

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДВНЗ « Ужгородський національний університет»  
Інженерно-технічний факультет  
кафедра електронних систем

кваліфікаційна бакалаврська робота

На тему: Імпульсний підсилювач для мас-спектрометра

Студента 2 СТ курсу

Алмаші Крістіана Олександровича

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Керівник кандидат фіз.-мат. наук Заяць Тарас Михайлович  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Голова ЕК:

Лоя В.Ю. канд. тех.наук., ст. н. с. ІЕФ НАНУ.

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

  
(підпис)

Заяць Т.М.- канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС.

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

  
(підпис)

Юркін І.М.- канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС.

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання)

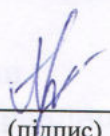
  
(підпис)

Спесивих О.О.-канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС.

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання)

  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент 

(підпис)

Ужгород – 2023

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. Заяць Т. М. (Заяць Т. М.)

“ 15 ” червня 2023 року

Розділ	Консультант	Підпис, дата
<b>ЗАВДАННЯ</b>		
на кваліфікаційну бакалаврську роботу		
студенту <u>Алмаші Крістіану Олександровичу</u>		

- Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: “Імпульсний підсилювач для мас-спектрометра”.

Затверджена на засіданні кафедри електронних систем (протокол №4 від “11” \_ листопада \_ 2022 року).

Затверджені Розпорядженням декана ІТФ від «12» травня 2023 року № 15

- Термін закінчення студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи: 10 червня 2023 року.

- Вихідні дані до курсової роботи.

Розробити і спроектувати структурну і принципову схеми широкосмугового імпульсного підсилювача із наступними параметрами:

- коефіцієнт підсилення  $10^3$ ;
- вхідний опір – 1 кОм;
- тривалість імпульсів 1 – 5 мкс;
- часи наростання і спаду 100 нс;
- напруга живлення 9 В, 2,4 В – 5 В;
- тривалість імпульсів подвоєної частоти встановлюється 1 мкс;
- час встановлення імпульсу не більше 10 % його тривалості.

Прилад призначений для експлуатації за ДСТУ EN 60335-1:2015.

- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці).

Вступ.

1. Огляд та аналіз аналогів об'єкту досліджень.

2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання.

3. Проектно-конструкторський розділ.

3.1 Розробка структурної схеми.

3.2 Розробка електричної принципової схеми

3.3 Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми. Вибір елементів

4. Висновки.

3.3 Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми. Вибір елементів

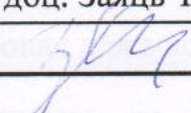
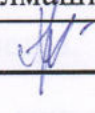
4. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу, в тому числі обов'язкових креслень.

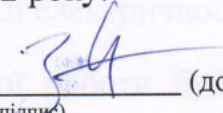
1. Структурна схема.

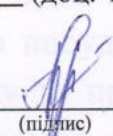
2. Принципова електрична схема.

6. Консультанти роботи, вказати з яких розділів.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
		доц. Заяць Т.М.	Алмаші К. О.
Нормоконтроль	доц. Спесивих О.О.		

7. Дата видачі завдання 25 жовтня 2022 року.

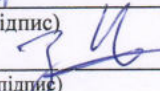
Керівник роботи  (доц. Т.М. Заяць)  
(підпис)

Завдання прийняв на виконання  (К.О. Алмаші)  
(підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів виконання КБР	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2022 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	до 20.02.2023 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2023 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2023 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.05.2023 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної бакалаврської роботи.	до 10.06.2023 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент  (К.О. Алмаші)  
(підпис)

Керівник роботи  (доц. Т.М. Заяць)  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота на тему «Імпульсний підсилювач для мас-спектрометра» / УжНУ; Керівник Заяць Т.М.; Студент Алмаші К. О., група ЕС.

Пояснювальна записка: 49 сторінок, 14 рисунків, 1 таблиця, 16 джерел, 4 додатки.

Графічна частина: 2 листи формату А1.

Об'єкт розробки – імпульсний підсилювач для мас-спектрометра.

Метод дослідження – аналіз прототипу та аналогів, синтез електричної структурної схеми та її реалізація у вигляді електричної принципової схеми

При виконанні даної бакалаврської роботи було проведено пошук та аналіз аналогів об'єкту проектування і загальні принципи побудови. На основі цих даних і вимог технічного завдання розроблено структурну та принципові схеми. Проектно конструкторський розділ містить синтез структурної та принципової схеми, опис дії пристрою і розрахунки.

**МАС-СПЕКТРОМЕТР, ПІДСИЛЮВАЧ, ІМПУЛЬСНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, СХЕМА,  
ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ІМПУЛЬСНОГО ПІДСИЛЮВАЧА**

## **ABSTRACT**

Diploma project of the “Bachelor” degree: «Pulse amplifier for the mass spectrometer» / UzhNU; Supervisor: Zayats T. M.; Student: Almashi C. J., ES group.

Explanatory note: 49 pages, 14 figures, 1 table, 16 sources, 4 appendixes.

Graphic part: 2 A1 sheets.

The objective is to develop a pulse amplifier for a mass spectrometer.

I conducted research using the analysis of the prototype and similar devices as our methodology. The subsequent step involves creating an electrical structural diagram and implementing it as an electrical schematic diagram.

During the completion of my master's thesis, I extensively researched analogues of the design object and general construction principles. Based on the gathered data, a comprehensive structural and principle diagram was developed. The design and construction section encompasses the creation of the structural and principle schemes, a detailed description of the device's operation, and mathematical calculations.

### **Keywords:**

**MASS SPECTROMETER, AMPLIFIER, PULSE AMPLIFIER, CIRCUIT,  
ELECTRICAL DIAGRAM OF PULSE AMPLIFIER**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
Інженерно-технічний факультет  
Кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. [підпис] (Заяць Т. М.)

“15” серпень 2023 року

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну бакалаврську роботу

на тему:

### ІМПУЛЬСНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ДЛЯ МАС-СПЕКТРОМЕТРА

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ			
Розробив		Алмаші К. О.	<u>[підпис]</u>	20.06.23	Імпульсний підсилювач для мас-спектрометра	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Заяць Т. М.	<u>[підпис]</u>	19.06		У	6	49
Т. Контр.			<u>[підпис]</u>		Пояснювальна записка	УжНУ, ІТФ 2 СТ, гр. ЕС		
Н. Контр.		Спесивих О.О	<u>[підпис]</u>	19.06.23				
Затвердив.		Заяць Т. М.	<u>[підпис]</u>	19.06				

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування	10
2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання	16
3. Проектно-конструкторський розділ	34
3.1. Синтез та аналіз структурної схеми	34
3.2. Синтез та аналіз принципової схеми	35
3.3. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми. Вибір елементів	39
4. Висновки	47
5. Перелік посилань	48

## ДОДАТКИ

Додаток А. структурна схема КБР.ЕС.9469314.001.Е1

Додаток Б. принципова схема КБР.ЕС.9469314.001.Е2

Додаток В. перелік елементів КБР.ЕС.9469314.001.ПЕ

Додаток Г. специфікація КБР.ЕС.9469314.001.СП

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

## ВСТУП

При проектуванні імпульсних пристроїв завжди постає питання про розумну точність розрахунків. Як відомо, транзистори і напівпровідникові діоди випускаються з помітним розкидом параметрів. Але це не може служити виправданням для зниження точності розрахунків до меж, при яких похибки стають рівноцінними з середнім квадратичним відхиленням. Якщо середнє значення параметрів і їх дисперсія визначені на основі достовірних статистичних даних, то зниження точності розрахунків сприяє підвищенню проценту браку проєктованих елементів. Достатньо задовільні результати отримуються при збереженні такої точності розрахунків, при якій похибки мають значення хоча б на порядок менший розкиду параметрів. Спокуса зниження точності розрахунків особливо великий при аналізі перехідних процесів, так як це не дозволяє суттєво спростити розрахункові формули.

Тривалість перехідних процесів визначається не тільки інерційністю транзисторів і міжелектродними ємностями, але і паразитними ємностями навантаження, вхідного генератора, монтажними паразитними ємностями тощо. Суттєвим є також вплив тривалості фронту та зрізу керуючого сигналу. Облік всіх вказаних факторів помітно ускладнює аналіз та розрахунок імпульсних пристроїв. Навіть при використанні наближених методів, які широко використовуються, не вдається спростити розрахункові формули до такого ступеню, як це можливо досягнути при врахуванні тільки інерційності транзисторів та між електродних ємностей. Тому для повного розрахунку найбільш складних формул потрібно використовувати персональний комп'ютер.

Окрім того науково-технічний прогрес у всіх галузях народного господарства перехід до комплексного управління виробництвом, впровадження автоматизованих систем проектування (САПР), конструювання технологічної підготовки (АСПКТП) керування технологічними процесами неможливі без якісної, сучасної виміральної

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

техніки. Про масштаб вимірювальних робіт свідчить той факт, що на регулювання, настройку, випробування і контроль виробів йде в середньому більше 10 відсотків, а в таких областях, як радіоелектроніка, вимірювальна техніка, приладобудування - половина вдових витрат.

Створення радіоелектронної апаратури (РЕА) - дуже складний процес, який вимагає чіткої організації робіт на всіх етапах, починаючи з творчого задуму і закінчуючи виготовленням пристрою. Випробування є важливим заключним етапом розробки і виробництва РЕА, що має на меті перевірку пристрою у контексті повного виконання вимог, поставлених до пристроя.

Від якості регулювання, настроювання і випробувань залежить надійність роботи РЕА в цілому. Тому це необхідно, бо за останні роки у вітчизняній та зарубіжній радіо-, і електронній промисловості досягнуті значні успіхи у області освоєння нових технологій виробництва РЕА, в тому числі з широким використанням інтегральних мікросхем і мікрозбірок, багатошарових друкованих плат і елементів функціональної мікроелектроніки заснованих на опто-, акусто-, кріоелектроніці та інших фізичних явищах. Вдосконалюється технології виробництва за розрахунок створення гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ) з максимальним вводом робіт та інших засобів механізації та автоматизації у найбільш трудомістких операціях зборки, монтажу, контролю та вимірювання. У виробництві РЕА широко вводяться агрегатні комплекси засобів електровимірювальної апаратури, які підвищують якість її роботи.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

# 1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування

Електронні пристрої поділяють на два класи: **аналогові** і **дискретні**. Історично першими розвивалися аналогові схеми, через те що саме вони становили основу радіотехніки – першої галузі застосування електронних пристроїв. Аналогові електронні пристрої (АЕП) призначені для прийому, перетворення й передавання електричних сигналів, які змінюються за законом неперервної (аналогової) функції. В аналоговому пристрої кожному конкретному значенню реальної фізичної величини на вході відповідає однозначне й визначене значення вихідного електричного параметра. Це можуть бути діючі значення напруги чи струму, їх частоти чи фази і т. п.

Перевагами АЕП є теоретично максимально досяжна точність і швидкодія, простота будови. Недоліками АЕП вважають низьку перешкодостійкість і нестабільність параметрів, великі спотворення при передаванні сигналів на значні відстані, труднощі тривалого зберігання інформації та низьку енергетичну ефективність.

До базових аналогових електронних пристроїв належать підсилювальні пристрої, перетворювачі аналогових сигналів, генератори гармонічних коливань, пристрої порівняння аналогових сигналів і вторинні джерела електроенергії. Прикладом пристрою аналогового відображення інформації є звичайний потенціометр, що перетворює лінійне переміщення в напругу.

Ось кілька прикладів аналогових електронних пристроїв:

1. Операційний підсилювач: Операційний підсилювач (ОП) - це електронний пристрій, який підсилює вхідний сигнал з великим коефіцієнтом підсилення. Використовується в багатьох аналогових схемах, таких як фільтри, посилювачі звуку, інструменти для вимірювання сигналів тощо.
2. Інтегральна схема: Інтегральна схема (ІС) - це електронний пристрій, в якому збудовані різні компоненти (такі як транзистори, резистори,

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

конденсатори) на одному субстраті з напівпровідникового матеріалу. ІС використовуються в широкому спектрі пристроїв, включаючи мікропроцесори, мікросхеми пам'яті, сенсори, аналогові та цифрові пристрої керування.

3. Датчик: Датчик - це пристрій, який перетворює фізичну величину (таку як температура, тиск, освітленість) в електричний сигнал. Використовуються в різних системах вимірювання та контролю, включаючи автоматичне регулювання, медичну діагностику, автомобільну електроніку та багато іншого.
4. Фільтр: Фільтр - це електронний пристрій, який дозволяє пропускати чи блокувати певні частоти сигналів. Використовується для обробки сигналів у спектральному діапазоні, наприклад, у системах звуку, радіо, телекомунікаціях та інших електронних пристроях.

Дискретні електронні пристрої (ДЕП) призначені для прийому, перетворення і передачі електричних сигналів, отриманих шляхом квантування за часом і / або рівнем вихідної аналогової функції. Тому діючі в них сигнали пропорційні кінцевому числу обраних за певним законом значень реальної фізичної величини, яка відображається у вигляді різних параметрів імпульсів або перепадів напруги або струму. Оскільки зазвичай цікавляться не тільки конкретними значеннями аналогової функції, але і її зміною, для передачі інформації використовують послідовності імпульсів або перепадів.

У ДЕП хоча кожному значенню реальної фізичної величини і ставиться у відповідність цілком певний параметр імпульсного сигналу, але так як інформація про її зміну може бути отримана тільки при порівнянні двох імпульсів, отримання такої інформації розтягується в часі. Для отримання повної інформації про кінцевий в часі фізичний процес необхідно відслідкувати нескінчену кількість імпульсів, тобто тимчасові масштаби протікання фізичного процесу і його відображення за допомогою імпульсів не збігаються. Тому в ДЕП використовується тільки частина інформації про реальну фізичну величину, тобто процес подання інформації пов'язаний з частковою її втратою.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

До переваг ДЕП слід віднести наступне.

1. У дискретних пристроях при великій шпаруватості можна отримати істотне перевищення потужності в імпульсі над середнім її значенням. Це (в порівнянні з аналоговими пристроями) сприяє покращенню масогабаритних показників окремих елементів ДЕП.

2. У ДЕП підсилювальні прилади (транзистори) використовують в специфічному режимі ключа (включено-виключено), при якому потужність, що розсіюється в них, мінімальна. Це підвищує коефіцієнт використання підсилювального приладу. Потужність навантаження може багаторазово перевищувати потужність, що розсіюється в самому підсилювальному приладі. Це дозволяє для управління великою потужністю застосовувати в ДЕУ малопотужні підсилювальні прилади. У транзисторних пристроях кратність перевищення потужності може досягати 10 ... 20.

3. Властивості дискретних пристроїв в меншому ступені залежать від нестабільності параметрів використовуваних елементів. Це пояснюється як меншим виділенням тепла, що, знижуючи перегрів, звужує реальний діапазон робочих температур, так і роботою напівпровідникових приладів в режимі ключа.

4. Перешкодостійкість ДЕП вище ніж АЕП, так як при передачі імпульсів скорочується час, протягом якого перешкода може вплинути на переданий сигнал.

5. ДЕП характеризуються застосуванням однотипних елементів в каналах обробки, передачі і зберігання інформації. У зв'язку з цим полегшується їх виготовлення засобами інтегральної технології, що забезпечує підвищену надійність, малогабаритність, дешевизну і тому подібне.

Зазначені переваги ДЕП зумовили їх широке використання в багатьох областях як силової, так і інформаційної електроніки (радіолокації, телебаченні, обчислювальній техніці), метрології тощо.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

Ось кілька прикладів дискретних електронних пристроїв:

1. Діод: Діод - електронний прилад з двома електродами, що пропускає електричний струм лише в одному напрямі. Застосовується у радіотехніці, електроніці, енергетиці та в інших галузях, переважно для випрямлення змінного електричного струму, детектування, перетворення та помноження частоти, а також для переключення електричних кіл.

Назву «діод» запропонував у 1919 році Вільям Генрі Еклз, утворивши її від грецької частки ді-, яка означає два та грец. ὄδος — шлях.

За фізичними принципами реалізації своїх функцій діоди як електронні прилади бувають електровакуумними, які виготовляють у вигляді електронних (електровакуумних) ламп (електровакуумні діоди) або газорозрядних (газонаповнених) приладів (газорозрядні вентиля) та напівпровідниковими. Кожний з видів поділяється на низку підвидів, залежно від функцій, що виконуються ними в електричних колах.

2. Транзистор: Транзистор - напівпровідниковий елемент електронної техніки, який дозволяє керувати струмом, що протікає крізь нього, за допомогою зміни вхідної напруги або струму, поданих на базу, або інший електрод. Невелика зміна вхідних величин, може призводити до суттєво більшої зміни вихідної напруги та струму.

Транзистори є основними елементами сучасної електроніки. Зазвичай вони застосовуються в підсилювачах і логічних електронних схемах. У мікросхемах в єдиний функціональний блок об'єднані тисячі й мільйони окремих транзисторів.

На принципових електричних схемах, транзистори біля умовних графічних позначень за ГОСТ 2.730-73[1] додатково позначають[2] літерно-цифровими позначками, що складаються з дволітерного коду VT та числа-порядкового номера елемента у схемі, наприклад: VT1, VT24 тощо.

За будовою та принципом дії, транзистори поділяють на два великі класи: біполярні транзистори (БТ) й польові транзистори (ПТ). До

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

кожного з цих класів входять численні типи транзисторів, що відрізняються за будовою і характеристиками.

3. Тиристор: Тиристор - напівпровідниковий прилад вентиляного типу, який відкривається для пропускання електричного струму при досягненні порогового значення напруги між анодом і катодом або за умови подачі невеликої напруги на керуючий електрод. Також цей електронний компонент часто називають напівпровідниковим керованим вентиляем.

За кількістю зовнішніх виводів розрізняють: діодні тиристори (диністори, мають два зовнішні виводи), тріодні тиристори (триністори, мають три зовнішні виводи) та тетродні тиристори (мають чотири зовнішні виводи).

Прилад, який не містить керуючих електродів, називається діодним тиристором або диністором. Такі прилади керуються напругою, прикладеною між основними електродами.

Прилад, що містить один керуючий електрод, називають тріодним тиристором або триністором (іноді просто тиристором, хоча це не зовсім правильно). В залежності від того, до якого прошарку напівпровідника підключений керуючий електрод, триністори бувають з керуванням за анодом і з керуванням за катодом. Останні є більш поширеними. За напрямком протікання струму у відкритому стані тиристори поділяються на несиметричні (пропускають струм в одному напрямку — від анода до катода) і симетричні (пропускають струм в обидвох напрямках). Симетричні тиристори виготовляються з п'яти шарів напівпровідників. Симетричний діодний тиристор називають також діаком (від англ. DIAC — DIode for Alternating Current). Симетричний тріодний тиристор (симістор) називають також тріаком (від англ. TRIAC — triode for alternating current). Слід зауважити, що замість симетричних діодних тиристорів (діаків) часто застосовуються їхні схемотехнічні аналоги, у тому числі й інтегральні, що мають, зазвичай, кращі параметри. Тріодні тиристори діляться на запірні і незапірні. Незапірні тиристори не можуть

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

бути переведені в закритий стан (що відображено в їх назві) за допомогою сигналу, що подається на керуючий електрод. Такі тиристори закриваються лише тоді, коли струм через них стає меншим від струму утримання. У випадку комутації змінного струму на активному (резистивному) навантаженні це відбувається в кінці напівхвилі.

Важко визначити галузь сучасної техніки, де б не знаходили застосування підсилювачі електричних сигналів. Це пояснюється несумісністю параметрів інформативних електричних сигналів, які отримують при первинному перетворенні різних неелектричних фізичних величин (температури, тиску, частоти обертання) на електричні, тим параметрам, які необхідні для нормальної роботи більшості виконавчих пристроїв. Наприклад, потужність електричного сигналу на виході типового датчика температури становить десятки міліват. Цього замало для надійної працездатності керуючих електронних приладів. Сигнал датчика необхідно підсилити.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	15
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання

Електронним підсилювачем називають пристрій (рис. 2.1), призначений для підсилення інформативного параметра електричного сигналу за рахунок перетворення енергії джерела живлення на енергію вихідного сигналу.



Рисунок 2.1 – Структура підсилювача [1]

Згідно з визначенням, процес підсилення електричних сигналів – це перетворення енергії джерела живлення за законом, який визначає вхідний керуючий сигнал. Процес підсилення здійснюється за допомогою нелінійного керованого елемента, опір якого залежить від керуючого сигналу. Залежно від схемної реалізації підсилювач може мати один чи кілька входів і виходів. Найпростіша схема, яка дозволяє здійснити підсилення, називається підсилювальним каскадом. В останні роки підсилювачі переважно використовують у вигляді неподільних компонентів – підсилювальних інтегральних схем.

Підсилювачі класифікують за такими ознаками:

- за типом активного елемента: підсилювачі транзисторні, лампові, магнітні та інші;
- за параметром вхідного сигналу, що підсилюється: підсилювачі напруги, струму, потужності;

- за структурою: підсилювачі однокаскадні та багатокаскадні. Багатокаскадні за способом зв'язку між каскадами поділяють на підсилювачі з ємнісним, трансформаторним та гальванічним зв'язком.

- за пропорційністю миттєвих значень вхідного й вихідного сигналів: підсилювачі з лінійним та з нелінійним режимами роботи. В підсилювачах з лінійним режимом роботи вихідний сигнал має форму близьку до вхідного сигналу. У підсилювачах з нелінійним режимом роботи пропорційність в передаванні миттєвих значень вхідного сигналу відсутня. Після досягнення певного значення напруги вхідного сигналу, подальше його збільшення залишає сигнал на виході незмінним (вихідний сигнал обмежується на певному рівні). Такі підсилювачі знайшли застосування для перетворення вхідного синусоїдного сигналу в імпульсний (підсилювачі - обмежувачі) або для підсилення імпульсів (нелінійні імпульсні підсилювачі);

Властивості підсилювачів визначає сукупність параметрів і характеристик, користуючись якими можна аналізувати їх роботу і проектувати нові пристрої.

### **Розрахунок багатокаскадного підсилювача**

Як правило, підсилювальні пристрої є багатокаскадними, тому що за допомогою одного каскаду звичайно не вдається забезпечити необхідне підсилення. Основне підсилення по напрузі забезпечується в каскадах попереднього підсилення. З них звичайно виділяють вхідний каскад, схема якого залежить від вимог по сполученню з джерелом сигналу, припустимому дрейфу нуля і т. п. Специфікою вихідного каскаду є забезпечення заданої чи потужності амплітуди вихідного сигналу, обмеження по припустимому рівні спотворень, робота на низькоомному навантаженні і т. д. Передостанній каскад також може мати специфічні особливості, зв'язані з умовою роботи вихідного каскаду, наприклад, з вимогою забезпечити на його вході значну потужність сигналу.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	17
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

При побудові широкополосних підсилювачів на біполярних транзисторах основну увагу приділяють їх частотним властивостям, що дозволяють при заданому коефіцієнті підсилення одного каскаду в області середніх частот  $K_{OI}$  забезпечити

необхідну верхню граничну частоту  $f_{Bv}$ , а, отже, і площа підсилювача одного каскаду  $\Pi = K \cdot f_{Bv}$  (2.2)

Якщо багатокаскадний підсилювач з верхньою граничною частотою  $f_{ш}$  містить  $N$  однакових каскадів, а спотворення на верхніх частотах розподілені між каскадами рівномірно, то зв'язок між  $f_{Bv}$  і  $f_{ш}$  встановлюється співвідношенням

$$F_{\epsilon} = \frac{f_{\epsilon}}{\varphi(n)} \quad (2.3)$$

де  $\varphi(m) = \sqrt{\sqrt{2} - 1}$  - функція, що враховує зменшення  $f_{ш}$  з ростом числа каскадів.

Якщо окремі однотипні каскади розв'язані між собою по постійному струмі, що приводить до спотворення в області нижніх частот, то нижня гранична частота одного каскаду  $f_{н}$ , зв'язана з  $f_{ш}$  усього підсилювача співвідношенням

$$F_{ni} = f_{н} \varphi(n) \quad (2.4)$$

### Розрахунок аперіодичних і імпульсних підсилювачів

Підсилення низькочастотних і імпульсних сигналів здійснюється аперіодичними підсилювачами. Типова схема двокаскадного резистивного підсилювача представлена на рис.2.2

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	18
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

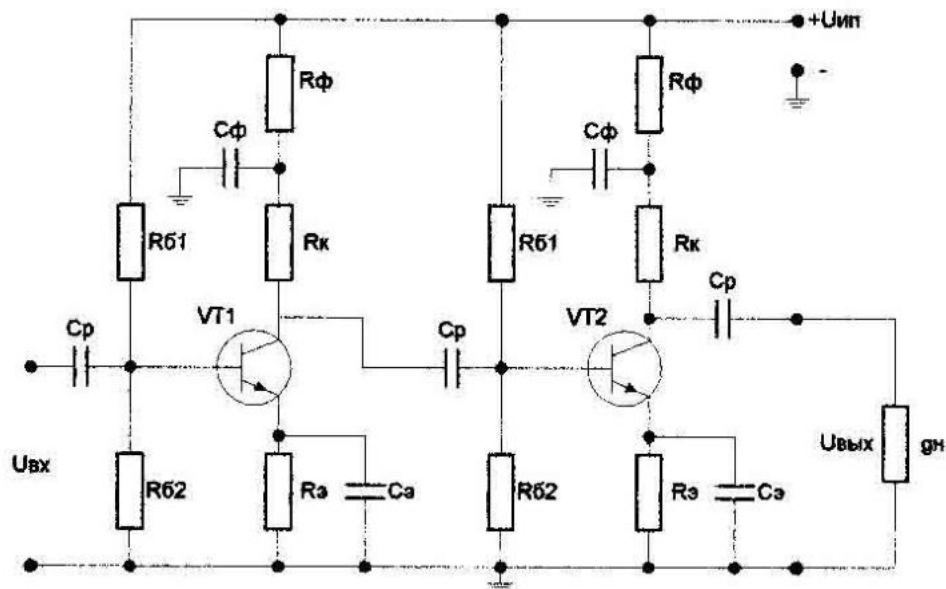


Рис. 2.2. Двокаскадний резистивний підсилювач [3]

Елементи підсилювального каскаду виконують наступні функції:

$R_{б1}$ ,  $R_{б2}$ ,  $R_e$  забезпечують обране положення робочої точки (РТ) і температурну стабілізацію транзистора;

$R_{ф}$ ,  $R_{ф}$  здійснюють розв'язку каскаду в діапазоні посилюваних частот і підвищують стійкість роботи підсилювача;

$C_p$  розділяє підсилювальні каскади по постійному струмові;

$R_k$ , є колекторним навантаженням транзистора;

$C_e$ , усуває негативний зворотний зв'язок по змінному струмові;

$G_n$  - провідність споживача.

За умови слабких сигналів, коли вихідна напруга  $U_{вих}$  істотно менше напруги  $U_{вх}$  можна вважати, що каскад працює в лінійному режимі. У цьому випадку розрахунок підсилювача зводиться до наступного.

Вихідними даними для кінцевих підсилювальних каскадів неперервних сигналів є:  $K_0$  - коефіцієнт підсилення;  $f_s$  і  $f_n$  - верхня і нижня граничні частоти;

$M_s$ ,  $M_n$  - рівень лінійних спотворень на частотах  $f_s$  і  $f_n$ ;  $R_n$  - провідність і опір споживача;  $U_{вих}$  - вихідна напруга.

Розрахунок проходить в наступній послідовності.

1. Вибирають тип біполярного транзистора, що дозволяє реалізувати необхідний коефіцієнт підсилення і смугу пропускання при заданих частотних спотвореннях:

2. Розділову ємність  $C_p$  визначають по заданих спотвореннях  $M_u$  на нижній граничній частоті:

При розрахунку підсилювачів імпульсних сигналів із тривалістю  $t_i$  задаються звичайно часом устанавлення фронту імпульсу  $t_\phi$ .

При рішенні ряду задач виникає необхідність підсилювати сигнали в широкій смузі частот, і, якщо смуга Пропускання звичайного аперіодичного підсилювача виявляється недостатньою, неї намагаються розширити, використовуючи ВЧ- і НЧ-корекції. Частотна корекція звичайно здійснюється одним із двох методів:

1. Введенням у ланцюг колекторної (стокової) навантаження частотно-залежних елементів (L-корекція в області ВЧ і ланцюжок  $R_\phi C_\phi$  - в області НЧ);

2. Використанням частотно-залежного негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) (емітерна корекція в області ВЧ).

### Розрахунок імпульсного підсилювача

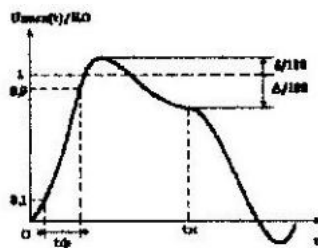


Рис. 2.3 Смуга пропускання підсилювача

Розрахуємо необхідну смугу пропускання підсилювача для формування даного Імпульсу. Час фронту (устанавлення)  $t_\phi$  і верхня гранична частота  $f_{\text{н}}$  аперіодичного підсилювача зв'язані між собою співвідношенням  $t_\phi = \frac{0.35}{f_{\text{н}}}$

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звідси отримаємо:  $f_c = \frac{0.35}{1 \cdot 10^{-7}} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Гц}$

А нижня гранична частота  $f_n$  зв'язана з відколом звідси отримаємо: 5,3кГц  
Неважко помітити, що транзистор потрібний ВЧ, тому візьмемо транзистор з даними характеристиками таблиця 2.1:

Таблиця 2.1

Тип транзистора	h21e	I <sub>к</sub> , ма	I <sub>кзв</sub> мка	f <sub>макс</sub> МГц	Ске, пФ	H21e  (35МГц), дБ	t,нс
КТ339А	25-50	25	0,5	300	2	24	25

### Вибір типу транзистора для вихідного і попередніх каскадів підсилювача і визначення його основних розрахункових параметрів.

Транзистор для вихідного каскаду вибираємо виходячи із заданої амплітуди імпульсу напруги на навантаженні підсилювача і часу

$$U_{сух} = K_U * U_{ex} = 6,5 * 10^3 * 1,2 * 10^{-3} = 7,8 \text{ В}$$

встановлення підсилювача (  $t_y = 0.2 \text{ мкс}$  ). З урахуванням того, що кремнієві транзистори мають кращу температурну стабільність параметрів обираємо з довідника [2,3] транзистор КТ368А.

Параметри транзистора:

$$U_{ке max} = 15 \text{ В}; U_{кен max} = 20 \text{ В}; P_{к max} = 225 \text{ мВт}; f_{гр} = 900 \text{ МГц};$$

$$h_{21e min} = 50; h_{11б} = 6 \text{ Ом}; C_{к} = 1,7 \text{ пФ}; I_{к max} = 30 \text{ мА}; \tau = 15 \text{ пС}.$$

По вхідних характеристиках транзистора КТ368А у крапці, відповідною режиму  $U_{ке} = 11 \text{ В}; I_{к} = 2 \text{ мА}$ , що відповідає струму  $I_{б} = 20 \text{ мкА}$  бази знаходимо  $\Delta I_{б} = 30 * 10e^{-6} - 12 * 10^{-6} = 18 * 10e^{-6} \text{ мкА}$  и  $\Delta E_{б} = 0,73 - 0,7 = 0,03 \text{ В}.$

Знаходимо параметри:

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$g_{11} = \frac{\Delta I_{\epsilon}}{\Delta E_{\epsilon}} = \frac{18 \cdot 10^{-6}}{0.03} = 0.0006 \text{ См}$$

$$g_{21} = \frac{\alpha \cdot g_{11}}{1 - \alpha} = \frac{3,25 - 1}{0,73 - 0,07} = 75 \frac{\text{мА}}{\text{В}} \quad r_{\epsilon} = \frac{r_{\epsilon} \cdot C_{\epsilon}}{C_{\epsilon}} = \frac{r_{\epsilon}}{C_{\epsilon}} = \frac{15}{1,7} = 8,82 \text{ Ом}$$

$$\tau = \frac{g_{21} \cdot r_{\epsilon}}{2\pi \cdot m_T \cdot f_{zp}} = \frac{75 \cdot 10^{-3} \cdot 8,82}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,6 \cdot 900 \cdot 10^6} = 0.000073 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 0,000073 \text{ мкс}$$

Умова перевірки вибраного транзистора на відповідність заданим параметрам підсилювача  $U_{\text{ке max}} > E_{\text{п}} ; 1,2 / 1,5 U_{\text{ввых}}$

$$f_T \geq \frac{3}{t_y} \geq \frac{3}{0.2} \geq 15 \text{ МГц}$$

Для транзистора КТ339А гранична частота посилення  $f_T > f_T = 900 > 15 \text{ мГц}$ , отже даний транзистор підходить для використання в підсилювачі.

### Розрахунок кількості каскадів

Відповідно до виразу (2.2) верхня гранична частота кожного каскаду:

$$F_{\epsilon} = \frac{f_{\epsilon}}{\varphi(n)} = \frac{3,5 \cdot 10^6}{0,386} = 9,06 \text{ МГц. Відповідно до виразу (2.3) нижня гранична}$$

$$\text{частота кожного каскаду: } F_n = f_{\epsilon} \cdot \varphi(n) = 5,3 \cdot 10^3 \cdot 0,386 = 2,05 \text{ кГц} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт посилення кожного каскаду (1.4):

$$K_0 = \frac{\lg(K)}{\lg(N)} \approx 4 \quad (2.6)$$

Вибрано 5 каскадів з коефіцієнтом посилення 4

### Розрахунок вхідного підсилювального каскаду

Вихідні дані:

1. Коефіцієнт посилення  $K_0 = 1$ ;
2. Верхня і нижня граничні частоти  $f_{\epsilon} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ ,  $f_{\text{я}} = 2,05 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ ;

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						22

3. Рівень лінійних спотворення на частотах  $f_a$  і  $f_H$  -  $M_6$  і  $M_H$  рівні 1,2;
4. Вхідний опір  $\geq 1\text{МОм}$
5. Напруга живлення 9 В

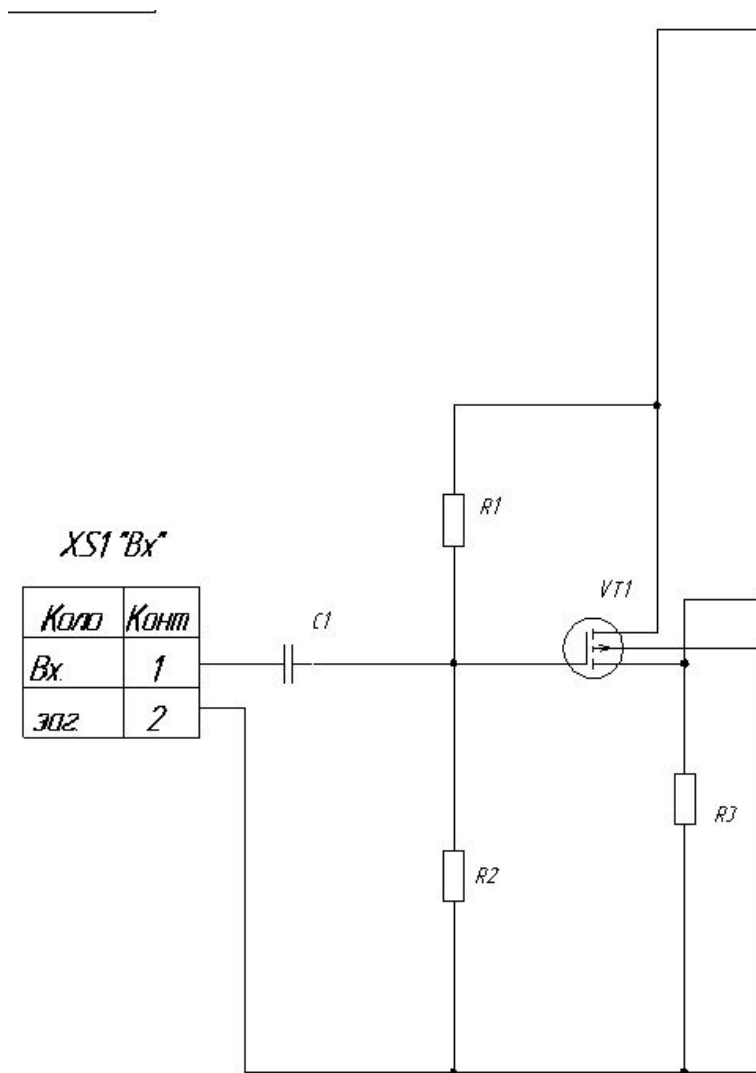


Рис. 2.4 Вхідний каскад [3]

Для узгодження з навантаженням використано повторювач на транзисторі VT1. Вибравши напругу на витoku 1,5В по характеристикам транзистора знаходимо напругу на затворі  $U_g = 2,7\text{В}$

Обравши струм стоку рівним 0,7 мА знайдено

Величина R3 знаходиться з виразу

$$R3 = \frac{1,5}{7 \cdot 10^{-4}} = 2,14\text{кОм} \text{ Вибрано опір } 2,2\text{кОм}.$$

Напруга на базі рівна  $U_g = 2,7\text{В}$

Обрано опір R2 рівний 2 МОм

$$R1 = \frac{(U_{жс} - U_3)R2}{U_3} = 4,666 \text{ МОм} \text{ Обрано } 4.7 \text{ МОм.}$$

Вхідний опір рівний  $R_{вх} = R1 \parallel R2 \approx 1.4 \text{ МОм}$

Роздільна ємність Ср рівна

$$C1 = \frac{2}{2\pi f_n R_{вх} \sqrt{M_n^2 - 1}} = 78 \text{ нФ} \text{ Вибрано ємність } 82 \text{ нФ}$$

### Розрахунок підсилювального каскаду

Вихідні дані:

1. Коефіцієнт підсилення  $K_o = 4$ ;
2. Верхня і нижня граничні частоти  $f_e = 3,5 * 10^6$  Гц,  $f_я = 2,05 * 10^3$  Гц;
3. Рівень лінійних спотворення на частотах  $f_a$  і  $f_n$  -  $M_e$  і  $M_n$  рівні 1,2;
4. Вихідний опір  $K_n = 200$  Ом.

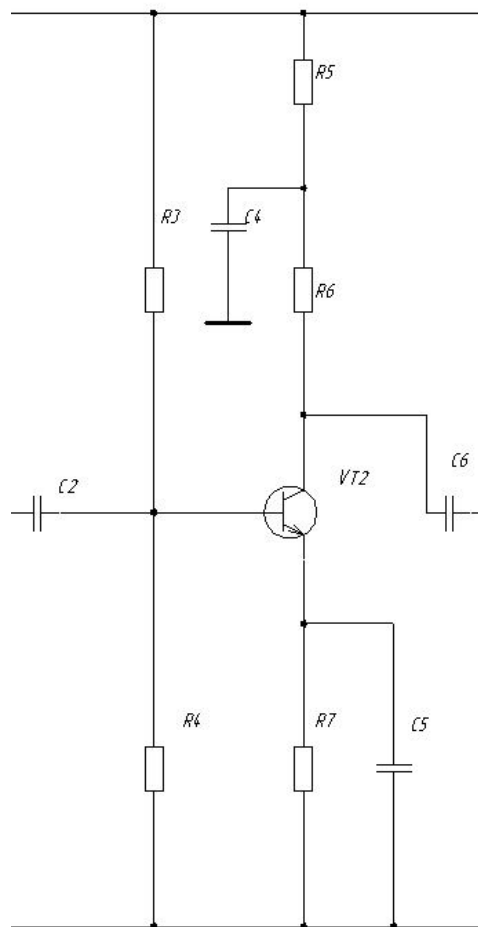


Рис. 2.5 Підсилювальний каскад [3]

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	24
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибравши струм колектора рівним 7 мА знайдено диференціальний опір емітерного переходу  $r$ :

$$r = \frac{25.6 \cdot 10^{-3}}{i_e} = 3.66 \text{ Ом}$$

При цьому коефіцієнт підсилення визначається опором  $R_6$   $K \approx \frac{R_6}{r_e}$

можна знайти  $R_6$

$$R_6 = K \cdot r_e$$

$$R_6 = 4 \cdot 3.96 = 15.84 \text{ Вибрано } 16 \text{ Ом}$$

$$\beta = -\frac{r_e}{R_6} = \frac{3.96}{16} = -0.247$$

Вибравши напругу кб рівну 1.5 В знаходимо напругу на емітері

$$U_e = U_{ж} - U_{eб} - I_k R_k = 9 - 1.5 - 0.007 \cdot 18 = 7.37 \text{ В}$$

Величина  $R_e$  знаходиться з виразу

$$R_e = \frac{7.37}{7 \cdot 10^{-3}} = 1053 \text{ Ом Вибрано опір } 1 \text{ кОм.}$$

$$\text{Струм бази рівний } I_b = \frac{I_k}{h_{21e}} = \frac{7}{25} = 280 \text{ мкА}$$

$$\text{Струм дільника вибрано } 3 \text{ Іб} = 0.84 \text{ мА}$$

$$\text{Напруга на базі рівна } U_b = U_e + 0.7 = 8.07 \text{ В}$$

$$\text{Опір R4 рівний } R_4 = \frac{U_b}{I_b} = \frac{8.07}{0.84} = 9.6 \text{ кОм Вибрано } 9.1 \text{ кОм}$$

$$\text{Опір Rбек рівний } R_{бек} = \frac{U_b}{I_b} = 28 \text{ кОм}$$

Роздільна ємність  $C_p$  рівна

$$C = \frac{2}{2\pi f_n R_{вх} \sqrt{M_n^2 - 1}} = 0.8 \text{ мкф Вибрано ємність } 1 \text{ мкФ}$$

Ємність  $C_5$  рівна

$$C = \frac{2}{2\pi f_n r_e \sqrt{M_n^2 - 1}} = 60 \text{ мкф Вибрано ємність } 63 \text{ мкФ}$$

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	25
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розрахунок схеми температурної стабілізації робочої точки транзистора попереднього каскаду.

Для роботи в попередньому каскаді вибираємо транзистор типу КТ368А у режимі ( $I_k = 2 \text{ мА}$ ;  $U_{кз} = 11 \text{ В}$ ;  $I_{\text{до}} = 20 \text{ мкА}$ ;  $E_{\text{до}} = 0,72 \text{ В}$  – крапка «а» на вхідній вихідній характеристиках).

Загальний опір в ланцюзі емітера і колектора транзистора попереднього каскаду.

$$R_- = \frac{E_{\pi} - E_{\text{ко}}}{I_{\text{ко}}} = \frac{12,6 - 11}{2 * 10^{-3}} = 800 \text{ Ом}$$

Заданося опором резистора в ланцюзі емітера  $R_3$  рівним 150 Ом.

Опір у колекторному ланцюгу:

$$R_k + R_{\phi} = R_- - R_3 = 800 - 150 = 650 \text{ Ом}$$

де  $R_k$  – опір у колекторному ланцюгу

$R_{\phi}$  – опір ланцюгу, що фільтрує.

Допустиму зміну струму колектора приймаємо рівним 0,1 мА.

Визначимо коефіцієнт нестабільності:

$$N_S = \frac{\Delta I_{\text{ко}}}{\Delta I_{\text{ко}}^*} = \frac{0,1}{0,0104} = 9,6$$

Вхідний опір схеми стабілізації робочої крапки:

$$R_{\text{ст}} = R_e * \frac{N_S - 1}{1 - N_S * (1 - \alpha_0)} = 150 * \frac{9,6 - 1}{1 - 9,6(1 - 0,992)} = 1397 \text{ Ом}$$

Опір резисторів дільника в ланцюзі бази транзистора:

$$R_1 = R_{\text{ст}} * \frac{E_{\pi}}{E_{\pi} - E_{\text{до}} - (I_{\text{ко}} + I_{\text{до}}) * R_3 - R_{\text{ст}} * I_{\text{до}}} =$$

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$= 1397 \frac{12,6}{12,6 - 0,72 - (2 * 10^{-3} + 20 * 10^{-6}) * 150 - 1397 * 20 * 10^{-6}} =$$

$$= 1524 \text{ Ом} = 1,5 \text{ кОм}$$

$$R_2 = \frac{R_1 * R_{ct}}{R_1 - R_{ct}} = \frac{1,5 * 1,397}{1,5 - 1,397} = 20,3 \text{ кОм}$$

Приймаємо найближчі стандартні значення опорів резисторів

$$R_1 = 1,5 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 20 \text{ кОм}$$

Струм дільника:

$$I_d = \frac{E_{60} + (I_{ко} + I_{60}) * R_3}{R_1} = \frac{0,72 + (2 * 10^{-3} + 20 * 10^{-6}) * 150}{1500} = 0,54 \text{ мА}$$

### Розрахунок вхідного ланцюга

При розрахунку вхідного ланцюга вважаємо, що навантаженням джерела сигналу є вхідна провідність каскаду, не охопленого ланцюгом отрицательной зворотного зв'язку. (§4.1 ).

Визначаємо еквівалентний опір  $R_o$ :

$$R_o = \frac{1}{g_r + g'_{11} + \frac{1}{R_{ct}}} = \frac{1}{0,03 + 0,0006 + \frac{1}{1397}} = 31,9 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт передачі вхідному ланцюгу:

$$K_{ex} = g_r * R_o = 0,03 * 31,9 = 0,957$$

Визначимо постійну часу  $\tau_s$ , орієнтовано припустимо коефіцієнт посилення першого каскаду рівним 12.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	27
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$\tau_s = K_o * C'_k * R_o = 12 * 2 * 10^{-12} * 31,9 * 10^6 = 0,000766 \text{ мкс}$$

Еквівалентна постійна часу:

$$\begin{aligned} \tau_e &= \tau' \left( g_r * R_o + \frac{R_o}{R_{ст}} + \frac{R_o}{\tau_6} \right) + \tau_s = \\ &= 0,000073 * \left( 0,03 * 31,9 + \frac{31,9}{1397} + \frac{31,9}{8,82} \right) + 0,000766 = 0,0011 \text{ мкс} \end{aligned}$$

Час встановлення імпульсу у вхідному ланцюзі:

$$t_{в\ вх} = 2,2 * \tau_e = 2,2 * 0,0011 = 0,00242 \text{ мкс}$$

### Визначення числа попередніх каскадів.

Число попередніх каскадів визначаємо згідно методиці, викладеної в (§2.3).

Знаходимо час встановлення і коефіцієнт посилення попередніх каскадів:

$$t_* = \sqrt{t^2_{в} - t^2_{в\ вх} - t^2_{в\ вих}} = \sqrt{0,2^2 - 0,00242^2 - 0,049^2} = 0,193 \text{ мкс}$$

$$K_* = \frac{K}{K_{вх} * K_{вих}} = \frac{6,5 * 10^{-3}}{0,957 * 6,5} = 104,5$$

Визначуваний коефіцієнт D:

$$\begin{aligned} D &= \frac{g'_{21}}{2,2 \left[ (1 + g'_{21} * \tau_6) * C'_k + 2 \sqrt{g'_{21} * C'_k * \tau' - g'_{21} * \tau' + \frac{\tau'}{\tau_6}} \right]} = \\ &= \frac{75 * 10^{-3}}{2,2 \left[ (1 + 75 * 10^{-3} * 8,82) * 1,7 * 10^{-12} + 2 \sqrt{75 * 10^{-3} * 1,7 * 10^{-12} * 0,000073 * 10^{-6}} - \right.} \\ &\quad \left. - 0,0006 * 0,000073 * 10^{-6} + \frac{0,000073 * 10^{-6}}{8,82} \right]} = \end{aligned}$$

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	28
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$= 198,8 \frac{1}{\text{мкс}}$$

Знаходимо ординату визначальної крапки:

$$D_{t_*} = D * t_* = 198,8 * 0,193 = 38,4$$

На графіку мал.2.7 координатам  $K_* = 104,5$  и  $D_{t_*} = 38,4$  відповідає крапка, лежача між лініями з числом каскадів  $n=1$  и  $n=2$ . Отже, якщо попередні каскади посилення виконати без корекції, то їх число повинне бути рівне двом.

Враховуючи, що передкрайовий каскад випробовує значне навантаження у зв'язку з великим коефіцієнтом посилення вихідного каскаду приймаємо число каскадів  $n=2$ .

Коефіцієнт посилення одного каскаду:

$$K_{\text{пр к}} = \sqrt[n]{K_*} = \sqrt[2]{104,5} = 10,22$$

Орієнтовний час встановлення каскаду повинен бути:

$$t_{\text{в пр}} \leq \frac{t_*}{\sqrt{n}} \leq \frac{0,193}{\sqrt{2}} \leq 0,136 \text{ мкс}$$

### **Визначення основних параметрів першого і другого каскадів.**

Визначимо основні параметри передкінечного каскаду за відсутності корекції.

Еквівалентний опір:

$$R_o = \frac{K_{\text{пр к}}}{g'_{21}} = \frac{10,22}{75 * 10^{-3}} = 136,2 \text{ Ом}$$

Опір колекторного навантаження:

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	29
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$R_k = \frac{1}{\frac{1}{R_o} - g_{11} - \frac{1}{R_{ст}}} = \frac{1}{\frac{1}{136,2} - 0,0006 - \frac{1}{1397}} = 165,9 \text{ Ом}$$

Приймаємо стандартне значення  $R_k = 160 \text{ Ом}$ .

Знаходимо постійні часу:

$$\tau_i = (1 + g_{21} * r_6) * C'_k * R_o = (1 + 75 * 10^{-3} * 8,82) * 1,7 * 10^{-12} * 136,2 * 10^6 = 0,000385 \text{ мкс}$$

$$\tau_s = K_{прк} * C'_k * R_o = 10,22 * 1,7 * 10^{-12} * 136,2 * 10^6 = 0,00236 \text{ мкс}$$

$$\tau_e = \tau_i + \tau_s + \tau' = 0,000385 + 0,00236 + 0,000073 = 0,0028 \text{ мкс}$$

Час встановлення:

$$t_{в пр} = 2,2 * \tau_e = 2,2 * 0,0028 = 0,0062 \text{ мкс}$$

Час встановлення не перевищує розрахункового максимального значення, тому корекцію вводити немає необхідності.

При розрахунку першого та другого некоректованого каскаду враховуємо, що еквівалентний опір у нього таке-ж, як і у другого, оскільки коефіцієнт посилення їх однаковий.

Знаходимо постійні часу першого та другого каскаду:

$$\tau_i = (1 + g'_{21} * r_6) * C'_k * R_o = (1 + 75 * 10^{-3} * 8,82) * 1,7 * 10^{-12} * 136,2 * 10^6 = 0,000385 \text{ мкс}$$

$$\tau_s = K_1 * C'_k * R_o = 5 * 10,22 * 1,7 * 10^{-12} * 136,2 * 10^6 = 0,00236 \text{ мкс}$$

Визначаємо еквівалентну постійну часу:

$$\tau_e = \tau_i + \tau_s + \tau * \left(1 - g_{11} * R_o + \frac{R_o}{r_6}\right) =$$

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	30
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$= 0,000385 + 0,00236 + 0,000073 * (1 - 0,0006 * 136,2 + \frac{136,2}{8,82}) = 0,00394 \text{ мкс}$$

Разраховуємо час встановлення першого каскаду:

$$t_{\Sigma} = 2,2 * \tau_{\Sigma} = 2,2 * 0,00394 = 0,0087 \text{ мкс}$$

Виходячи з формули еквівалентного опору визначаємо опір резистора в ланцюзі колектора:

$$R_{\kappa} = \frac{1}{\frac{1}{R_0} - g''_{11} + \frac{1}{R_{\text{ст}}}} = \frac{1}{\frac{1}{136,2} - 0,0006 + \frac{1}{1397}} = 165,9 \text{ Ом}$$

Приймаємо стандартне значення  $R_{\kappa} = 160 \text{ Ом}$

У зв'язку з відсутністю в схемі посилення коректуючих ланцюгів викривлення підсилюваного імпульсу у вигляді викиду відсутні, тобто вимоги завдання в цій частині задовольняються.

Фактичний час встановлення всього підсилювача:

$$t_{\Sigma} = \sqrt{t_{\Sigma \text{ в вх}}^2 + t_{\Sigma 1}^2 + t_{\Sigma 2}^2 + t_{\Sigma \text{ в вих}}^2} = \\ = \sqrt{0,00242^2 + 0,0087^2 + 0,0062^2 + 0,049^2} = 0,05 \text{ мкс}$$

Розрахунок виявив, що вимоги до основних параметрів каскадів підсилювача задовольняються. Фактичний час встановлення фронту імпульсу менш заданого.

$$t_{\Sigma} = 0,05 \text{ мкс} < 0,2 \text{ мкс}$$

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	31
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## Розрахунок допоміжних ланцюгів.

Розрахунок основних параметрів вхідного і попереднього каскаду виявив, що опір  $R_k$  у першому і в другому каскадах менше загального опору в ланцюзі колектора кожного каскаду. Тому в цих каскадах передбачаємо осередки, що фільтрують, в ланцюгах колекторів.

Опір осередку, що фільтрує:

$$R_{\phi} = R_{-} - R_e - R_k = 800 - 150 - 160 = 490 \text{ Ом}$$

Приймаємо найближче стандартне значення опір  $R_{\phi} = 470 \text{ Ом}$

Згідно рекомендаціям [1] ємкість конденсаторів зв'язку вибирається у межах  $0,1 \dots 1,0 \text{ мкФ}$ . А ємкість конденсаторів в ланцюгах емітерів в інтервалі  $5 \dots 50 \text{ мкФ}$ .

Обираємо наступні значення ємкостей і типи конденсаторів.

Конденсатори зв'язку:  $C_c = 1 \text{ мкФ}$  тип К73-17[4].

Конденсатори в ланцюгах емітерів:  $C_e = 50 \text{ мкФ}$  тип К52-40.

Визначимо спад смужкою часу імпульсу за рахунок ланцюгів зв'язку.

Вхідний ланцюг:

$$\begin{aligned} \Delta C_{\text{вх}} &= \frac{t_U}{C_c * \left( R_r + \frac{R_{\text{ст}}}{1 + g_{11} * R_{\text{ст}}} \right)} = \\ &= \frac{5 * 10^{-6}}{1 * 10^{-6} * \left( 33,3 + \frac{1397}{1 + 0,0006 * 1397} \right)} = 0,0063 \text{ (63\%)} \end{aligned}$$

Перший, другий та третій каскади:

$$\begin{aligned} \Delta C_1 = \Delta C_2 &= \frac{t_U}{C_c * \left( R_k + \frac{R_{\text{ст}}}{1 + g_{11} * R_{\text{ст}}} \right)} = \\ &= \frac{5 * 10^{-6}}{1 * 10^{-6} * \left( 160 + \frac{1397}{1 + 0,0006 * 1397} \right)} = 0,0076 \text{ (76\%)} \end{aligned}$$

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$\text{де } R_r = \frac{1}{g_r} = \frac{1}{0,03} = 33,3 \text{ Ом}$$

Спад смужкою вершини імпульсу за рахунок ємкостей в ланцюгах емітерів у все каскадах однаковий і складає:

$$\Delta_e = \frac{(g_{21} + g_{11}) * t_U}{C_e} = \frac{(75 * 10^{-3} + 0,0006) * 5 * 10^{-6}}{50 * 10^{-6}} = 0,0071(0,71\%)$$

Загальний спад смужкою вершини імпульсу викликаний ланцюгами зв'язку і ланцюгами емітера.

$$\Delta = \Delta C_{ex} + \Delta C_1 + \Delta C_2 + 3 * \Delta C_e = 0,63 + 0,76 + 0,076 + 3 * 0,71 = 4,28\%$$

Спад смужкою вершини імпульсу перевищує заданого значення  $\Delta=3\%$ . Фактичний спад смужкою вершини імпульсу буде менше за рахунок ланцюга осередки, що фільтрує ( що коректує ), в ланцюзі колектора.

Задамося величиною підйому смужкою вершини імпульсу  $\Delta_\phi = 4,28 - 3 = 1,28\%$  і визначимо ємкість  $C_\phi$ :

$$C_\phi = \frac{t_U}{R_k * \left(1 + g_{11} * R_k + \frac{R_k}{R_{ст}}\right) * \Delta_\phi} =$$

$$= \frac{5 * 10^{-6}}{470 * \left(1 + 0,0006 * 160 + \frac{160}{1397}\right) * 0,00128} = 6,8 * 10^{-6} \text{ Ф} = 6,8 \text{ мкФ}$$

Приймаємо в якості  $C_\phi$  конденсатор типу К50-40= 6,8 мкФ з робочою напругою 15 В.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	33
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 3. Проектно конструкторський розділ

### 3.1. Синтез та аналіз структурної схеми

Виходячи з поставлених технічних умов розробимо структурну схему, на підставі якої можна буде вести послідуєче проектування пристрою.

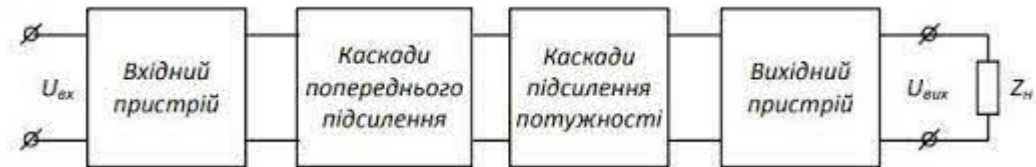


Рис. 3.1 Структурна схема імпульсного підсилювача сигналів [1]

- Вхідний пристрій/каскад;
- Каскади попереднього підсилення;
- Каскади підсилення потужності;
- Вихідний пристрій.

Блок попереднього посилення включає вхідний (перший) каскад, а також проміжні каскади. У загальному випадку блок попереднього посилення може містити як окремі каскади, так і підсилювальні секції.

Параметри вхідного ланцюга залежить від даних вихідного (внутрішнього) опору джерела сигналу  $Z_r$  і даних вхідного опору першого каскаду. Його вхідний опір залежить від вибору активного елемента й схеми його включення, а також від наявності або відсутності ланцюга негативного зворотного зв'язку, що охоплює перший каскад. Відносно вхідного ланцюга прийнятним вважається таке рішення, при якому коефіцієнт передачі вхідного ланцюга був би по можливості ближче до одиниці, а час наростання фронту імпульсу було б менше або не перевищувало часу встановлення попереднього каскаду посилення .

Вхідний каскад здійснює зв'язок підсилювача з навантаженням. Розрахунок вихідного каскаду й вибір режиму його роботи, на відміну від інших каскадів, зв'язаний з наступними особливостями :

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	34
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Необхідністю одержання на даному опорі навантаження підсилювача імпульсу напруги певною амплітудою й полярності;
2. Необхідністю максимально використати можливості активного елемента, оскільки цьому в більшості випадків відповідає економічні найбільш вигідні рішення;
3. Необхідності вибрати схему каскаду й режим активного елемента по постійному й змінному струмах так, щоб час установлення у вихідному каскаді при припустимому в сплеску не склало б занадто великої частини загального часу встановлення підсилювача (бажано не більше 60%), так інакше треба була б велика кількість каскадів у блоці попереднього посилення, а так само ускладнилася б схема каскадів

Попереднє посилення звичайно виконується на однакових каскадах. При однакових каскадах можна більш точно визначити основні параметри блоку попереднього посилення (коефіцієнт підсилення, час установлення фронту імпульсу й викиду) навіть тоді, коли сплеск перехідної характеристики значний.

### **3.2. Синтез та аналіз принципової схеми**

Будь-яка принципова електрична схема, незалежно від ступеня її складності, являє собою певним чином складене сполучення окремих, досить елементарних електричних кіл і типових функціональних вузлів, які у заданій послідовності виконують ряд стандартних операцій: передачу командних сигналів від органів керування або вимірювання до виконавчих органів, підсилення або розмноження командних сигналів, їх порівняння, перетворення короткочасних сигналів у тривалі і, навпаки, блокування сигналів і т.п. До елементарних кіл можуть бути віднесені типові схеми включення вимірювальних приладів різного призначення.

В усіх випадках крім повного виконання вимог, що ставляться до системи керування, кожна схема повинна забезпечувати високу надійність,

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

простоту й економічність, чіткість дій при аварійних режимах, зручність оперативної роботи, експлуатації, чіткість оформлення.

Надійність схеми - здатність безвідмовно виконувати свої функції протягом визначеного інтервалу часу в заданих режимах роботи.

Вимоги до рівня надійності схем регулювання, керування і сигналізації визначаються оцінкою наслідків відмов їх роботи для конкретних ділянок технологічного процесу. Іноді ці відмови можуть стати причинами виникнення або розвитку важких аварій.

Забезпечення надійності – сукупність технічних заходів, таких як застосування найбільш надійних елементів, приладів і апаратів; оптимальних режимів їх роботи; резервування малонадійних або найбільш відповідальних елементів або кіл схеми, автоматичний контроль за несправністю схеми; заборонні блокування, що виключають можливість проведення помилкових операцій; скорочення часу перебування елементів схеми під напругою і т.д.

Чіткість дії схеми при аварійних режимах. Кожна принципова електрична схема в системах автоматизації технологічних процесів повинна бути побудована таким чином, щоб при виникненні аварійних режимів, викликаних несправностями в колах керування, а також при повному зникненні або зниженні і наступному відновленні напруги живлення в головних (силових) колах керування забезпечувалася безпека обслуговуючого персоналу і запобігався подальший розвиток аварії, що приводить до ушкодження механічного або електричного устаткування і браку продукції.

При аналізі роботи схеми в аварійних режимах варто враховувати можливість перегорання запобіжників або відключення автоматів; появу короткого замикання на землю в різних точках схеми (в основному в зовнішніх з'єднаннях); обриву проводів; згоряння котушок або контакторів реле; приварювання контактів і т.п. Прийнято розглядати аварійний режим, що виникає в результаті появи якої-небудь однієї несправності, тому що імовірність появи одночасно двох чи більше несправностей в одній і тій же схемі досить мала. Недопустимо, і це необхідно аналізувати при розробці

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

схеми, щоб внаслідок виходу з ладу одного елемента схеми були пошкоджені інші елементи і технологічне обладнання.

Зручність оперативної роботи. Принципова електрична схема повинна забезпечувати оптимальні умови для роботи оперативного персоналу. Ця вимога передбачає спрощення операцій, здійснюваних обслуговуючим персоналом при управлінні; скорочення кількості органів керування; можливість простого і швидкого вибору необхідного режиму роботи, перехід з автоматичного керування на ручне і назад; зняття і введення блокувальних зв'язків і залежностей і т.д.

Зручність експлуатації. Принципова електрична схема повинна бути спроектована так, щоб її експлуатація у виробничих умовах була гранично простою, вимагала мінімуму витрат і уваги експлуатуючого персоналу, забезпечувала можливість проведення ремонтних і налагоджувальних робіт з дотриманням необхідних мір безпеки.

Простота реалізації має істотне, а іноді і вирішальне значення при виборі структури схем контролю і керування процесом на відстані, бо неправильне розміщення окремих елементів схеми може значно збільшити її вартість за рахунок з'єднувальних кабелів або проводів, а також надійність і вартість за рахунок збільшення точок комутації.

Простота і економічність проєктованих схем забезпечується застосуванням стандартної сертифікованої для даної галузі найбільш досконалої і надійної апаратури за критерієм оцінки „ціна-якість” і типових (нормалізованих) вузлів; скороченням до мінімуму кількості елементів у схемі й обмеженням їх номенклатури; застосуванням систем електроприводу виробничих механізмів, що забезпечують високі енергетичні показники в усталених і перехідних режимах роботи, і т.п.

При проєктуванні принципової електричної схеми необхідний ретельний аналіз поставлених до цієї схеми вимог. Якщо деякі другорядні вимоги значно ускладнюють і здорожують схему, то ці вимоги варто переглянути. Вирішуючи питання економічності схеми, необхідно враховувати не тільки капітальні вкладення, але і щорічні експлуатаційні витрати.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	37
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Чіткість оформлення. Оформлення будь-якої електричної схеми варто виконувати чітко, просто і компактно. Графічне оформлення схеми повинно сприяти найкращому сприйняттю змісту схеми.

У процесі проектування систем автоматизації різних технологічних процесів принципові електричні схеми розробляють переважно в наступному порядку:

- на підставі функціональної схеми автоматизації складають чітко сформульовані технічні вимоги, поставлені до принципової електричної схеми;
- стосовно до цих вимог встановлюють умови і послідовність дії схеми;
- кожну з заданих умов дії схеми зображують у вигляді тих чи інших елементарних кіл, що відповідають даній умові дії;
- елементарні кола об'єднують у загальну схему;
- здійснюють вибір апаратури і електричний розрахунок параметрів окремих елементів (опорів обмоток реле, навантаження контактів і т.п.);
- коректують схему відповідно до можливостей прийнятої апаратури;
- перевіряють у схемі можливість виникнення помилкових чи обхідних кіл або її неправильної роботи при ушкодженнях елементарних кіл або контактів;
- розглядають можливі варіанти рішень і приймають остаточну схему стосовно до наявної апаратури.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

### 3.3. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів

Для реалізації принципової схеми обираємо наступні елементи.

**Транзистор польовий КП503**

**КП502, КП503,  
КП504, КП505**

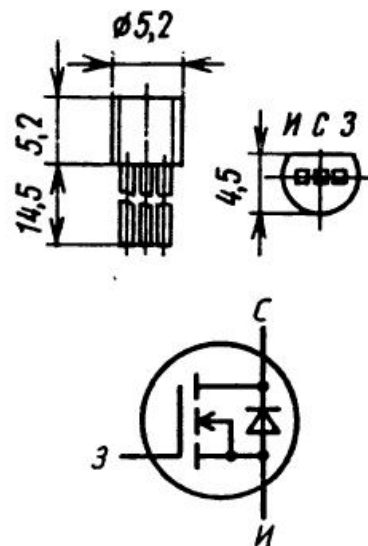


Рис. 3.2 Транзистор польовий [3]

Характеристики транзистора КП503

- Структура - з ізольованим затвором та n-каналом.
- Розсіювана потужність - 1 Вт
- Напруга сток-виток - 240 В
- Струм стоку - 0,15 А
- Крутизна характеристики - 140 мА/В
- Опір сток-виток у відкритому стані - 20 Ом

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	39
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Транзистор КТ339А

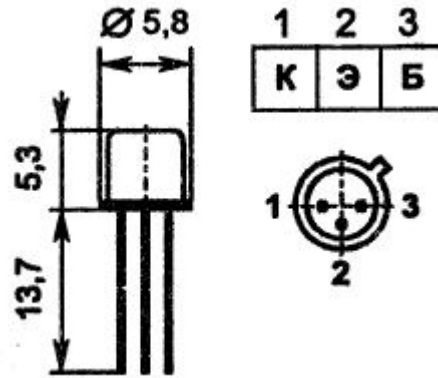


Рис. 3.3 Транзистор КТ339А [3]

На принципових схемах транзистор позначається як літерним кодом, так і умовним графічним зображенням. Літерний код складається з латинських літер VT та цифри, що є порядковим номером на схемі. Умовне графічне зображення транзистора КТ339А зазвичай розміщують у коло, що є символом його корпусу. Коротка риска з лінією від центру символізує базу, а дві похилі лінії, які проведено до країв бази під кутом  $60^\circ$  символізують емітер та колектор. У емітера є стрілочка, що направлена від бази.

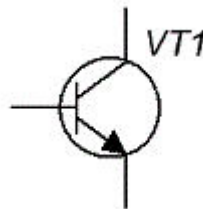


Рис. 3.4 Транзистор КТ339А [3]

### Характеристики транзистора КТ339А

- Структура n-p-n
- Максимально допустима (імпульсна) напруга колектор-база 40 В
- Максимально допустима (імпульсна) напруга колектор-емітер 25 В
- Максимально допустимий постійний (імпульсний) струм колектора 25 мА
- Максимально допустима постійна розсіювана потужність колектора без тепловідведення 0.26 Вт

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	40
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Статичний коефіцієнт передачі струму біполярного транзистора у схемі з загальним емітером  $\Rightarrow 25$
- Зворотний струм колектора  $\leq 1$  мкА
- Гранична частота коефіцієнту передачі струму у схемі з загальним емітером  $\Rightarrow 300$  МГц

### Дифузний кремнієвий діод КД105



Рис. 3.5 Зображення на схемах [3]

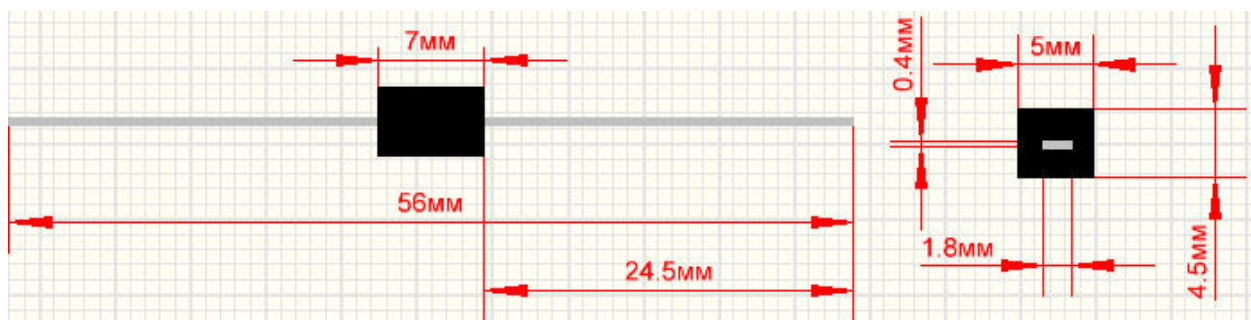


Рис. 3.6 Розміри діода КД105 [3]



Рис. 3.7 Зовнішній вигляд діода [3]

### Електричні параметри діода КД105

- Пряма напруга (середня значення) при  $I_{пр. ср} = 300$  мА, не більше ніж 1 В
- Зворотній струм (середнє значення) при  $U_{обр} = U_{обр. та. макс}$ , не більше ніж:

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	41
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при +25°C 100 мкА

при +85°C 300 мкА

Граничні характеристики діода КД105: КД105Б, КД105В, КД105Г

- Зворотня напруга діодів КД105 (амплітудне значення) при температурі:

-60...+55°C:

КД105Б                    400 В

КД105В                    600 В

КД105Г                    800 В

- Імпульсний прями́й струм (одноразове навантаження) при  $t_{и} \leq 20$  мкс 15 А

- Прями́й струм (середній) 300 мА

- Частота пониження режимів 1000 Гц

- Робоча температура довкілля -60...+85°C

### Стабілізатор КРЕН8Б

Характеристики стабілізатора КРЕН8Б (КР142ЕН8Б) практично не поступаються імпортним аналогам мікросхемам типу 7812. Всі вони застосовуються для стабілізації постійної напруги з фіксованим. Відколи цей стабілізатор почав використовуватись з'явилась можливість забезпечувати всі плати складних пристроїв з основним нестабільним джерелом живлення, власними компактними схемами стабілізації на 12В. Стабілізатор КРЕН8Б до теперішнього часу застосовується у конструкціях з джерелом живлення для невеликих слабострумних систем. Наявність внутрішнього захисту від перегрівання, короткого замикання та розрядного струму конденсаторів зробили його по справжньому «невбивним».

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	42
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Металічна підложка корпусу ТО-220 має фізичне з'єднання з загальним виходом. Символи «8Б» у кінці маркування вказують на допустиму напругу стабілізації у районі 12 В ( $\pm 3\%$ ).

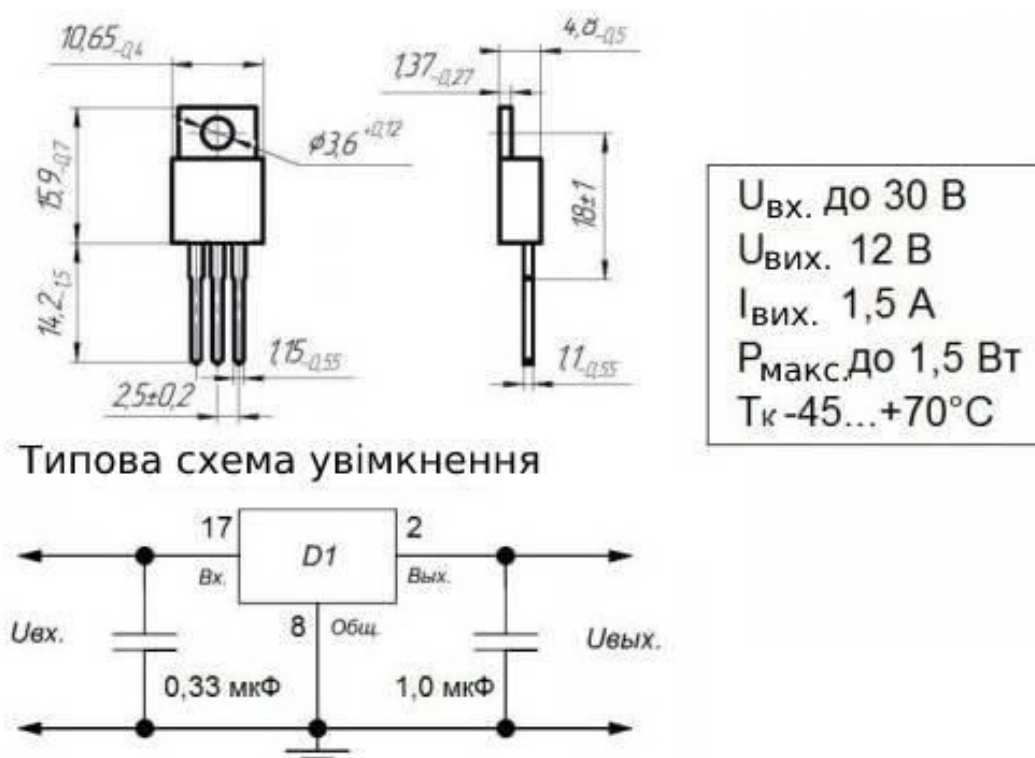


Рис. 3.8 Розпиновка стабілізатора [3]

### Технічні характеристики.

У блоках живлення від мережі 220В лінійний стабілізатор зазвичай встановлюється одразу після випрямного діодного мосту, де і грає свою основну роль джерела вторинного електричного живлення (ДВЕЖ). Рекомендації виробників щодо вхідної напруги для КРЕН8Б – діапазон 14,5 ... 18В. У будь-якому випадку, вхідна напруга повинна бути на 2,5 – 3В більше за опорну напругу.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	43
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### ***Максимальні параметри.***

Виробники заявляють наступні максимальні параметри для КР142ЕН8Б, при температурі корпусу ( $T_K$ ) від  $-45$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ , якщо не вказано інше:

- Вхідна напруга  $U_{\text{вх.}}$  — до 30 В;
- Вихідна напруга  $U_{\text{вих.}} = 12$  В;
- Вихідний струм  $I_{\text{вих.}} = 1,5$  А;
- Потужність розсіювання – до 1,5 Вт; до 8 Вт (з тепловідводом);
- Максимальна потужність  $P_{\text{мах.}}$  до 1,5 Вт;
- Струм при навантаженні – до 1500 мА (з використанням тепловідводу).
- Температурний режим роботи:  $T_K = -45 \dots +70^{\circ}\text{C}$ .

### ***Електричні параметри.***

Якщо струм при навантаженні буде більше ніж 100 мА, то рекомендуємо застосовувати тепловідвід. На практиці величина струму може сягати 900 мА, що менше ніж заявляють деякі виробники у описах, але достатньо для більшості сучасних слабострумних систем.

					<b><i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i></b>	44
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## Трансформатор ТВК – 110 ЛМ



Рис. 3.9 Трансформатор ТВК – 110 ЛМ [3]

### *Параметри трансформатора:*

Магнітопровід ШЛ 16x25, кількість витків 2400

Первинна обмотка (I)

- діаметр дроту 0,14мм
- опір постійному струму 280Ω
- кількість витків 148

Вторинна обмотка (II)

- діаметр дроту 0,62мм
- опір постійному струму 1,0Ω
- кількість витків 240

Вторинна обмотка (III)

- діаметр дроту 0,14мм
- опір постійному струму 30Ω

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	45
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## *Конструкція*

Завдяки блоку живлення забезпечується двополярна вихідна напруга, вона на практиці може змінюватись у інтервалі 5 – 25В. Рівень значення струму навантаження встановлюється у лімітах одного ампера, коли ж показник перевищується – пристрій захисту понижує струм по обидвох каналах та приводить струм до потрібного показника.

Незалежно від найменування та маркування всі подібні пристрої виконують у подальшому принципово схожу роботу. На трансформатор буде подаватись напруга, яка понижується безпосередньо за допомогою котушок. У якості альтернативи можна використовувати і відповідний набір електронних компонентів, за допомогою яких можна забезпечувати пониження показу напруги. Такі пристрої можуть бути понижуючими, а також підвищуючими.

Використання у побутових цілях є вельми актуальне, що пов'язано з тим, що обмотки 220В та 13,5В при струмові 0,8А цілком достатньо для забезпечення якісної роботи більшості електроприладів..

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

## ВИСНОВКИ

Виконуючи бакалаврський проект мною було проведено аналіз аналогів об'єкту проектування.

Користуючись вимогами, що були поставлені у технічному завданні та в результаті аналізу існуючих аналогів було спроектовано електричну структурну та принципову схеми. Проведено повний електричний розрахунок принципової схеми.

Отримані результати: розроблено схему імпульсного підсилювача для мас-спектрометра з наступними параметрами:

- коефіцієнт підсилення  $10^3$ ;
- вхідний опір – 1 кОм;
- тривалість імпульсів 1 – 5 мкс;
- часи наростання і спаду 100 нс;
- напруга живлення 9 В, 2,4 В – 5В;
- тривалість імпульсів подвоєної частоти встановлюється 1 мкс;
- час встановлення імпульсу не більше 10 % його тривалості;
- прилад призначений для експлуатації за ДСТУ EN 60335-1:2015.

Проектування, розрахунки, розробка графічної документації було здійснено із застосуванням програмного проектно-конструкторського пакету "AutoCAD 2022" (підготовка всієї графічної документації).

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

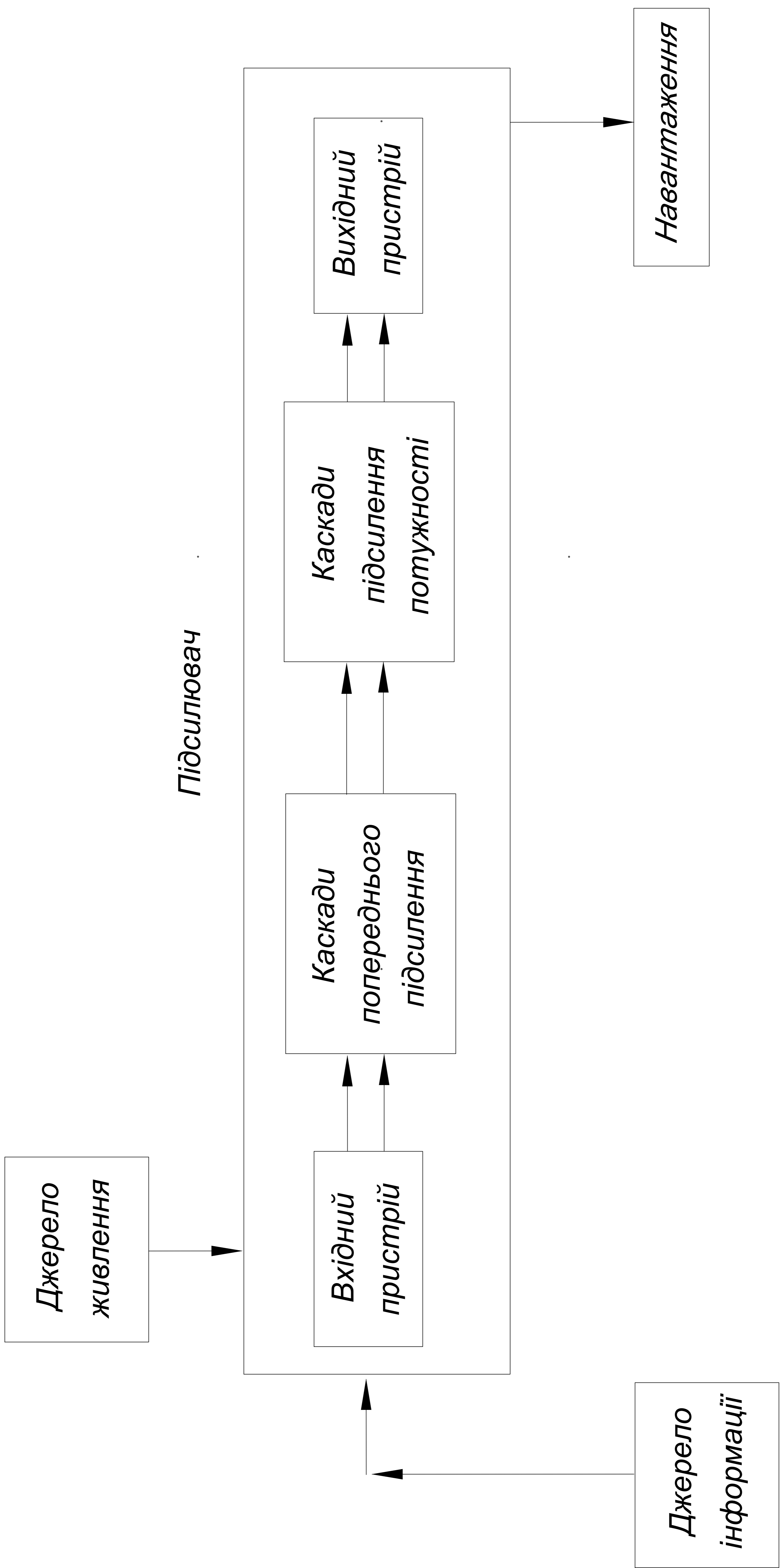
## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. Виготовлення електричних схем за ЕСКД: Довідник.– М.: Видавництво стандартів, 1989.
2. Методичні рекомендації до виконання розрахунків по оцінці показників надійності радіоелектронної апаратури. Методична розробка для студентів інженерних спеціальностей, УжНУ, 2001–56 с.
3. Журнал “Радіоаматор” №9 2002 р.
4. Горошков Б.І., Радіоелектронні пристрої: Довідник – М.: Радіо та зв’язок, 1984
5. Енциклопедія радіоелектроніки та електротехніки  
( <https://uk.diagram.com.ua/> )
6. Мельничук Д.О. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики: навчальний посібник для підготовки студентів вищих навчальних закладів / Д.О. Мельничук, С.Д. Мельничук, В.М. Войціцький та ін.: за ред. акад. Д.О. Мельничука. – К.: ЦП «Компринт», 2016. – 289 с.
7. Мас-спектрометрія: Підручник / В.О. Іщенко, С.В. Гайдай, О.А. Беда, - К: ВПЦ «Київський університет». 2018. – 244с.
8. Лебедев А. Т. Масс-спектрометрія в органічній хімії / А. Т. Лебедев. – М.: БІНОМ. Лабораторія знань, 2003. – 493 с. – (Методи в хімії)
9. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрія для аналізу об’єктів навколишнього середовища / М: Техносфера, 2013. – 624с.
10. Кучеренко М.Є., Бабенюк Ю.Д., Войціцький В.М. Сучасні методи біохімічних досліджень: учбовий посібник – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 424 с.

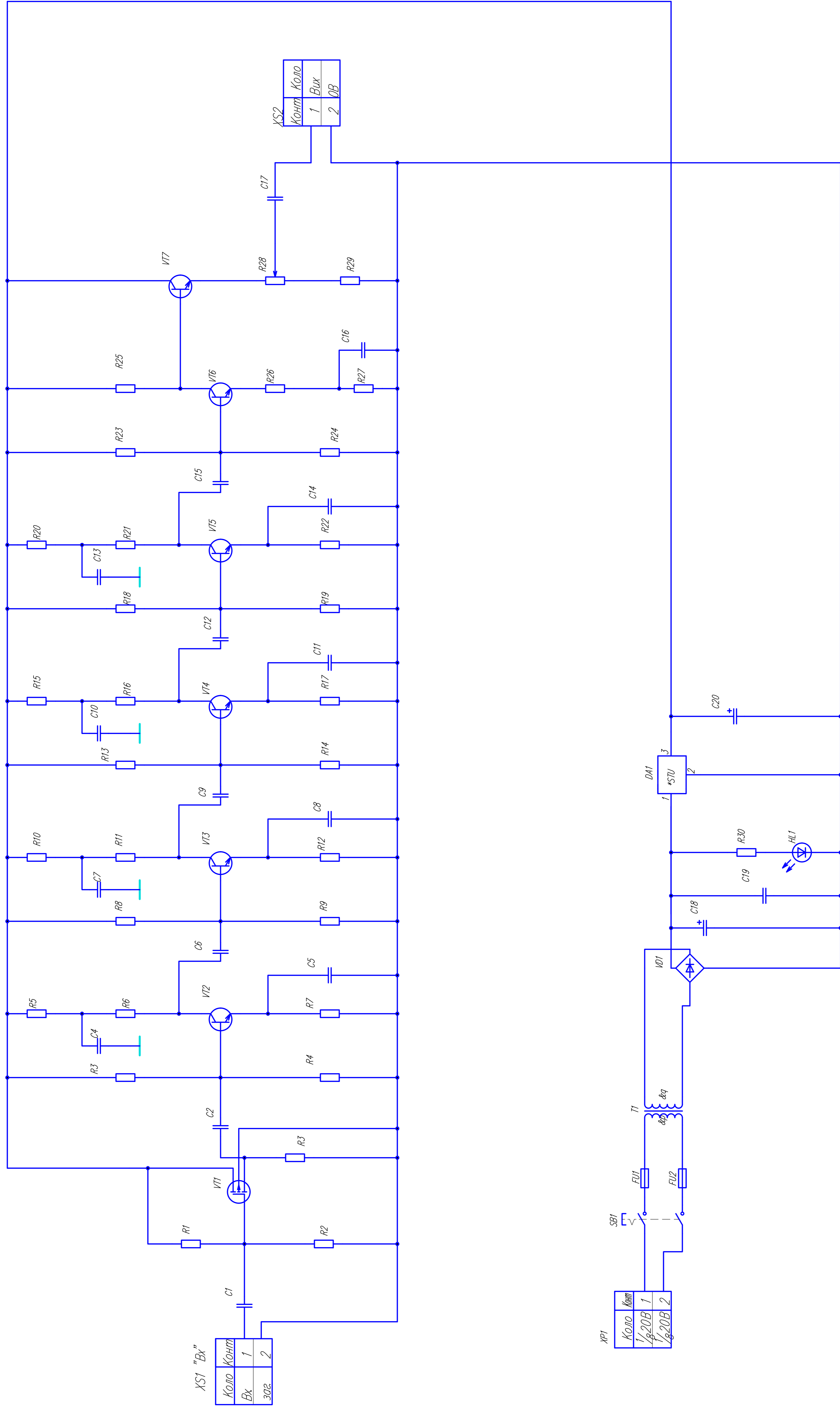
					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	48
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

11. Кузема О.С., Кузема О.П. Еволюція і сучасні досягнення мас-спектрометрії (огляд) // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2015. – Вип. 11.
12. Покровський В.А. Масс-спектрометрия наноструктурованих систем (огляд) // Поверхність. – 2010. – Вип. 2.
13. Хмельницький Р.А., Бродский Е.С. Хроматомасс-спектрометрия. – М.: Химия, 1984. – 216 с.
14. Покровський В.О. Десорбційна мас-спектрометрія: фізика, фізична хімія, хімія поверхні // Вісник НАН України. – 2012. №12.
15. Косевич М.В., Шелковський В.С. Прогрес техніки біомедицинського експерименту як приклад впливу потреб суспільства на розвиток науки // Вісник Харківського університету N 497, Біофізичний вісник, вип. 2. 2000.
16. Екман Р., Зильберинг Е., Вестман-Бринкмальм Э., Край А. Масс-спектрометрия: апаратура, тлумачення та застосунки. М.: Техносфера, 2013. – 368 с.

					<i>КБР.ЕС.9469314.001.ПЗ</i>	49
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



КРР ЕС 94693/4.001Е1		Литера	Маса	Масштаб
Імпульсний підсилювач для мас-спектрометра		У		1-1
Зм. Арх. №	Виконавця	Підпис	Дата	Архивув.
Розробил	Алешко К.О.			
Перевірив	Завць Т.М.			
Т. комп.				
Н. комп.	Глебова О.О.			
Виконав	Завць Т.М.			
Структурна функціональна схема		Зм. №, ІФ, ар. ЕС, 2 СТ		



XS1 "Bx"	
Конт	Коло
1	Вх
2	0В

XP1	
Конт	Конт
1	1
2	2

КБР.ЕС.94.69314.001.Е2			
Эк. Дир.	№ документа	Лист	Дата
Рязанский	Алтай К. О.	9	
Т. комп.	Зав. Т. М.	Архив	1-1
И. комп.			Сл. пр. ЕС. 2 СТ
В. пр.			Электронная принципиальная схема



Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Роз'єми</u>		
XS1, XS2	MWL-5	1	
	<u>Транзистори</u>		
VT1	КП503А СБО.365.104. ТУ	1	
VT2-VT6	КТ 339А	4	
	<u>ДІОДИ</u>		
HL1	Світлодіод SMD 5050	1	
VD1-VD4	Діод КД105 випрямний (0,3А 400V)	4	
DA1	Стабілізатор КРЕН8Б на 12 В	1	
	<u>Трансформатор</u>		
T1	ТБК – 110 ЛМ	1	
	<u>Конденсатори</u>		
C1	КМ – 78 нФ-300В ОЖО.501.180ТУ	1	
C2, C6, C9, C12, C15	КМ – 10 нФ-300В ОЖО.501.180ТУ	3	
C3	КМ – 1 нФ-300В ОЖО.501.180ТУ	1	
C4, C7, C10, C13	КМ – 150 нФ-300В ОЖО.501.180ТУ	3	
C5	КМ – 63 мкФ-300В ОЖО.501.180ТУ	1	
C8, C11, C14	КМ – 500 мкФ-300В ОЖО.501.180ТУ	3	
C16	КМ – 60 мкФ-300В ОЖО.501.180ТУ	1	
C17	КМ – 1,5 мкФ-300В ОЖО.501.180ТУ	1	
C18, C19, C20	К50-35- 500 мкФ – 16 В	3	

					<b>КП.ЕС.9469314.001.ПЕ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Імпульсний підсилювач для мас спектрометра <b>Перелік елементів</b>	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Алмаші К.О.		20.06.23		У	1	2
Перевірів		Заяць Т. М.		19.06.23		УжНУ, ІТФ, гр. ЕС		
Т. Контр.								
Н. Контр.		Спесивих О.О.		19.06.23				
Затвердив		Заяць Т. М.		19.06.23	2 СТ			



Додаток 1

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

к.ф.-н.н., Зайцев Тарас Миколайович

Студента (-ки) 2-ст курсу  
спеціальності 171 Електроніка  
Алмаші К.О.  
(прізвище, ініціали)

## ЗАЯВА

щодо самостійного виконання  
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Алмаші Крістіан Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові),

Студент(-ка) Фізика, Інженерно-технічний, 2-ст  
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: Імпульсний підсилювач  
для мас-спектрометра

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 відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

15.06.2023

Дата

  
Підпис

Сторінка 1

Додаток 2.

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

Автор роботи	Алмасі Крістіан Олександрович
Назва роботи	Випускний відомовач для мас - спектрометра
Спеціальність	171 Електроніка
Курс	2-ст
Факультет	Інженерно-технічний
Кафедра	Електронних систем
Керівник роботи	Заєць Тарас Михайлович
Роботу перевірено в програмі	Unicheck
Додано до бази даних	—
Ідентифікаційний номер роботи	КБР.ЕС.9469314.001.пз
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	—
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	

Відповідальна особа/  
Науковий керівник роботи

15.06.2023

Дата

Заєць Т.М.  
(прізвище, ініціали)

  
Підпис

Ім'я користувача:  
приховано налаштуваннями конфіденційності

ID перевірки:  
1015611017

Дата перевірки:  
15.06.2023 11:39:38 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
15.06.2023 11:47:10 EEST

ID користувача:  
100006217

Назва документа: 2023-КБР-Алмаші,Крістіан,Олександрович

Кількість сторінок: 37 Кількість слів: 5464 Кількість символів: 40625 Розмір файлу: 1.26 MB ID файлу: 1015258824

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 24.8% Схожість

Найбільша схожість: 5.31% з Інтернет-джерелом (<https://radio.bobrodobro.ru/31064>)

23.9% Джерела з Інтернету 76 ..... Сторінка 39

4.74% Джерела з Бібліотеки 20 ..... Сторінка 40

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 69.2% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

30.5% Вилучення з Інтернету 50 ..... Сторінка 41

69.2% Вилученого тексту з Бібліотеки 12 ..... Сторінка 41

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 84

Підозріле форматування 9 сторінок

## Схожість

Джерела з Інтернету

76

4	<a href="https://radio.bobrodobro.ru/31064">https://radio.bobrodobro.ru/31064</a>	20 джерел	5.31%
7	<a href="https://dir.md/wiki/%D0%A2%D0%B8%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80?host=uk.m.wikipedia.org">https://dir.md/wiki/%D0%A2%D0%B8%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80?host=uk.m.wikipedia.org</a>	14 джерел	4.81%
8	<a href="https://radio.bobrodobro.ru/31069">https://radio.bobrodobro.ru/31069</a>		3.75%
9	<a href="https://thepresentation.ru/fizika/nadprovdst-perspektivi-ta-zastosuvannya-nadprovdniki-lampa">https://thepresentation.ru/fizika/nadprovdst-perspektivi-ta-zastosuvannya-nadprovdniki-lampa</a>		2.75%
10	<a href="https://donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/06/%D0%90%D0%9A%D0%A3-2019.pdf">https://donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/06/%D0%90%D0%9A%D0%A3-2019.pdf</a>		2.54%
11	<a href="https://uk.wikipedia.org/wiki?curid=158791">https://uk.wikipedia.org/wiki?curid=158791</a>	5 джерел	2.53%
12	<a href="https://radio.bobrodobro.ru/31065">https://radio.bobrodobro.ru/31065</a>		2.29%
13	<a href="https://radio.bobrodobro.ru/31066">https://radio.bobrodobro.ru/31066</a>		1.96%
14	<a href="https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/pidrucnyky-posibnyky-profosvita/Litera-Elektrotehnika.pdf">https://lib.imzo.gov.ua/wa-data/public/site/books2/pidrucnyky-posibnyky-profosvita/Litera-Elektrotehnika.pdf</a>	4 джерела	1.67%
15	<a href="https://vseosvita.ua/library/prezentacia-na-temu-radioelektronni-tovari-369500.html">https://vseosvita.ua/library/prezentacia-na-temu-radioelektronni-tovari-369500.html</a>		1.67%
16	<a href="https://svitppt.com.ua/fizika/napivprovodnikovyi-priladi.html">https://svitppt.com.ua/fizika/napivprovodnikovyi-priladi.html</a>		1.54%
19	<a href="https://radio.bobrodobro.ru/31067">https://radio.bobrodobro.ru/31067</a>	11 джерел	1.19%
21	<a href="https://radio.bobrodobro.ru/8488">https://radio.bobrodobro.ru/8488</a>		1.1%
23	<a href="http://katod-anod.ru/rd/kd105">http://katod-anod.ru/rd/kd105</a>	4 джерела	0.77%
26	<a href="https://radio.bobrodobro.ru/14784">https://radio.bobrodobro.ru/14784</a>	3 джерела	0.64%
33	<a href="https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/89032/1/Tenuzkiy_bac_rob.pdf;jsessionid=085669DC0E52672FC0...">https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/89032/1/Tenuzkiy_bac_rob.pdf;jsessionid=085669DC0E52672FC0...</a>		0.18%
35	<a href="https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/44131">https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/44131</a>	3 джерела	0.16%
36	<a href="https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/37753">https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/37753</a>	2 джерела	0.15%
37	<a href="https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/44128">https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/44128</a>		0.15%

Джерела з Бібліотеки

20