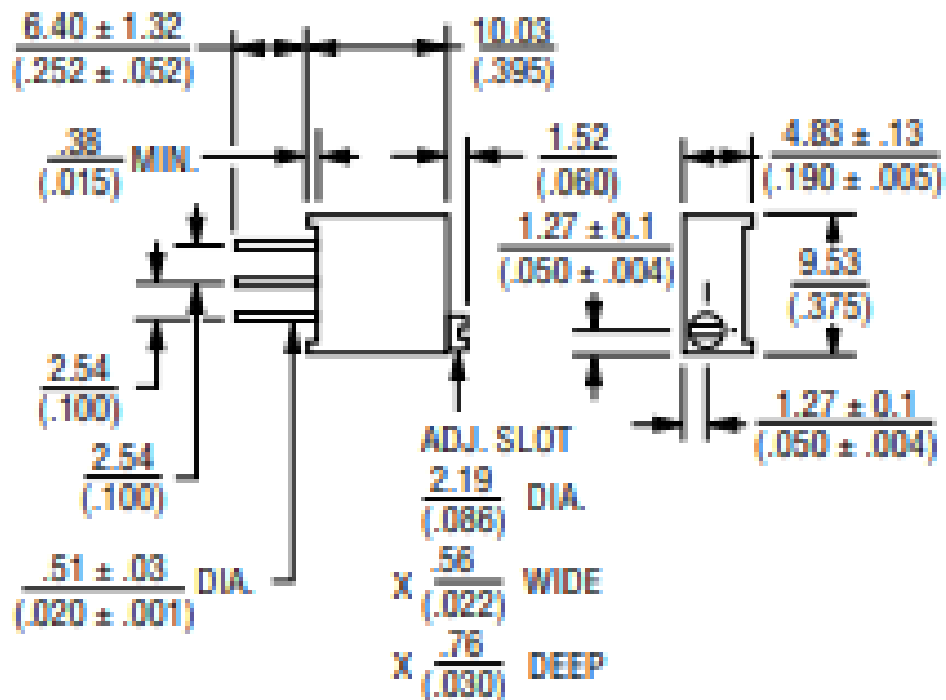


Рисунок 1.15 – Габаритні розміри конденсатора 3296W-1-104

Таблиця 1.13 – Резистор SQMR53K3J

Позиційне позначення	R11, R12
Назва та тип компонента	Резистор SQMR53K3J
Виробник	TE Connectivity
Критерії вибору	Малий допуск номіналу, потужність
Параметри конструкції	див. рисунок 1.15
Параметри та характеристики	
Максимальна потужність	5Вт
Допуск номіналу	±5%
Робоча температура	-55...+155°C

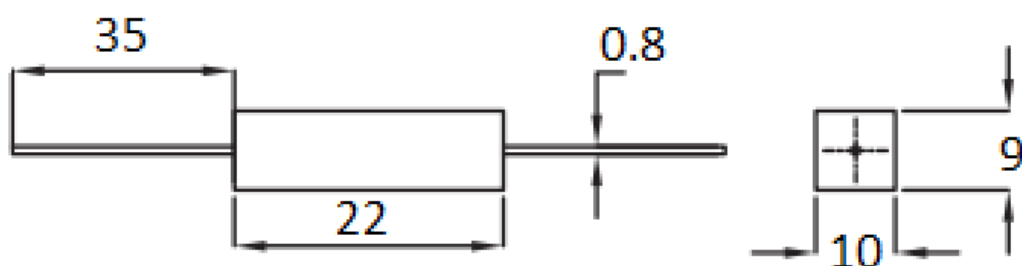


Рисунок 1.15 – Габаритні розміри резистора SQMR53K3J

Таблиця 1.14 – Резистор 20W300RJ

Позиційне позначення	R11, R12
Назва та тип компонента	Резистор 20W300RJ
Виробник	Aoweziic
Критерії вибору	Малий допуск номіналу, потужність
Параметри конструкції	див. рисунок 1.16

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

32

Параметри та характеристики	
Максимальна потужність	20Вт
Допуск номіналу	±5%
Робоча температура	-55...+155°C

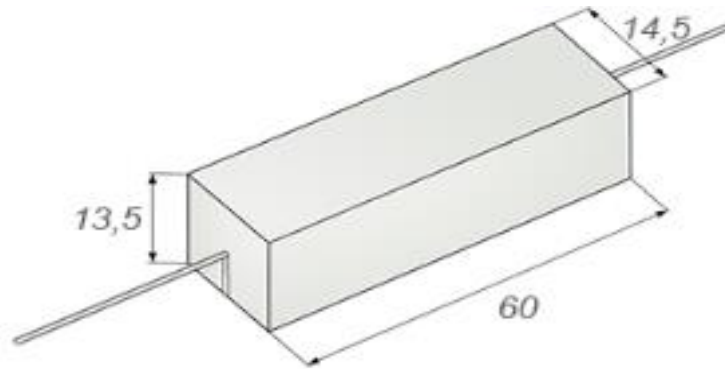


Рисунок 1.16 – Габаритні розміри резистора 20W300RJ

Таблиця 1.15 – Конденсатор MCKSK6R3M222G16S

Позиційне позначення	C19,C20
Назва та тип компонента	Конденсатор MCKSK6R3M222G16S
Виробник	Multicomp
Критерії вибору	Малий внутрішній опір
Параметри конструкції	див. рисунок 1.17
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	16В
Допуск номіналу	± 20%
Внутрішній опір	0.2 Ом
Робоча температура	-40...+105°C

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

33

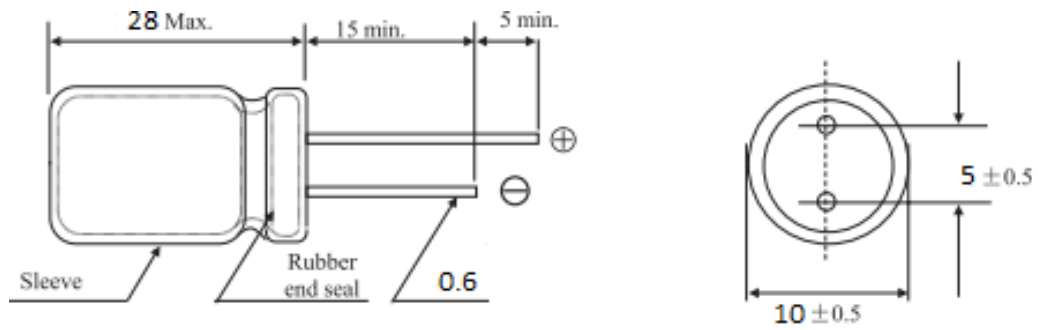
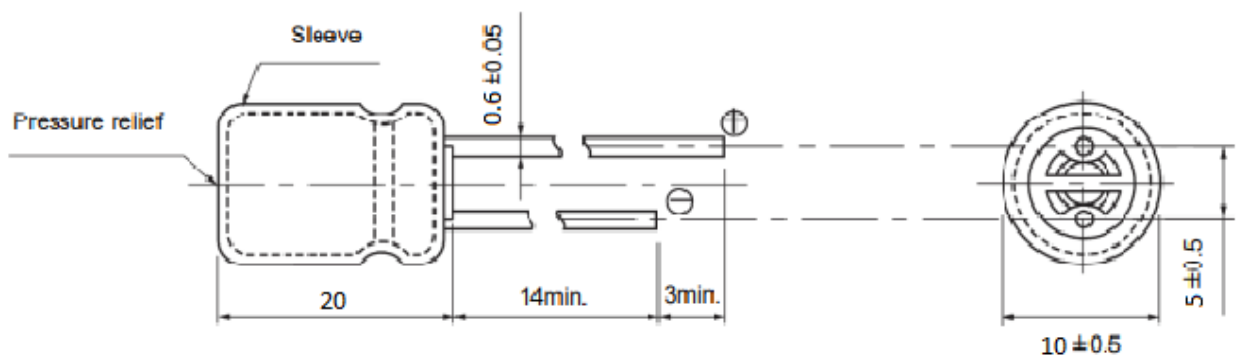


Рисунок 1.17 – Габаритні розміри конденсатора MCKSK6R3M222G16S

Таблиця 1.16 – Конденсатор EEU-ED2E220B

Позиційне позначення	C21,C22
Назва та тип компонента	Конденсатор EEU-ED2E220B
Виробник	Panasonic
Критерії вибору	Малий внутрішній опір
Параметри конструкції	див. рисунок 1.18
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	250В
Допуск номіналу	± 20%
Внутрішній опір	1 Ом
Робоча температура	-25...+105°C



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

34

Рисунок 1.18 – Габаритні розміри конденсатора EEU-ED2E220B

Таблиця 1.17 – Конденсатор F462BY104K1L2C

Позиційне позначення	C23,C24
Назва та тип компонента	Конденсатор F462BY104K1L2C
Виробник	Yageo
Критерії вибору	Висока надійність
Параметри конструкції	див. рисунок 1.19
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	400В
Допуск номіналу	$\pm 10\%$
Внутрішній опір	3 Ом
Робоча температура	-40...+105°C

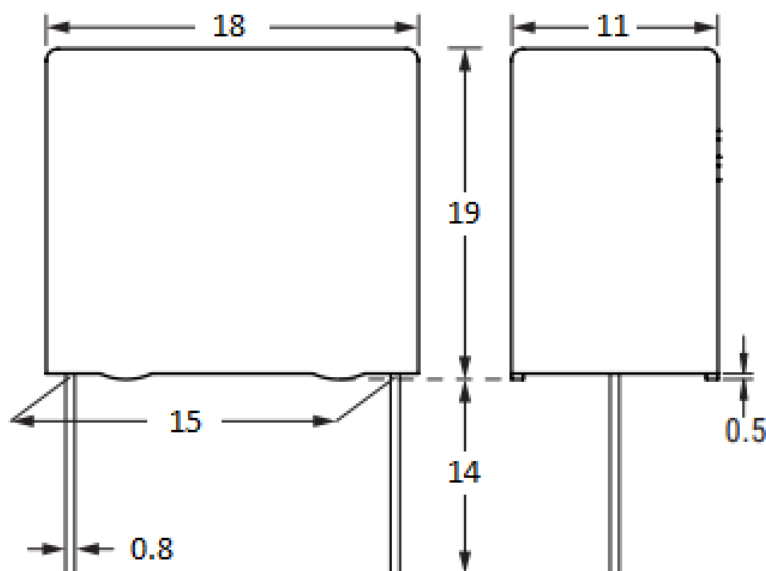


Рисунок 1.19 – Габаритні розміри конденсатора F462BY104K1L2C

Таблиця 1.18 – Конденсатор В43504А9476М000

Позиційне позначення	С17,С18
Назва та тип компонента	Конденсатор В43504А9476М000
Виробник	TDK
Критерії вибору	Малий внутрішній опір
Параметри конструкції	див. рисунок 1.20
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	400В
Допуск номіналу	± 20%
Внутрішній опір	1.5 Ом
Робоча температура	-40...+105°С

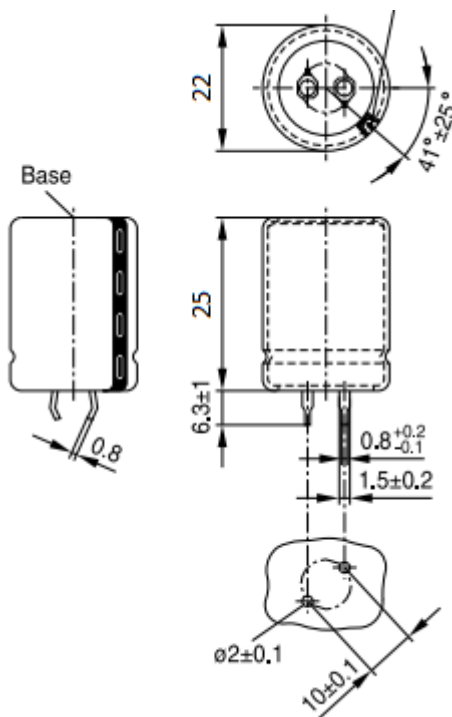


Рисунок 1.20 – Габаритні розміри конденсатора В43504А9476М000

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

36

Таблиця 1.19 – Конденсатор EEUEE2G101

Позиційне позначення	C25,C26
Назва та тип компонента	Конденсатор EEUEE2G101
Виробник	Panasonic
Критерії вибору	Малий внутрішній опір
Параметри конструкції	див. рисунок 1.21
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	400В
Допуск номіналу	± 20%
Внутрішній опір	1 Ом
Робоча температура	-40...+105°C

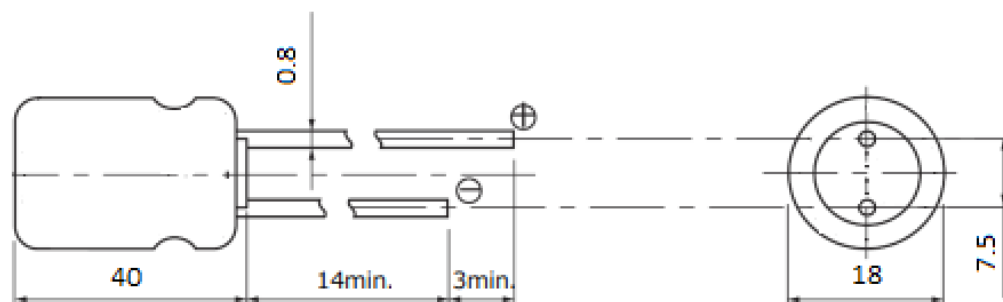


Рисунок 1.21 – Габаритні розміри конденсатора EEUEE2G101

Таблиця 1.20 – Конденсатор ECA-2AHG221B

Позиційне позначення	C27,C28
Назва та тип компонента	Конденсатор ECA-2AHG221B
Виробник	Panasonic

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

37

Критерії вибору	Малий внутрішній опір
Параметри конструкції	див. рисунок 1.22
Параметри та характеристики	
Робоча напруга	100 В
Допуск номіналу	± 20%
Внутрішній опір	0.6 Ом
Робоча температура	-40...+105°C

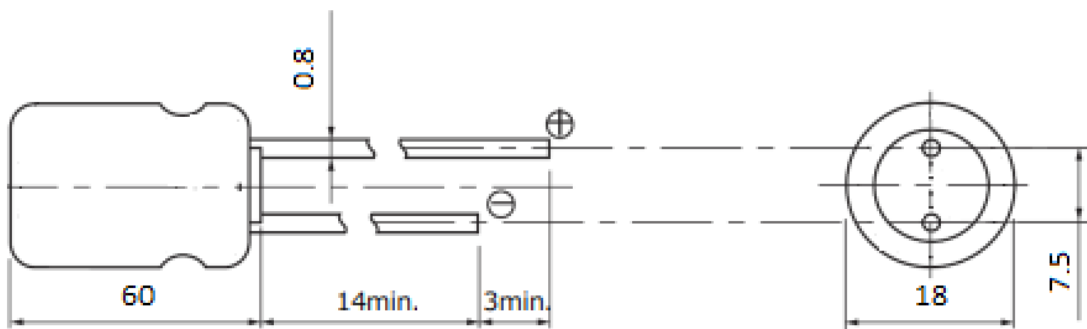


Рисунок 1.22 – Габаритні розміри конденсатора EEUEE2G101

1.4 Компоновка друкованого вузла пристрою

Компоновка друкованого вузла - це процес розміщення та з'єднання електронних компонентів на ДП. Це важливий етап у проектуванні та виробництві електронних пристроїв, адже він впливає на:

- Функціональність: Правильне розміщення компонентів гарантує їх чітку роботу та мінімізує шуми
- Ефективність: Компактне розміщення компонентів може зменшити розмір плати та знизити витрати.
- Виробництво: Зручне розташування компонентів полегшує процес пайки та складання пристрою.

- Ремонтпридатність: Доступність компонентів робить їх простішими для обслуговування та ремонту.

Основні етапи компонування друкованого вузла:

1. Вибір компонентів: Вибір правильних компонентів з відповідними характеристиками та розмірами.

2. Створення схеми розміщення: Розміщення компонентів на платі з урахуванням їх функціональних зв'язків, обмежень простору та тепловиділення.

3. Трасування друкованих плат: Проектування провідних доріжок, які з'єднують компоненти між собою.

4. Аналіз та оптимізація: Перевірка компонування на наявність помилок, оптимізація розміщення компонентів та трасування для покращення характеристик.

5. Виготовлення друкованої плати: Виготовлення плати згідно з розробленим дизайном.

6. Монтаж компонентів: Паяння компонентів на плату.

7. Тестування та налагодження: Перевірка працездатності пристрою та усунення несправностей.

В цій роботі буде розроблятися ДП темброблоку, споживана потужність мікросхеми темброблоку не перевищує 50 мА, тому додаткового охолодження на платі не потрібно.

Вибір матеріалу основи друкованої плати обґрунтовується електричними характеристиками (такими як частотний діапазон, пробивна напруга і інші), кліматичними умовами (температура і вологість) та стійкістю до механічних впливів (міцність, жорсткість, ударна в'язкість і т. д.).

Для виготовлення ДП був вибраний склотекстоліт марки СФ-2-35, він вирізняється комплексом властивостей, що робить його хорошим матеріалом для виготовлення ДП. Він стійкий до електричних та термічних впливів, володіє міцністю та податливістю до обробки, що дозволяє створювати з нього

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

складні вузли. Ці якості, а також хімічна стійкість, негорючість, екологічність та доступність роблять СФ-2-35 оптимальним вибором для друкованих плат.

При виборі класу точності ДП необхідно враховувати використанні ЕРЕ, точність, надійність та вартість плати, 3 клас точності, як правило, забезпечує високий рівень якості за помірну ціну, тому було вибрано клас точності – 3.

При розробці ДП потрібно врахувати кріплення змінних резисторів для регулювання гучності, низьких, високих частот та балансу. Вони мають встановлюватись в один ряд, але на такій відстані, щоб їх ручки регулювання не заважали одна одній. Так як вони будуть встановлюватись на передню панель корпусу та кріпитись гайками ми ще й вирішуємо проблему кріплення плати. Роз'єми ми можемо встановити в задній частині плати для зручності їх підключення.

Оскільки більшість елементів на друкованій платі мають стандартні типи установки, то при монтажі можна використовувати автоматизоване формування виводів та групову пайку. На основі цього вибираємо наступне обладнання:

Ванну для лудіння виводів

Для очистки друкованих вузлів від залишків флюсу після пайки використовуємо ванну для промивки і обезжирення

Для сушки друкованих вузлів після промивки та після покриття поверхні вузлів ізоляційними лаками використовуємо витяжну шафу

Для пайки використовується – паяльник, пінцет, лупа.

Для складання друкованого вузла був вибраний такий маршрут складання:

Розконсервація ДП;

Маркування заводського номера;

Сушка плати в сушильних шафах;

Монтаж ЕРЕ - встановлення ЕРЕ, які будуть запаюватися автоматизовано;

Пайка ;

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Лакування вузла;

Технічний контроль якості.

1.6 Висновки до розділу 1

В розділі 1 були розглянуті питання з розробки електричної принципової та структурної схеми, розраховані елементи, які завдають режим роботи попереднього каскаду підсилення, а також підібрано компонентну базу.

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

2 Спеціальна частина (САПР)

2.1 Використання програмного забезпечення

В цій роботі будуть використовуватись САПР, а саме Altium Designer. САПР стають необхідною складовою сучасного процесу розробки електронних пристроїв. Altium Designer надає інженерам можливість розробляти плати та схеми, виконувати моделювання, розміщення компонентів на платі, проводити трасування, генерувати документацію та багато іншого.

Altium Designer - це передовий САПР, який надає інженерам все необхідне для проектування складних електронних пристроїв.

Особливості Altium Designer:

- Комплексне проектування: Від створення бібліотек, схем, плат до генерації документації, Altium Designer охоплює всі етапи проектування.
- Автоматизація та оптимізація: Автоматизація завдань, наприклад, автоматизоване трасування та інтелектуальні алгоритми оптимізації економлять час та ресурси.
- Широка база компонентів: Швидкий доступ до мільйонів компонентів від провідних виробників.
- Перевірка та аналіз: Потужні інструменти візуалізації та перевірки для виявлення помилок та проблем.
- Обмін даними: Сумісність з різними форматами файлів та інтеграція з іншими системами.
- Підтримка та навчання: Активна спільнота користувачів та всебічна технічна підтримка від Altium.

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

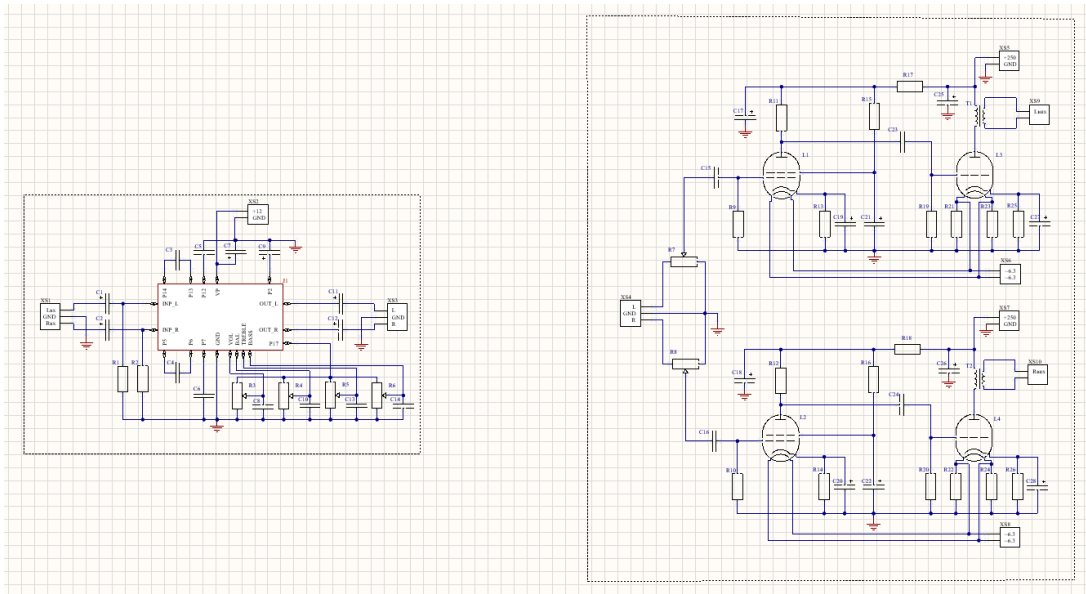


Рисунок 2.1 – Схема електрична принципова, розроблена в середовищі Altium Designer

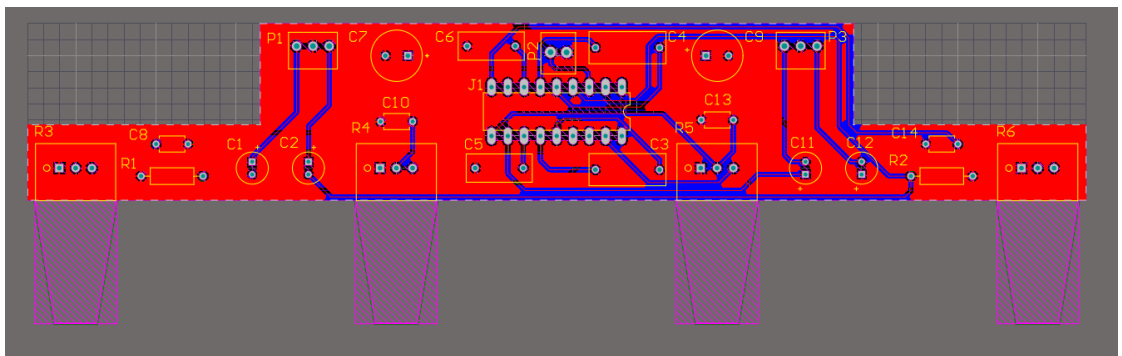


Рисунок 2.2 – Друкована плата, розроблена в середовищі Altium Designer

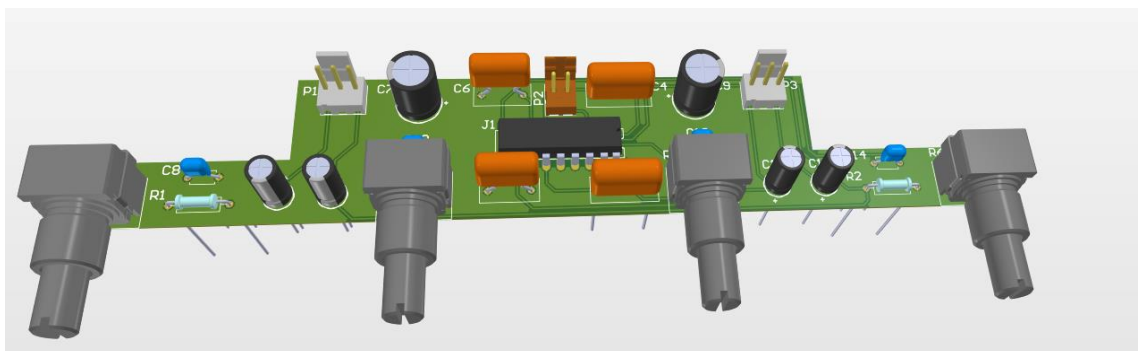


Рисунок 2.3 – Друкований вузол в режимі 3D

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Адк.

43

2.2 Висновки до розділу 2

У розділі 2 надано огляд використання САПР, а саме Altium Designer, та переваги його застосування. Також було представлено схему електричну принципову, друковану плату та друкований вузол в режимі 3D розроблені в середовищі Altium Designer.

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

3 Охорона праці та безпека життєдіяльності

3.1 Вибір схеми пристрою захисного відключення від ураження електричним струмом для електроустановки напругою до 1000 В.

Обов'язкову вимогу встановлення пристроїв захисного вимикання передбачено «Правилами улаштування електроустановок», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок»

Пристрої захисного вимикання забезпечують ефективний захист від непрямих дотиків, вони також надають захист й від прямих дотиків, на що не здатний будь-який інший захисний апарат. Крім того, пристрої захисного вимикання здійснюють захист від займання та пожеж, що виникають унаслідок пошкоджень ізоляції електропроводки. У разі порушення ізоляції, тобто прямому дотику до однієї із струмовідних частин або за обриву захисних провідників, пристрої захисного вимикання є практично єдиним швидкодіючим засобом захисту людини від ураження електричним струмом.

Функціонування захисного приладу заснована на вимірювальному методі. Фіксуються вхідні та вихідні параметри, які протікають через трансформатор струму. Якщо перше значення більше, ніж друге, це означає, що в електричній системі відбувається витік струму і прилад відтворює відключення. Якщо параметри ідентичні, пристрій не спрацьовує. З моменту виникнення витоку струму, автоматичне відключення всіх фаз аварійної ділянки електричного кола відбувається протягом 0,03-0,3 с.

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

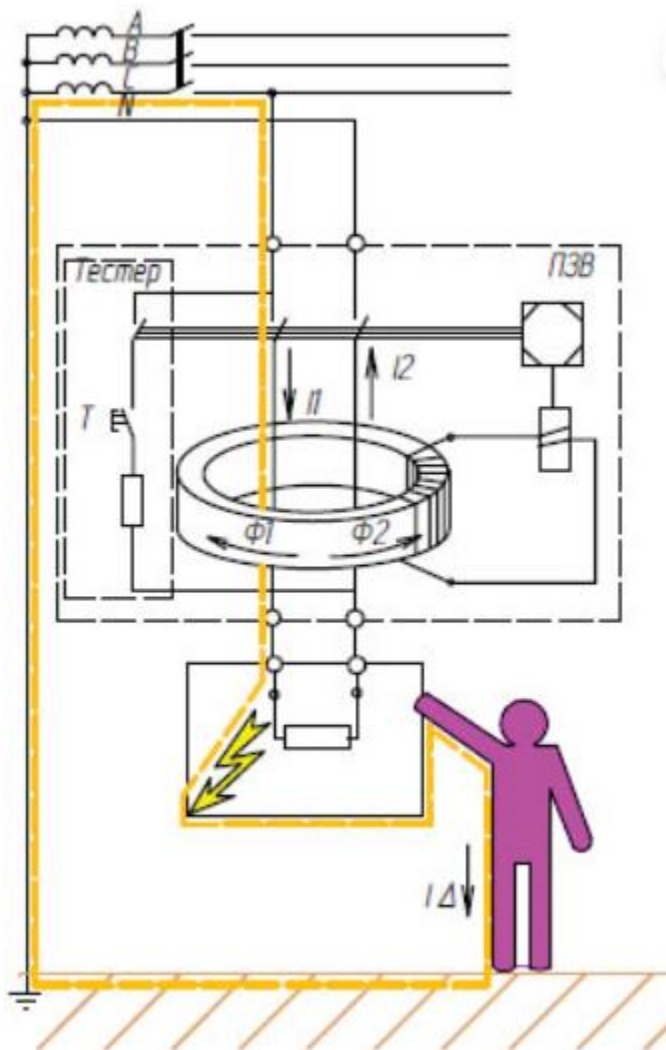


Рисунок 3.1 – Схема захисного відключення від ураження електричним струмом

Опис простої схеми з напругою до 1000 В:

Трансформатор струму: використовується для вимірювання диференціального струму.

Випрямляч: перетворює змінний струм на постійний.

Порівняльний пристрій: порівнює випрямлений диференціальний струм з заданим порогом спрацювання.

Реле відключення: розмикає контакти силового ланцюга, коли диференціальний струм перевищує поріг спрацювання.

Індикатор: сигналізує про спрацювання пристрою захисного відключення.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ООМ 2.899 .001.ПЗ

Арк.

46

Фазний провідник підключається до первинної обмотки.

Нейтральний провідник підключається до вторинної обмотки.

Випрямлений струм з подається на порівняльний пристрій.

Порівняльний пристрій порівнює диференціальний струм з порогом спрацьовування.

Якщо диференціальний струм перевищує поріг спрацьовування, порівняльний пристрій подає сигнал на реле відключення.

Реле відключення розмикає контакти силового ланцюга, відключаючи живлення.

Індикатор сигналізує про спрацювання пристрою захисного відключення

3.2 Пристрій автоматичного контролю пошкоджень ізоляції в електроустановках.

В процесі експлуатації систем електропостачання однією з основних причин порушення нормального режиму роботи окремих електроустановок і системи в цілому є виникаючі короткі замикання, які є всякими випадковими або навмисними, не передбаченими нормальним режимом роботи, електричне з'єднання різних точок електроустановки між собою або із землею, при якому струми різко зростають, перевищуючи найбільший допустимий струм тривалого режиму, в ланцюгах, що примикають до місця виникнення цього з'єднання, в разі з'єднання із землею однієї фази (полюси) електроустановки, елементи якої працюють з ізолюваною або резонансно заземленою нейтраллю.

Короткі замикання виникають в результаті порушення ізоляції електроустановок, різних причин, що є слідством: старіння ізоляції в процесі експлуатації електроустаткування; перенапружень; прямих ударів блискавки; механічних пошкоджень; накидів сторонніх предметів на струмоведучі

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

частини; незадовільного догляду за електроустановками; помилкової дії обслуговуючого персоналу.

Наслідками коротких замикань є:

Недопустимий нагрів електроустановки і його термічне пошкодження із-за значного підвищення струмів (у 10-15 разів і більше);

Поява великих зусиль між струмоведучими частинами, які можуть привести до їх механічного пошкодження і руйнування;

Зниження напруги і спотворення його симетрії, що негативно позначається на роботі споживачів. Так, при пониженні напруги на 30-40 % протягом часу не менше 1 с зупиняються електродвигуни, внаслідок чого можливі порушення технологічного циклу на підприємствах, поява браку продукції і інші наслідки, пов'язані з народногосподарським збитком;

Наведення при несиметричних коротких замиканнях е.р.с. у сусідніх лініях зв'язку і сигналізації, небезпечних для обслуговуючого персоналу та апаратури;

Порушення стійкості окремих елементів і режиму системи електропостачання в цілому, що приводить до виникнення аварійних ситуацій з відключенням великої кількості споживачів електричної енергії; спалах електроустановок.

Для запобігання цим небажаним явищам необхідно розробляти системи які б були в змозі оперативно відслідковувати зміни в стані ізоляції електроустановок та повідомляти обслуговуючий персонал про можливу загрозу розвитку аварійної ситуації.

У пристроях контролю опору ізоляції, діючих на принципі використання випрямлених струмів контрольованої мережі, застосовують вперше розроблені в нашій країні так звані вентильні схеми, у яких необхідні для роботи струми утворюються за допомогою трьох вентилів, підключених до фаз контрольованої мережі.

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

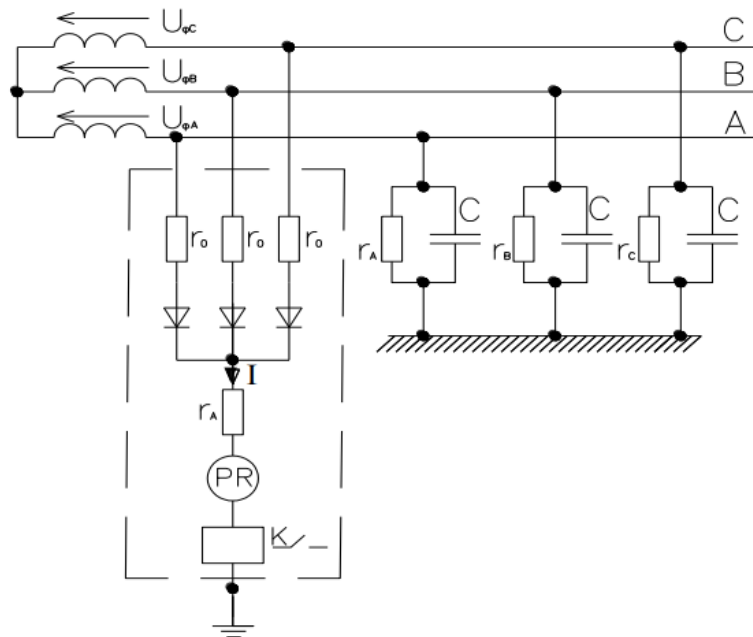


Рисунок 3.2 - Принципова схема контролю опору ізоляції випрямленими струмами контрольованої мережі

Три напівпровідникових вентиля V підключаються до фаз А, В і С контрольованої мережі через запобіжні опори r_0 . Загальна точка вентилів з'єднується із землею через кілоомметр PR і сигнальне реле К. Опір r_d обмежує струм у схемі контролю до безпечної межі. Запобіжний опір r_0 призначений для обмеження струму в разі пробоя вентилів. Маючи у схемі ці опори, можна обійтися без плавких запобіжників. Співвідношення опорів r_0 та r_d можна вибрати самі різні. У практичних же схемах доцільно r_d приймати значно більшим r_0 , так як високоомні резистори мають значно більший розкид за параметрами, що у разі $r_d < r_0$ може призвести до небажаної асиметрії схеми. Зазвичай вибирають r_0 рівним 5-10% r_d . Кілоомметр вимірює опір ізоляції мережі відносно землі, а сигнальне реле приводить в дію світлову або звукову сигналізацію при зниженні опору ізоляції нижче встановленої межі. У розглянутій схемі одночасно може працювати (пропускати струм) тільки один вентиль, анод якого має найбільш високий потенціал у дану частину періоду. Два інших вентиля в цей час не пропускають струм, так як їх аноди мають негативний потенціал по відношенню до катодів, загальний потенціал яких

(всі катоди електрично пов'язані) відрізняється від потенціалу анода працюючого вентиля лише на невелике значення падінь напруги в ньому. Струм від одного діода до іншого переходить в момент перетину позитивних півхвиль синусоїд фазних напруг мережі. Будемо вважати, що вентилялі мають ідеальну характеристику, тобто їх опір дорівнює нулю в напрямку, що проводить струм і нескінченно велике - у зворотному. Будемо також вважати, що перехід струму з одного вентиля на інший відбувається миттєво. Як і в будь-якій іншій схемі контролю опору ізоляції, нас передусім цікавить залежності струму, що протікає через навантаження від параметрів схеми і опору ізоляції мережі. При цьому необхідно знати середнє значення струму, тому що магнітоелектричні прилади, що застосовуються, в пристроях контролю ізоляції реєструють, як відомо, середні значення струмів і напруг.

При розробці приладів і пристроїв безперервного контролю ізоляції приділяється велика увага. У теперішній час відомо досить багато різних схем пристроїв безперервного контролю ізоляції. Основні властивості та особливості цих схем визначаються видом струму, що проходить по вимірювальному ланцюгу і реле і залежного від опору ізоляції та ємності контрольованої мережі. За значеннями цих струмів градууються контрольно-вимірювальні прилади і вибирають уставки реле пристроїв та приладів безперервного контролю ізоляції. Знаходження аналітичної чи експериментальної схеми та опору ізоляції мережі відносно землі - головне завдання, яке необхідно вирішувати, щоб досліджувати, розрахувати і розробити будь-який сучасний пристрій безперервного контролю ізоляції.

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Висновки

В цій кваліфікаційній роботі був розроблений високоякісний підсилювач низької частоти на лампах 6Э5П та 6С33С, які використовуються в якості попереднього та кінцевого підсилювача, а також мікросхеми TDA1524, що слугує темброблоком.

В першому розділі пояснювальної записки було розроблену структурну схему, схему електричну принципову та надано опис принципу їх роботи, розраховано значення елементів, які завдають режим роботи лампи 6Э5П, що слугує попереднім каскадом підсилення, також була побудована навантажувальна пряма на вольт-амперній характеристиці лампи 6Э5П. Розглянуто питання необхідності темброблоку в підсилювачі.

В другому розділі пояснювальної записки було розглянуто використання програмного забезпечення. В цій роботі використовувався Altium Designer для розробки схеми електричної принципової, друкованої плати та друкованого вузла.

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Список використаних джерел

1. Методичні вказівки до Кваліфікаційна робота бакалавра [електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://dl.tntu.edu.ua/content.php?cid=452260> Дата доступу 10.05.2024.
2. MFR-25FTE52-1R [електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <https://www.snapeda.com/parts/MFR-25FTE52-1R/Yageo/datasheet> (дата завершення 10.05.2024)
3. PCB Headers and Receptacles Part - 26604030 | Molex [електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <https://www.molex.com/en-us/products/part-detail/26604030> (дата завершення 10.05.2024)
4. TDA1524 [електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/19211/PHILIPS/TDA1524.html> (дата завершення 10.05.2024)
5. ECQ-E4473KFA [електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Panasonic/ECQE4473KFA?qs=9ouE0kzBZ2oL8a%2FyugPzBw%3D%3D> (дата завершення 10.05.2024)
6. EEU-FR1H4R7 [електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Panasonic/EEUFR1H4R7?qs=tfZGHB2PWd0gZ8LzVWIqKg%3D%3D> (дата завершення 10.05.2024)
7. ECA-1JM101 [електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Panasonic/ECA1JM101?qs=EZwXiknEaqS%252bgLCqmp5tPA%3D%3D> (дата завершення 10.05.2024)
8. ECA-1JM101 [електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <https://www.snapeda.com/parts/51AAD-B24-A15L/Bourns/datasheet/> (дата завершення 10.05.2024)
9. F462BY104K1L2C [електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/КЕМЕТ/F462BY104K1L2C?qs=wo4x%252BUeoG8UKVjo5YcmzYg%3D%3D> (дата завершення 10.05.2024)

					<i>ООМ 2.899.001.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

10. ECA-2AHG221B [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
<https://eu.mouser.com/ProductDetail/Panasonic/ECA2AHG221B?qs=rMMd5vBiahroBWgdk6uOtQ%3D%3D> (дата завершения 10.05.2024)

11. EEUEE2G101 [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
<https://www.digikey.com/en/products/detail/panasonic-electronic-components/EEU-EE2G101/1245999> (дата завершения 10.05.2024)

12. MFR1WS [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
https://www.mouser.com/datasheet/2/447/YAGEO_MFR_datasheet_2021v1-3003041.p (дата завершения 10.05.2024)

13. 51AAD-B24-A15L [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
<https://eu.mouser.com/ProductDetail/652-51AAD-B24-A15L> (дата завершения 10.05.2024)

14. SQMR53K3J [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
<https://www.digikey.com/en/products/detail/te-connectivity-passive-product/SQMR53K3J/2365613> (дата завершения 10.05.2024)

15. B43504A9476M000 [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
<https://www.digikey.com/en/products/detail/epcos-tdk-electronics/B43504A9476M000/2269465> (дата завершения 10.05.2024)

16. 20W300RJ [электронный ресурс] - Режим доступа: URL:
<https://asenergi.com/catalog/rezistory-moshchnye/keramicheskiy-cementnyy/20w.html> (дата завершения 10.05.2024)

					<i>ООМ 2.899 .001.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ДОДАТКИ

					ООМ 2.899 .001.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою РТ
_____к.т.н. Дунець В.Л.
“ ____ ” _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему:
«Високоякісний підсилювач низької частоти»

Узгоджено:
Керівник роботи
Марценюк А.С. _____
“ ____ ” _____ 2024р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РА-41
Опашний О.М. _____
“ ____ ” _____ 2024р.

Тернопіль, 2024

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Високоякісний підсилювач низької частоти”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № 4/7-581 від “03” червня 2024р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Опашний Олександр Михайлович групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є проектування приладу, що включає в себе:

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

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1 Діапазон робочих температур – 25 ± 10 °С;

4.1.2 Вологість - 30-80 %;

4.1.3 Тиск - 560-860 мм. рт. ст.;

4.1.4 Напруга живлення темброблоку – 12 В;

4.1.5 Напруга живлення попереднього та кінцевого підсилювача – 250 В;

4.1.6 Номінальна потіжність – 20 Вт;

4.1.7 Частотний діапазон – 20-20000 Гц

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема приладу;
- електрична принципова схема приладу;
- друкована плата приладу;

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

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

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

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Конденсатори</u>		
C3,C4	ECQE4473KF-15 нФ-100В±20%	2	
C5,C6	ECQE4153KFB-47 нФ-100В±20%	2	
C1,C2, C11,C12	EEUFR1H4R7- 4.7 мкФ-16В±20%	4	
C7,C9	ECA1JM101-100 мкФ-16В±20%	2	
C8,C10,C13,C14 C15,C16.	RDER71H104KOK1H03B-0.1 мкФ-50В±10%	6	
C19,C20	MCKSK6R3M222G16S-2200 мкФ-6.3В±20%	2	
C21,C22	EEU-ED2E220B-22 мкФ-250В±20%	2	
C23,C24	F462BY104K1L2C-0.1 мкФ-400В±10%	2	
C17,C18	B43504A9476M000-47 мкФ-400В±20%	2	
C25,C26	EEUEE2G101-100 мкФ-400В±20%	2	
C27,C28	ECA-2AHG221B-2200 мкФ-100В±20%	2	
	<u>Мікросхеми</u>		
J1	TDA 1524	1	
	<u>Роз'єми</u>		
XS2,XS5,XS6, XS7,			
XS8,XS9,XS10	MOLEX 26604020	7	
XS1, XS3, XS4	MOLEX 26604030	3	
	<u>Резистори</u>		
R1, R2	MFR-25S-50кОм ±5%	2	
ООМ 2.032.001 ПЕЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис
Розроб.	Опашний О.М.		
Перевір.	Марценюк А.С..		
Н. Контр.			
Затверд.			
Реценз.			
		Підсилювач низької частоти	
		Перелік елементів	
Літ.	Арк.	Аркушів	
	1	2	
ФПТ, гр. РА-41			

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A2			ООМ 2.032.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4			ООМ 2.032.001 ПЕЗ	Перелік елементів	1	
A2			ООМ 2.032.001 СК	Вузол друкований	1	
				<u>Деталі</u>		
A2	1		ООМ 7.161.001	Плата друкована	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				<u>Конденсатори</u>		
		2		ECQE4473KF-15 нФ-100В±20%	2	C3,C4
		3		ECQE4153KFB-47 нФ-100В±20%	2	C5,C6
		4		EEUFR1H4R7- 4,7 мкФ-16В±20%	4	C1,C2,C11,C12
		5		ECA1JM101-100 мкФ-16В±20%	2	C7,C9
		6		RD71H104K0K1H03B-0.1 мкФ-50В±10%	4	C8,C10,C13,C14
				<u>Резистори</u>		
		7		51AAD-B24-A15L-50кОм ±5%	4	R3,R4,R5,R6
		8		MFR-25FTE52-50кОм ±5%	2	R1, R2

					ООМ 2.032.001 СК		
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Опашний О.М.				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Марценюк А.С.					1	2
Реценз					ФПТ, гр. РА-41		
Н Контр.							
Затвер.							
					Друкований вузол Високоякісний підсилювач низької частоти		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Мікросхеми</u>		
		9		TDA 1524	1	J1
				<u>Роз'єми</u>		
		10		MOLEX 26604020	1	XS2
		11		MOLEX 26604030	2	XS1, XS3

ООМ 2.032.001 СК