

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

кваліфікаційна робота магістра

На тему: Лабораторний макет, для дослідження автогенераторів на тунельному діоді.

Студента 2 курсу

Яров Владислава-Чаби Чабовича

(прізвища ініціали)

(підпис)

Керівник кандидат фіз.-мат. наук Спесивих О. О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвища ініціали)

(підпис)

Голова ЕК:

Голова ЕК:

Симулик В.М. д.ф.-м.н. проф. ІЕФ НАНУ

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Заяць Т.М. – к.ф.-м.н. доц. кафедри ЕС

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Рубіш В.М. – д.ф.-м.н., проф. кафедри ЕС

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання)

(підпис)

Юркін І.М. – к.ф.-м.н. доц. кафедри ЕС

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання)

(підпис)

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

Студент

(підпис)

Ужгород – 2023

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедрою,  (Заяць Т. М.)
доц. _____
“ ____ ” _____ 2023 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу магістра

на тему:

**ЛАБОРАТОРНИЙ МАКЕТ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОГЕНЕРАТОРІВ НА
ТУНЕЛЬНОМУ ДІОДІ**

Студента групи ЕС: Владислава-Чаби ЯРОВА

()

Керівник: канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС

Олександр СПЕСИВИХ

()

Ужгород - 2023

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедрою,  (Заяць Т. М.)
доц. _____
“ 3 ” жовтня 2022 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу магістра студента

Яров Владислава-Чаби Чабовича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: **Лабораторний макет, для дослідження автогенераторів на тунельному діоді.** Затверджена на засіданні кафедри (протокол № 3 від 03. жовтня 2022 року).
2. Термін закінчення студентом дипломного проекту: 15 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані до роботи:
Спроекувати лабораторний макет, для дослідження автогенераторів на тунельному діоді, який задовольняє наступним параметрам: вхідна напруга живлення – 220В, вхідна частота $f = 50$ Гц;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):
 - 1) Вступ. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування .
 - 2) Синтез та аналіз структурної та функціональної схеми об'єкту проектування та її опис.
 - 3) Технічна пропозиція та її обґрунтування і опис.
 - 4) Розрахунок електричних параметрів окремих фрагментів принципової схеми та дослідження дискретних елементів при необхідності.
 - 5) Синтез друкованої плати
 - 6) Визначення розмірів контактних площадок та друкованих провідників.
 - 7) Вибір варіантів встановлення радіоелементів на друкованій платі.
 - 8) Тепловий розрахунок пристрою.
 - 9) Розрахунок теплових режимів пристрою.
 - 10) Розрахунок характеристик надійності пристрою.
 - 11) Економічна частина організації виробництва.
 - 12) Охорона праці.
 - 13) Висновки.

5. Консультанти дипломної роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Заяць Т. М.		
Нормоконтроль	Папп О. В.	Папп О.В.	Яров В-Ч. Ч.

Дата видачі завдання 23 листопада 2022 року.

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

Завдання прийняв на виконання _____ (Яров В-Ч. Ч.)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 05.09.2023 року	
2.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 25.09.2023 року	
3.	Розрахунок окремих блоків пристрою.	до 10.10.2023 року	
4.	Розрахунок теплових режимів пристрою та характеристик надійності пристрою.	до 20.10.2023 року	
5.	Робота над техніко-економічним розділом та розділом по охороні праці.	до 15.11.2023 року	
6.	Оформлення дипломного проекту та конструкторської документації.	до 10.12.2023 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент _____ (В-Ч.Ч. Яров)
Керівник дипломної роботи _____ (доц. Спесивих О.О.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Лабораторний макет для дослідження автогенераторів на тунельному діоді» / УжНУ; Керівник Спесивих О. О.; Студент Яров В-Ч. Ч., група ЕС.

Пояснювальна записка: 62 сторінки, 15 рисунків, 15 джерел, 6 додатків.

Графічна частина: 5 листів формату А1.

Об'єкт проектування – лабораторний макет для дослідження автогенераторів на тунельному діоді.

Мета дослідження – проектування, розрахунки, виготовлення, графічної документації із застосуванням програмних проектно-конструкторського пакету “AutoCAD 2000”.

Проект включає у себе літературний огляд і аналіз схем автогенераторів на базі тунельного діода та загальні принципи їх побудови. На основі цих даних і вимог технічного завдання розроблено структурну схему. Проектно-конструкторський розділ містить критерії вибору елементної бази, детальну розробку принципової електричної схеми, розрахунок основних функціональних блоків. В конструкторсько-технологічному розділі розглянуто основні технологічні процеси виготовлення пристрою, проведено розрахунок надійності пристрою, теплові розрахунки та конструкцію друкованої плати. Економічна частина містить розрахунок кошторису витрат та економічної ефективності. Також розглянуто питання охорони праці та навколишнього середовища при виробництві спроектованого пристрою.

Ключові слова:

АВТОГЕНЕРАТОР, БУФЕРНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, ТУНЕЛЬНИЙ ДІОД, ГЕНЕРАЦІЯ, КОЛИВАЛЬНИЙ КОНТУР, ВІД'ЄМНИЙ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ОПІР

ABSTRACT

Diploma project of the “Magister” degree: « Laboratory layout for the study of autogenerators on a tunnel diode » / UzhNU; Supervisor: Spesuvuh O. O.; Student: Jaro Cs. Cs., ES group.

Explanatory note: 62 pages, 15 figures, 15 sources, 6 appendixes.

Graphic part: 5 A1 sheets.

Project Object - Laboratory layout for the study of autogenerators on a tunnel diode.

Research Objective - Design, calculations, manufacturing, graphical documentation using the "AutoCAD 2000" software design package.

The project includes a literature review and analysis of autogenerator circuits based on a tunnel diode and the general principles of their construction. Based on these data and the requirements of the technical task, a structural diagram was developed. The design and construction section contains criteria for the selection of the element base, detailed development of the basic electrical circuit, calculation of the main functional blocks. In the design and technology section, the main technological processes of device manufacturing are considered, device reliability calculation, thermal calculations and printed circuit board design are carried out. The economic part contains the calculation of the cost estimate and economic efficiency. The issue of labor and environmental protection during the production of the designed device is also considered.

Keywords:

AUTOGENERATOR, BUFFER AMPLIFIER, TUNNEL DIODE, GENERATION,
OSCILLATORY CIRCUIT, NEGATIVE DIFFERENTIAL RESISTANCE

ЗМІСТ

1. Вступ.....	9
2. Загальні відомості	10
2.1. Генератори.....	10
2.2. Двополюсник із від'ємним диференціальним опором.....	10
2.3. Числові параметри вольт-амперної характеристики N-типу.....	11
2.4. Генератор із від'ємним диференціальним опором.....	13
2.5. Тунельний діод.....	14
2.6. Частотні властивості тунельних діодів.....	15
3. Огляд схемних рішень автогенераторів.....	21
4. Розрахунок основних блоків.....	26
4.1. Структурна схема лабораторного макету	26
4.2. Стабілізоване джерело живлення для тунельного діода.....	28
4.3. Вибір і розрахунки автогенераторів на тунельному діоді	31
4.4. Вибір і розрахунки електронного цифрового вольтметра.....	34
4.5. Розрахунок буферного підсилювача.....	37
5. Конструкторсько-технологічний розділ.....	43
5.1. Визначення контактних площадок, розмірів провідників....	43
5.2. Тепловий розрахунок.....	45
5.3. Розрахунок характеристик теплонавантаженості.....	46
6. Економічний розрахунок спроектованого пристрою.....	48
6.1. Розрахунок собівартості спроектованого приладу.....	48
6.2. Розрахунок кількості і вартості матеріалів	49
6.3. Розрахунок кількості й вартості покупних комплектуючих.....	50

					КРМ.ЕС. 10750029.01.000 ПЗ			
Ви	Арк.	№ докум.	Підпис					
Розробив	Яров В-Ч.Ч.				Лабораторний макет для дослідження автогенераторів на тунельному діоді ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевіри	Спесивих О.О					Н	7	62
Реценз						УжНУ, ІТФ, ІІ курс, гр. ЕС		
Н.Конт	Папп О.В.							
Затв.	Заяць Т.М.							

7. Заходи по плануванню, техніці безпеки та захисту навколишнього середовища	
7.1. Охорона праці.....	53
7.2. Основні заходи безпеки та вилучення передбачуваних шкідливих факторів на всіх етапах технологічного процесу.....	54
7.3. Розрахунок необхідного повітряного обміну для вентиляції.....	56
7.4. Захист навколишнього середовища.....	59
8. Висновок.....	60
9. Список використаної літератури.....	61
10. Додатки: Схеми електричної структури	
Схеми електричних принципів	
Креслення друкованої плати	
Складальне креслення	
Специфікація	
Перелік елементів	

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. ВСТУП

Запропонований в 1958 р. японським ученим Л. Есакі тунельний діод виготовляється з германію або арсеніду галію з високою концентрацією домішок ($10^{19} - 10^{20}$ атом/см³), тобто з дуже малим питомим опором, в сотні або тисячі разів меншим, ніж у звичайних діодах

Застосування тунельних діодів дає змогу значно упростити численні електронні схеми, особливо імпульсні. До того схеми з тунельними діодами зазвичай споживають мало електроенергії і володіють порівняно високою термостабільністю. Однак не всі, на перший погляд хороші, технічні рішення в області проектування схем з тунельними діодами однаково добре реалізуються на практиці. Тільки правильно оцінюючи переваги та недоліки тунельних діодів, можна добитися бажаних результатів, в т. ч. побудувати прості, економічні та надійні схеми.

В даній магістерській роботі розглянуті методи отримання авто генерації на базі тунельного діода як активного елементу з від'ємним опором та спроектовано макет для дослідження різних схем автогенераторів. Перед нами стоїть задача спроектувати лабораторний макет за допомогою якого ми зможемо отримати достовірні результати статичних характеристик діода, а також визначити всі необхідні параметри генерації.

Тунельні діоди є уразливим до перенавантаження, легко виходять з ладу при неправильному вимірюванні, механічно уразливі, і легко генерують паразитні коливання.

Зважаючи на цю особливість даний лабораторний макет повинен забезпечити проведення лабораторної роботи з тунельним діодом.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Генератори

По типу активних елементів схеми генераторів можливо розділити на два класи:

- генератори із від'ємним опором;
- генератори із ланкою додатного зворотного зв'язку.

До першого класу відносяться генератори на тунельному діоді, діоді Ганна, лавинно-пролітному діоді та інших двополюсниках з від'ємним внутрішнім опором. До другого класу - лампові та транзисторні генератори, в цьому випадку активний елемент являється чотириполюсником. Необхідно відмітити, що дана класифікація дещо умовна, оскільки генератори із від'ємним опором інколи розглядають як генератори із внутрішньою ланкою додатного зворотного зв'язку.

2.2 Двополюсник із від'ємним диференціальним опором.

Від'ємний диференціальний опір.

Опір, як елемент електричного кола, повністю описується вольт-амперною характеристикою $I=I(U)$. Якщо виконується закон Ома $I=U/R$ то графік характеристики – пряма лінія, а опір – лінійний. А якщо опір нелінійний, то і характеристика буде мати нелінійний вигляд. При вивченні звичайного діода в якості його моделі вибирають нелінійний безінерційний двополюсник.

Якщо вольт-амперна характеристика містить спадаючу ділянку тоді говорять про двополюсник із від'ємним диференціальним опором. Цей опір називається диференціальним так як $R_{-}=dU/dI$ і грає визначну роль при змінному сигналі.

Продемонструємо це для малого змінного сигналу. Нехай $I=I(U)$ – вольт-амперна характеристика нелінійного двополюсника. Задамо напругу на двополюснику як суму постійної та змінної напруг $U = U_0 + U_{\sim}$. Враховуючи що $U_{\sim}$ мала величина то розкладемо струм в ряд і запишемо тільки два перших члена розкладу

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$I(U) \cong I(U_0) + \left(\frac{dI}{dU}\right)_{U=U_0} \cdot U_0$$

Перший доданок відповідає сталій складовій струму через двополюсник $I_0 = I(U_0)$, другий – змінній складовій $U_{\approx} = G \cdot U_{\approx}$, де $G = dI / dU_{U=U_0}$ - диференціальна провідність.

Для малого змінного сигналу диференціальний параметр – величина стала, відповідно виконується закон Ома. Нелінійність проявляється у тому, що диференціальний параметр залежить від постійної напруги U_0 (або струму I_0) тобто від вибору робочої точки.

Потужність змінного сигналу на двополюснику - $P_{\approx} = I_{\approx} \cdot U_{\approx} = G_{\approx} \cdot U_{\approx}^2$. Якщо $G_0 > 0$ то потужність додатна – двополюсник енергію споживає, якщо $G_0 < 0$, то потужність від’ємна и двополюсник віддає енергію. Це значить, що двополюсник із від’ємною провідністю може перетворити енергію джерела постійного струму в енергію коливань.

2.3 Числові параметри вольт-амперної характеристики N-типу.

Статична вольт-амперна характеристика являє собою повну характеристику двополюсника на низьких частотах. Але для оцінки і порівняння двополюсників, а також отримання розрахункових формул, зручно користуватися числовими значеннями які описують вольт-амперну характеристику. Для характеристики N-типу особливими точками є:

- точка піка П1 із координатами $(I_{П1}, U_{П1})$;
- точка впадини В із координатами (I_B, U_B) ;
- точка П2 із координатами $(I_{П2}, U_{П2})$.

Інтервалу напруг $0 \leq U \leq U_{П1}$ відповідає перша зростаюча ділянка, інтервалу $U_{П1} \leq U \leq U_B$ - ділянці від’ємного диференціального опору, а інтервалу $U > U_B$ - друга наростаюча ділянка.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

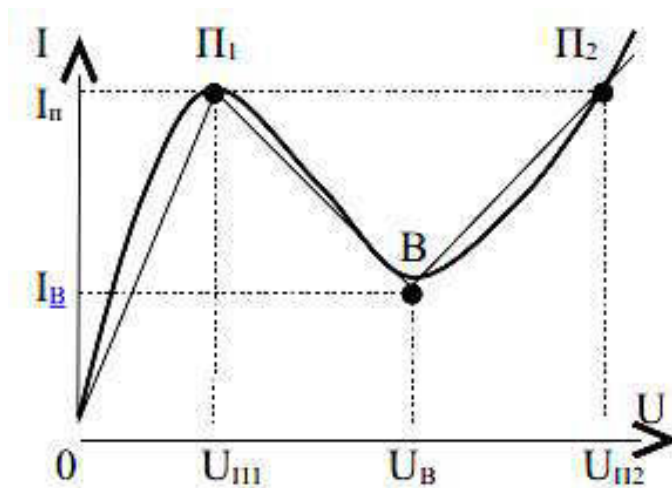


Рис.2.1 Апроксимація вольт-амперної характеристики N-типу кусково-неперервною функцією.

Використовуючи характерні точки можна апроксимувати вольт-амперну характеристику кусково-неперервною функцією:

$$I(U) = \begin{cases} -U/R_1; & 0 \leq U \leq U_{П1}; \\ I_{П} + G_{-}(U - U_{П1}); & U_{П1} \leq U \leq U_{В}; \\ I_{В} + (U - U_{В})/R_2; & U > U_{В}, \end{cases}$$

Де $R_1 = U_{П1} / I_{П}$ - опір двополюсника на першій зростаючій ділянці, а $G_{-} = (I_{В} - I_{П}) / (U_{В} - U_{П1})$ - від'ємна диференціальна провідність.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2.4 Генератор із від'ємним диференціальним опором.

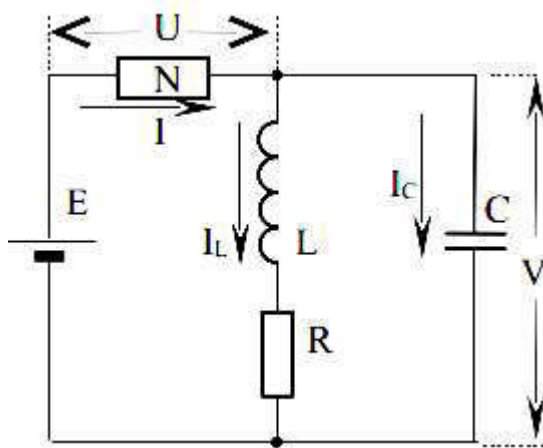


Рис2.2 Схема LC- генератора на двополюснику із від'ємним диференціальним опором.

Принципова схема LC-генератора на двополюснику N-типу зображена на рис2.2. На основі першого закону Кірхгофа: $I_L + I_C = I$; виходячи з 2-го закону: $U + V = E$.

Струм $I = I(U)$ являє собою нелінійну функцію напруги на N- двополюснику, тому в якості шукаємої змінної зручно вибрати $U(t)$. Ємнісний струм по визначенню $I_c = C \cdot \frac{dV}{dt}$. Враховуючи, що E константа то:

$$I_c = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

Напруга на контурі визначається через струм в колі індуктивності:

$$V = L \frac{dI_L}{dt} + RI_L$$

Виходячи із вище вказаних виразів запишемо систему відносно змінних $U(t)$ та $I(t)$:

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = I_L - I(U), \\ L \frac{dI_L}{dt} = -RI_L - U + E. \end{cases}$$

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Перше рівняння системи нелінійне, тому знайти розв'язок системи в загальному вигляді важко. Достатньо повну картину коливань можливо отримати методом фазової площини. Досліджувати самозбудження генератора можна в рамках лінійної теорії.[16]

2.5 Тунельний діод

Тунельний діод – це напівпровідниковий діод на основі виродженого напівпровідника, в якому тунельний ефект приводить до появи на вольт-амперній характеристиці, при прямому ввімкненні, ділянку від'ємної диференціальної провідності.

Тунельні діоди виготовлені із високолегованих напівпровідникових матеріалів з великим, порівняно із звичайним діодом, вмістом домішок (порядка 10^{19} - 10^{23} атом/см³). Наприклад діоди типу 1И302, виготовляють шляхом сплавлення монокристала германія, легованого миш'яком, з індієм, легованим галієм. Арсенід-галієві діоди типу АИ301 (ЗИ301) легуються оловом.

Тунельний ефект діодів обумовлений саме з великим вмістом домішок і вузькістю р-п переходу діода (порядка 100 Å). Вольт-амперна характеристика тунельного діода (рис.2.2) внаслідок наявності двох механізмів проходження електронів через р-п перехід – тунельного і дифузійного – має дві зростаючі ділянки і участок зворотнього диференціального опору.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

2.6 Частотні властивості тунельних діодів

Механізм дії тунельних діодів зв'язаний з тунелювання електронів через потенціальний бар'єр. Час який потрібен для закінчення цього процесу складає $10^{-13} - 10^{-14}$ с. Ефекту накопичення неосновних носіїв заряду в базі тунельних діодів практично немає, так як вони використовуються при малих напругах, що відповідають спадаючій ділянці ВАХ (з від'ємним диференціальним опором). Тому тунельні діоди можуть працювати на частотах до сотень гігагерц, що відповідає міліметровому діапазону радіочастот. Верхня межа частотного діапазону роботи тунельних діодів обмежений тільки паразитними реактивностями – власною ємністю, основу якої складає бар'єрна ємність $p-n$ -переходу та індуктивність виводів та корпуса.

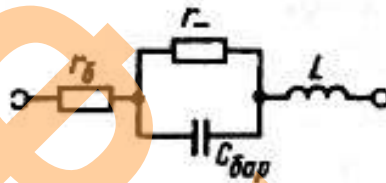


Рис 2.3 Еквівалентна схема тунельного діода.

Для аналізу і розрахунку параметрів, що характеризують частотні властивості тунельних діодів, використовують еквівалентну схему тунельного діода для малого змінного сигналу, при наявності постійної напруги, яка зміщує робочу точку на спадаючу ділянку ВАХ. Еквівалентна схема тунельного діода відрізняється від еквівалентної схеми звичайного діода тільки тим, що замість активного опору переходу введено від'ємний диференціальний опір r_i враховується індуктивність виводів L (Рис 2.1). Повний опір тунельного діода при малій синусоїдальній напрузі:

$$\dot{z} = r_\delta + j\omega L + \frac{1}{g + j\omega C_{\text{бар}}} = r_\delta + \frac{g}{g^2 + \omega^2 C_{\text{бар}}^2} + j \left(\omega L - \frac{\omega C_{\text{бар}}}{g^2 + \omega^2 C_{\text{бар}}^2} \right) \quad (2.1)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Де $g = 1/r_-$ - від'ємна диференціальна провідність тунельного діода.

Від'ємний диференціальний опір у тунельного діода буде існувати, якщо дійсна частина повного опору буде нижче нуля, тобто при

$$r_{\delta} < \left| \frac{g}{g^2 + \omega^2 C_{\text{бар}}^2} \right| \quad (2.2)$$

При великій частоті другий доданок у дійсній частині (2.1) виявиться менше (по абсолютному значенню) першого доданка. Це означає, що тунельний діод при великих частотах не буде мати від'ємний диференціальний опір. Визначимо граничну резистивну частоту, на якій активна складова повного опору тунельного діода прямує до нуля, тобто нерівність (2.2) стає рівністю

$$r_{\delta} = \frac{g}{g^2 + \omega^2 C_{\text{бар}}^2} \quad (2.3)$$

Звідси:

$$\omega_{\delta} = \frac{1}{|r_-| C_{\text{бар}}} \sqrt{\frac{|r_-|}{r_{\delta}} - 1} \quad (2.4)$$

Із співвідношення (2.4) видно, що гранична резистивна частота тунельного діода залежить від співвідношення опору бази діода і абсолютного значення від'ємного диференціального опору. Для знаходження екстремальних значень граничної резистивної частоти треба продиференціювати рівняння (2.4) по $|r_-|$ та прирівняти отримане значення до нуля. Тоді отримаємо умову:

$$|r_-| = 2r_{\delta} \quad (2.5)$$

при виконанні якої, гранична резистивна частота буде максимальною. Зв'язок її із параметрами еквівалентної схеми можна одержати підставивши (2.5) в (2.4):

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$f_R = \frac{1}{2\pi|r_-|C_{бар}} \quad (2.6)$$

Усереднений від'ємний диференціальний опір можна записати як

$$|r_-| = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_B - U_{п}}{I_{II} - I_B} \approx \frac{const}{I_{II}} \quad (2.7)$$

Якщо отримане співвідношення підставити у (2.6) то отримаємо

$$f_R \sim I_{п} / C_{бар} \quad (2.8)$$

Тому відношення ємності тунельного діода до пікового струму являє собою один із основних параметрів тунельного діода, який характеризує його властивості.

У тунельному діоді, який має паразитну індуктивність та ємність при деякій частоті можуть настати умови для резонансу, що порушить нормальну роботу схеми із тунельним діодом. Тому резонансна частота тунельного діода f_0 являє собою ще один параметр який характеризує частотні властивості тунельного діода.

Резонансну частоту тунельного діода можна визначити із співвідношення (2.1) при умові рівності нулю уявної частини повного опору діода:

$$\omega_0 L = \frac{1}{|r_-|C_{бар}} \sqrt{\frac{|r_-|^2 C_{бар}}{L} - 1} \quad (2.9)$$

тоді:

$$\omega_0 = \frac{1}{|r_-|C_{бар}} \sqrt{\frac{|r_-|^2 C_{бар}}{L} - 1}. \quad (2.10)$$

Тунельні діоди повинні бути сконструйовані так, щоб резонансна частота була вище граничної резистивної частоти ($\omega_0 > \omega_R$), тоді можливі небажані резонансні явища виникають тільки на частотах, на яких тунельний діод вже не буде мати від'ємний диференціальний опір. Нерівність $\omega_0 > \omega_R$

із врахуванням співвідношень (2.10) та (2.4) перетворюємо наступним чином:

$$L < r_o |r_-| C_{бар}.$$

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Відповідно, індуктивність еквівалентної схеми тунельного діода, яка визначається в основному індуктивністю внутрішніми та зовнішніми виводами діода, повинна бути по можливості малою. Тому внутрішні та зовнішні виводи тунельного діода виготовляють не із тонких дротів, а у виді пластин, мембран, тощо.[17]

Найпростіша схема включення тунельного діода зображена на рис.2.2. При відповідному виборі режиму зміщення тунельного діода, включеного по цій схемі з параметрами зовнішніх елементів L та R можуть бути реалізовані найрізноманітніші радіотехнічні пристрої.

Головною умовою отримання генераторного та підсилювального режиму роботи схеми є установлення робочої точки тунельного діода на ділянці із від'ємним диференціальним опором (пряма 1 на рис.2.4 б).

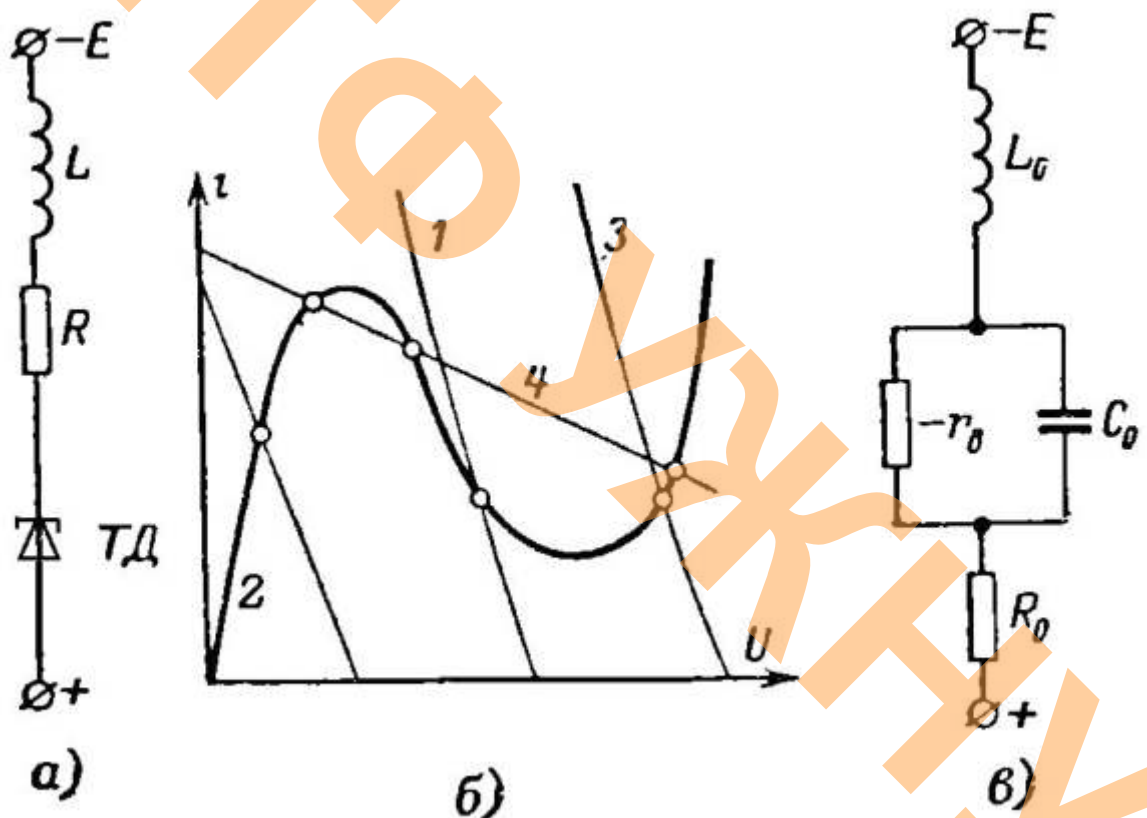


Рис.2.4 Основна схема включення тунельного діода (а), основні режими роботи (б), еквівалентна схема (в).

На рис.2.2, введена також еквівалентна схема тунельного діода при роботі в підсилювальному та генераторному режимах. Тут r_d - від'ємний опір на спадаючій ділянці; C_0 - ємність переходу; R_0 - опір втрат; L_0 - індуктивність виводів. При розрахунках генераторів на частотах менше 1 МГц, як правило величиною L_0 нехтують.

Для виникнення у схемі незатухаючих коливань необхідно, щоб виконувалися наступні рівності:

$$R + R_0 < |-r_d|; \quad (2.11)$$

$$U_1 + I_1 R < E < U_2 + I_2 R; \quad (2.12)$$

$$L + L_0 \geq (R_0 + R) |-r_d| C_0. \quad (2.13)$$

Чим більше виконується нерівність (2.13) тим ближче форма коливань генератора до прямокутної. При рівності лівої та правої частин виразів (2.13) форма коливань близька до синусоїдальної.

Для забезпечення роботи схеми підсилювальному режимі повинне виконуватися нерівність (2.11) та нерівність :

$$L + L_0 < (R_0 + R) |-r_d| C_0 \quad (2.14)$$

Якщо робоча точка тунельного діода знаходиться на зростаючій тунельній, або дифузійній вітці характеристики і перетинає їх тільки у одній точці (прямі 2 та 3), то досягається одновібраторний режим. Найбільш часто використовується режим, зображений лінією навантаження 2, коли виконуються нерівності:

$$R < |-r_d|; \quad (2.15)$$

$$E < U_1 + I_1 R. \quad (2.16)$$

Пряма 4 відповідає тригерному режиму роботи. У цьому режимі схема має 2 стабільні стани на зростаючих вітках. Для забезпечення тригерного режиму повинні виконуватися нерівності:

$$R > |-r_d| \quad \text{та} \quad U_2 + I_2 R \leq E \quad (2.17)$$

Комбінацією тунельних діодів із резисторами, конденсаторами, діодами і транзисторами можна відносно просто отримати такі схемні рішення які було б важко отримати на транзисторах.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Розрахунки режимів роботи тунельних діодів і параметрів генераторних пристроїв, які реалізовані на них на практиці проводять графоаналітичним методом, тобто коли нелінійні залежності апроксимуються лінійними ділянками. Але необхідно відмітити, що ряд практичних схем на тунельних діодах із-за розкиду параметрів їх характеристик і складності врахування параметрів кіл запуску та навантаження потребують індивідуальної доводки та наладки.

Найчастіше, наладка зводиться до підбору напруги живлення чи опорів резисторів у колах зміщення. [15]

Особливим питанням при розробці генераторних пристроїв являє собою питання узгодити діоди з транзисторними каскадами. Одна із основних переваг діодів – висока гранична частота, яка складає величину в порядок 10^{11} Гц (теоретична межа - 10^{13} Гц), може нівелюватися із-за того, що доступні тунельні діоди мають низьку вихідну потужність.

Вираз для максимальної вихідної потужності, яку можна отримати від одного тунельного діода, має наступний вид:

$$P_{\max} = \frac{1}{2} (U_2 - U_1)(I_1 - I_2)$$

Потужність яка віддається у навантаження в режимі генерації імпульсів для діодів серії АІ301 не перевищує 10мВт, а в режимі генерації гармонічних коливань – в декілька разів менше.

Мала вихідна потужність генераторів на тунельних діодах призводить до того, що в багатьох випадках при розробці потужних високочастотних генераторних пристроїв необхідно вводити додаткові каскади підсилення на транзисторах. В той час верхня частотна межа у транзисторів може бути нижче ніж у тунельних діодів.

Такого роду проблеми також виникають при розробці імпульсних генераторів, до вихідних імпульсів яких ставляться високі умови по відношенню до крутизни фронту та амплітуди. Для арсенід-галієвих діодів:

$$t_{\phi} = \frac{C_d}{I_1}$$

Для діодів серії АІ301 час наростання фронту складає 3 – 10 нсек.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

3. ОГЛЯД СХЕМНИХ РІШЕНЬ ГЕНЕРАТОРІВ НА ТУНЕЛЬНИХ ДІОДАХ

Генератори із індуктивністю на тунельних діодах не дивлячи на їх простоту схем забезпечують широкий діапазон генеруємих частот, стабільність частот та можливість їх швидкої перестройки, споживать малу потужність.

Як правило на практиці використовують дві основні схеми генераторів. В генераторі послідовного типу коливальний контур складається із індуктивності L та ємності тунельного діода. Так як ємність коливального контура в цьому генераторі може бути дуже мала то саме по цій схемі виконуються генератори на максимальну робочу частоту. Опір навантажувального резистора R_2 необхідно вибирати настільки малим, щоб забезпечити стабільність схеми до зміни напруги живлення.

Конденсатор C_1 який підключається до тунельного діода паралельно дозволяє понизити частоту та збільшити тривалість вихідних імпульсів.

Схеми із паралельним резонансним контуром мають більш стабільну частоту, але коливання генератора містить більшу кількість гармонік при великій амплітуді коливань, із збільшенням частоти коливань вміст гармонік зменшується.

Підвищенню стабільності частоти в генераторі послідовного типу може сприяти неповне включення до контуру.

Розглянемо принцип роботи генератора із індуктивністю. Тунельні діоди виконують роль елементів із від'ємним диференціальним опором. Струм через діод вибирається таким чином, щоб робоча точка лежала на спадаючій ділянці вольт-амперної характеристики.

Діаграми, приведені на рис.2.4, відносяться до генераторів із відносно великою (більше ніж 10мкГн) індуктивністю, коли форма вихідних імпульсів близька до прямокутних. Це наприклад має місце, якщо траєкторія робочої точки при переключеннях заходить на ділянки наростаючих віток. Якщо ж траєкторія робочої точки не виходить за межі ділянки із від'ємним диференціальним опором, форма коливань буде близька до синусоїдальної.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

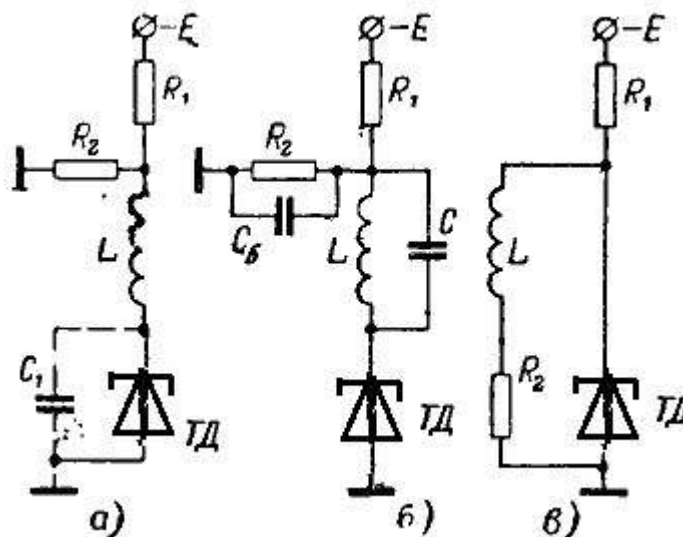


Рис3.1 Схеми генераторів з індуктивністю.

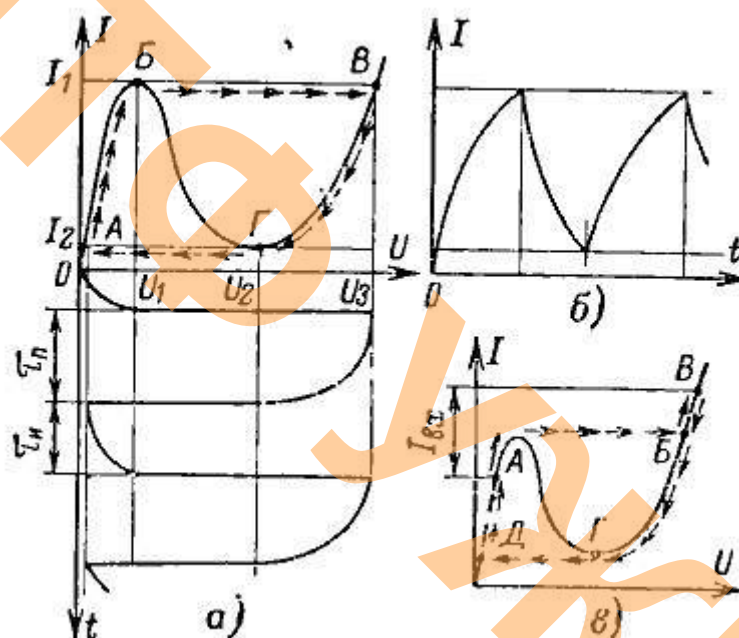


Рис3.2 Діаграми токів та напруг тунельного діода і режимі генерації імпульсів.

При ввімкненні джерела живлення із-за наявності індуктивності струм в колі починає поступово наростати від нуля до максимуму I_1 , на тунельній вітці, де проходить переключення на дифузійну частину вітки характеристики. Оскільки час переключення дуже малий то струм через індуктивність не встигає різко змінитися. За цей час на діоді формується крутий фронт імпульсу. Строго кажучи, на ділянках BB та $ГА$ (рис3.2а) швидкість руху робочої точки, а отже і швидкість переключення

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

діода залежить від швидкості заряду ємності самого діода та приєднаної до нього зовнішньої ємності.

Далі на індуктивності L напруга змінює свій знак і струм починає зменшуватись до величини I_2 при якому знову відбувається переключення на тунельну вітку в точку A і так далі. На рис3.2 а) внизу показані діаграми струму на тунельному діоді. Імпульси струму, що мають яскраву пилоподібну форму (рис3.2 б) можна спостерігати з допомогою осцилографа на резисторі R_2 .

На рис3.2 в) схематично показані траєкторії руху робочої точки діода, включеного в схему очікуючого генератора. Обрахунок основних характеристик генераторів проводять за наступними формулами:

- Для тривалості імпульсу:

$$\tau_{\text{и}} = \frac{L}{R + \overline{R}_{\text{д1}}} \ln \left[1 + \frac{(I_1 - I_2)(R + \overline{R}_{\text{д1}})}{RI_2 + U_2 + U_{\text{см}}} \right] \quad (3.1)$$

- Для тривалості паузи:

$$\tau_{\text{п}} = \frac{L}{R + \overline{R}_{\text{дз}}} \ln \left[\frac{U_{\text{см}} - I_2(R + \overline{R}_{\text{дз}})}{U_{\text{см}} - I_1(R + \overline{R}_{\text{дз}})} \right] \quad (3.2)$$

У формулах (2.1) та (2.2) $\overline{R}_{\text{д1}}$ та $\overline{R}_{\text{д2}}$ - усереднені диференціальні опори діода на тій вітці характеристики, де проходить формування вихідної величини імпульсу чи паузи. Хоча, якщо брати до уваги криві вольт-амперної характеристики, опір діода змінюється по закону, який відрізняється від лінійного, тому на практиці для простоти розрахунків використовують лінійну апроксимацію ділянки, тобто заміняють на пряму лінію.

Оскільки формування вершини імпульсу відбувається на дифузійній вітці вольт-амперної характеристики, то усереднений опір діода на цій ділянці буде:

$$\overline{R}_{\text{дз}} = \frac{U_3 - U_2}{I_1 - I_2}$$

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Формування паузи проходить на тунельній вітці характеристики і відповідно:

$$\overline{R_{д1}} = \frac{U_1}{I_1}$$

Напруга зміщення на діоді $U_{см}$ визначається рівнянням:

$$U_{см} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Опір навантажувального резистора R у виразі визначається із співвідношення:

$$R = R_1 R_2 (R_1 + R_2)$$

Як правило при розробці схем генераторів конструкторів цікавить питання вибору параметрів схеми під певну задану частоту генерації. Вихідними даними для розрахунків, крім значення частоти коливань, повинні бути ще степінь регулювання частоти, вимоги до стабільності, надійності та економічності генератора. В цьому випадку дуже допомагають номограми, або реальні характеристики генератора для всього діапазону частот.

На основі великої кількості експериментів отримані графіки на рис 3.3 для генераторів послідовного типу із діодами типу 3И301 [15]. На рис 3.3а) показані залежності частоти релаксаційних коливань генератора з діодами різних типів від індуктивності L (при $R_2 = 10 \text{ Ом}$; $E = 8 \text{ В}$). при постійній величині індуктивності вказаний на графіках діапазон регулювання забезпечується зміною напруги зміщення на тунельному діоді. Частота також залежить від типу включеного діода. Наприклад, при $L = 100 \text{ мкГн}$ гранична частота генератора на діоді типу 3И301Г на порядок нижче ніж в генератора з діодом 3И301А.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

В залежності від границь регулювання частоти імпульсів генератора від величини напруги зміщення $U_{см}$ на діоді і значення опору R_2 можливо бачити по графіку на рис. 2.46. Криві на графіку побудовані по експериментальним даним для генератора з діодом типу ЗІЗ01Г та контуром з індуктивністю $L=5$ мкГн. Область стабільної роботи обведена сектором, який показаний штриховими лініями. Найбільша степінь перекриття по частоті (більше ніж 2 рази) має місце при малих значеннях R_2 та зміні напруги зміщення в межах 0,2-0,33 В.

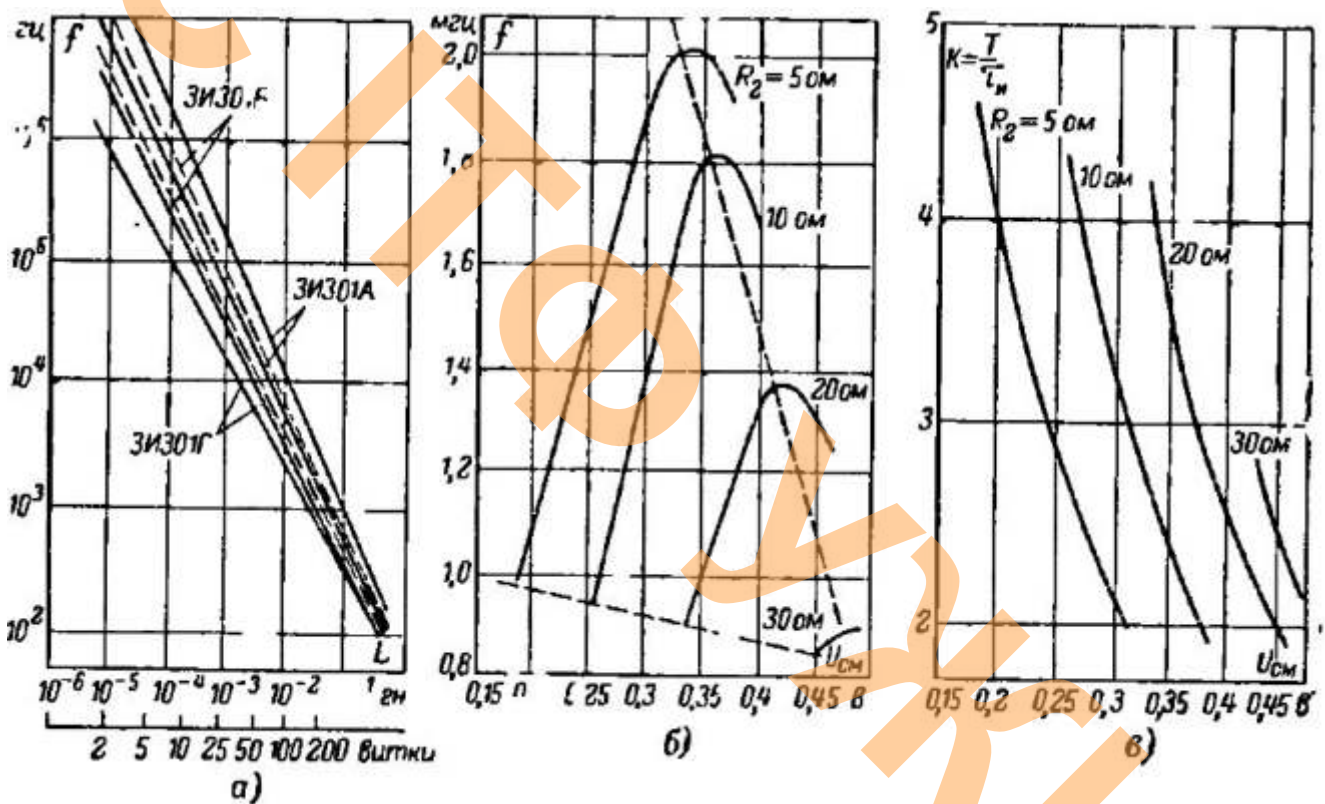


Рис 3.3 Експериментальні характеристики генераторів.

Але, не дивлячись на полегшені умови роботи діода, такого типу режими слід використовувати тільки в схемах з живленням від відносно потужного джерела живлення.

4. РОЗРАХУНКИ ОСНОВНИХ БЛОКІВ МАКЕТУ

4.1 Структурна схема лабораторного макету

Згідно з завданням необхідно спроектувати лабораторний макет з допомогою якого можна вивчати отримання високо стабільних коливань з допомогою тунельного діода, як двополюсника з від'ємним диференціальним опором, та досліджувати особливості коливань високочастотних автогенераторів на тунельному діоді для різних схем.

Першочергове питання, яке необхідно вирішити при побудові будь-якої системи – це завдання робочої точки активних елементів на постійному струмі. Для однозначного задання робочої точки на спадаючій ділянці вольт-амперної характеристики, необхідно задати постійне зміщення на тунельному діоді від джерела напруги. А це означає, що опір постійному струму (включаючи внутрішній опір джерела зміщення), що вмикається послідовно з тунельним діодом, повинен бути значно меншим за диференціальний опір тунельного діода в робочій точці. Оскільки абсолютна величина диференціального опору в робочій точці може складати одиниці, або десятки Ом, то внутрішній опір джерела повинен бути на порядок менший, тобто складати десяті долі, або одиниці Ом. При цьому напруга джерела повинна бути в діапазоні 100 – 300 мВ. Для забезпечення повторюваності та достовірності результатів вимірювань при проведенні лабораторних робіт, нам передусім необхідно забезпечити високу стабільність і точність задання напруги живлення. Тобто схема повинна включати в себе стабілізоване джерело напруги, що регулюється, високо стабільний задавач цієї напруги та вольтметр для контролю за нею з точністю до одиниць мілівольт.

Передбачається, що перед дослідженням автогенераторів буде зніматися ВАХ тунельного діода, який використовується у схемі автогенератора. Тому діапазон зміни напруги має бути 0 – 1100 мВ, а в схему необхідно ввести міліамперметр. Для того, щоб з'єднувальні провідники цих приладів не заважали роботі автогенератора, міліамперметр та вольтметр необхідно розмістити у корпусі

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

макета. В якості міліамперметра використаємо міліамперметр типу М265М з відповідним шунтом, а вольтметр спроектуємо в складі схеми макета.

В схемі макета передбачено можливість дослідження схем автогенератора з котушкою індуктивності, паралельним контуром з повним та частковим включенням тунельного діоду до контура. Для цього передбачимо відповідний вузол комутації.

Як при вивченні процесу виникнення коливань так і при дослідженні коливань окремих схем автогенераторів доцільно буде одночасно контролювати форму, напругу та частоту вихідного сигналу. Із приладів, які є у розпорядку кафедри для наших цілей підійдуть такі прилади: осцилограф типу С1-99 [8], частотомір типу ЧЗ-34 [8], електронно-цифровий вольтметр типу В7-16А [10] з детекторною головкою.

Для того, щоб підключити прилади до макету з мінімальним впливом на роботу його схеми необхідно також спроектувати буферний підсилювач з відповідними характеристиками. Згідно цього на рис 4.1 зображена структурна схема лабораторного макету.

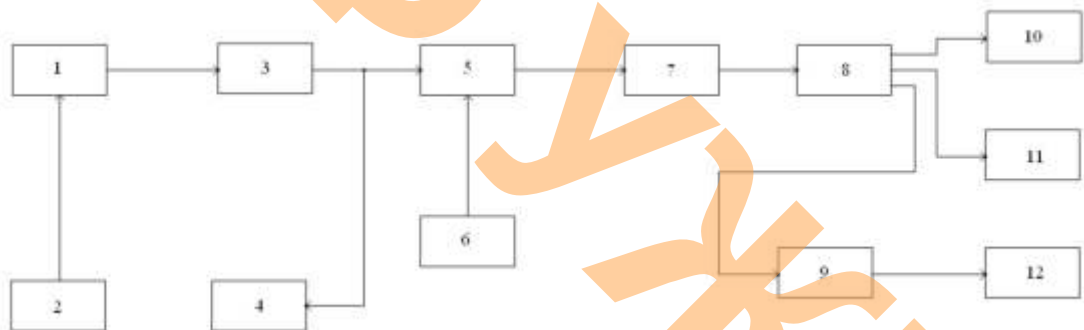


Рис 4.1 Структурна схема лабораторного макету.

1. Стабілізоване джерело напруги;
2. Задавач напруги;
3. Міліамперметр;
4. Вольтметр;
5. Схема комутації;
6. Тунельний діод;
7. Елементи коливального контура;

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

8. Буферний підсилювач;
9. Детекторна головка;
10. Осцилограф С1-99;
11. Частотомір ЧЗ-34;
12. Вольтметр В7-16А.

4.2 Стабілізоване джерело живлення для тунельного діода

Для живлення тунельного діода в лабораторному макеті необхідно мати напругу від 0.1 В до приблизно 1.1 В, яку необхідно плавно регулювати із точністю до одиниць мілівольт. Відомо, що найпростіше побудувати стабілізоване джерело напруги з регулюванням вихідної напруги використавши трьох вивідні регулюєми стабілізатори типу 142ЕН12 (LM317) [14; 1]. Але мінімальна напруга на виході в цьому випадку складає 1,25 В та не може бути меншою без спеціального зміщення потенціалу [1].

Одним з рішень такої проблеми є використання джерела опорної напруги на основі двох діодів [2]. В той час, цей метод підходить для стабілізаторів з напругою від 1,2 до 15 В та більше, але не придатний для стабілізаторів фіксованої, або регулюємої напруги близької до нуля. Два кремнієві діоди які використовуються у згаданому випадку, не забезпечують необхідний стабільний зсув потенціалу 1,25 В, тому, що вони вносять додаткову температурну похибку, приблизно 2,5мВ/К [3].

Вирішити цю проблему можна використовуючи мікросхеми типів LM185 виробника Fairchild Semiconductor або AD589 виробника Analog Devices, як регулюємі мікросхеми опорної напруги. Але ці мікросхеми мають високу ціну і потребують не тільки додаткового зміщення нуля, але й підбору елементів [4].

На рис.4.2 показана схема яка дозволяє отримувати стабільну напругу від 0 до 3 В. У цій схемі необхідне зміщення отримується з допомогою простого джерела стабілізованого струму із температурною компенсацією [4].

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

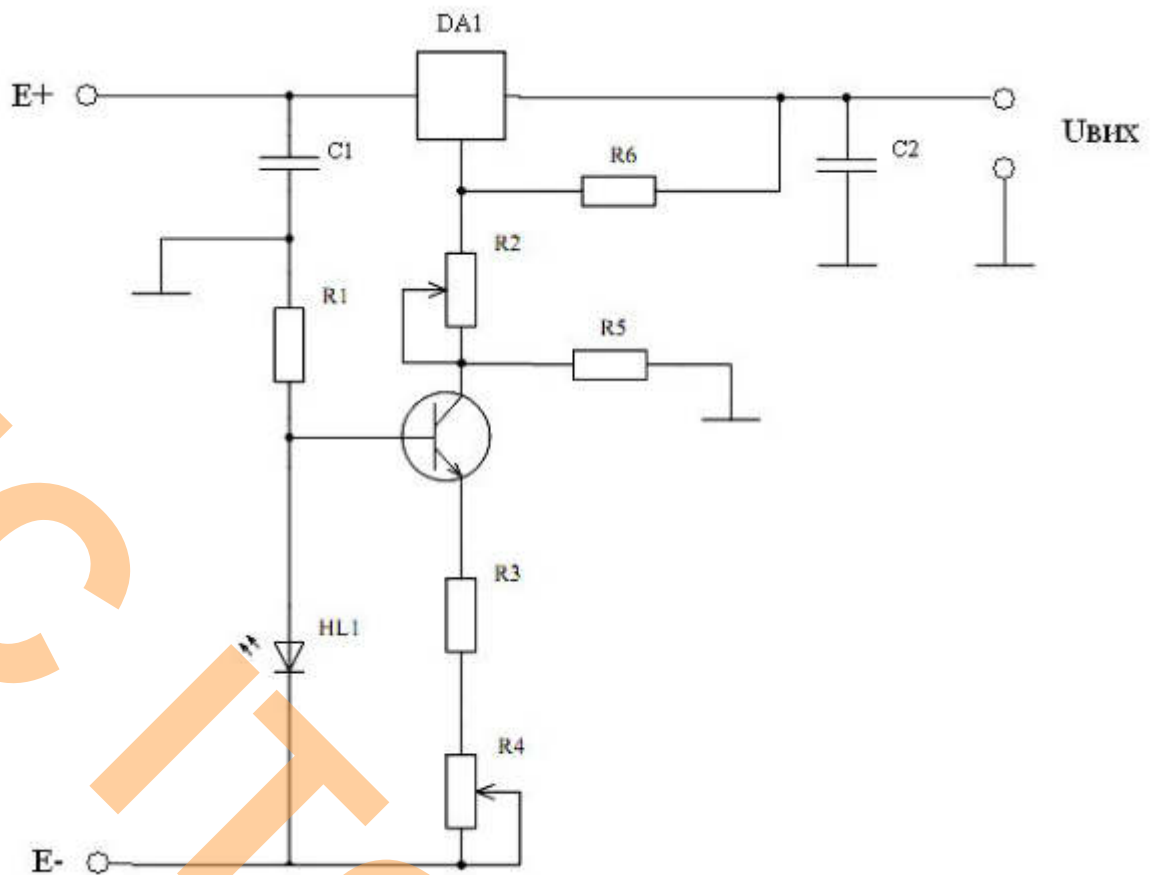


Рис 4.2 Схема електрична принципова джерела живлення тунельного діода.

Якщо транзистор VT1 не заходить в режим насичення, його значення коефіцієнта підсилення струму $h_{21E} \geq 100$, то обчислити параметри джерела струму можна за виразом [5]:

$$I = \frac{U_D - U_{BE0}}{R_3 - R_4}$$

де U_D - напруга на діоді VD1, U_{BE0} - напруга база-емітер транзистора VT1 у відкритому стані.

В якості діода VD1 вибираємо світлодіод типу АД307АМ у якого $U_D = 2$ В при струмі 10 мА [6].

В якості транзистора VT1 виберемо транзистор типу КТ3102, у якого при струмі 15 мА коефіцієнт $h_{21E} \geq 200$ і при цьому має кращу температурну стабільність. Для цього режиму транзистора $U_{BE0} = 0.68$ В [6].

Тоді за формулами для струму:

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$I = \frac{U_D - U_{BE0}}{R_3 - R_4} = \frac{2 - 0,68}{R_3 - R_4} \quad (4.1)$$

знайдемо загальний опір:

$$R_3 - R_4 = \frac{1.32}{15 \cdot 10^{-3}} = 88 \text{ Ом.}$$

Нам необхідно, щоб від струму $I = 15 \text{ мА}$ на резисторі R_5 утворилась напруга зміщення U_{on} приблизно $-1,2 \text{ В}$. Для точного виставлення напруги застосуємо регулювання резистором R_4 . Опір резистора $R_5 = \frac{1.25}{15 \cdot 10^{-3}} = 83 \text{ Ом}$. Стандартний номінал – 82 Ом .

Визначимо різні значення опору $R_3 - R_4$ при умові, що значення опорної напруги U_{REF} мікросхеми LM317 може змінюватись від $1,2 \text{ В}$ до $1,3 \text{ В}$ [1].

Необхідний струм для отримання опорної напруги $U_{on} = 1,2 \text{ В}$ на резисторі R_5 :

$$I_{\min} = \frac{1.2}{82} = 14.6 \text{ мА}$$

Тоді за формулою (4.1) можна обрахувати максимальний опір резистора:

$$R_{\max} = \frac{1.32}{14.6 \cdot 10^{-3}} = 90.2 \text{ Ом}$$

Для $U_{on} = 1,3 \text{ В}$:

$$I_{\max} = \frac{1.3}{82} = 14.6 \text{ мА,}$$

тоді:

$$R_{\max} = \frac{1.32}{15.8 \cdot 10^{-3}} = 83.5 \text{ Ом.}$$

Для регулювання із запасом вибираємо $R_3 = 68 \text{ Ом}$ та $R_4 = 47 \text{ Ом}$.

Номінал резистора R_1 визначається із умови, що для отримання $U_D = 2 \text{ В}$, необхідний струм через діод $I_D = 10 \text{ мА}$ [6] і для значення вхідної напруги $E_- = -5 \text{ В}$

$$R_1 = \frac{|E_-| - U_D}{I_D} = \frac{5 - 2}{10 \cdot 10^{-3}} = 300 \text{ Ом}$$

Вихідна напруга в схемі регулюється резистором R_2 . Величина вихідної напруги визначається за виразом [14], [1]:

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$U_{ВИХ} = U_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_6}\right) - U_{ОП}$$

При $U_{REF} = U_{ОП}$

$$U_{ВИХ} = U_{REF} \frac{R_2}{R_6}$$

Обмежимо вихідну напругу значенням 1.2 В, в якості резистора R2 виберемо провідниковий багато обертовий резистор змінного опору типу СП5-44-01 [7] номіналом 1 кОм, тоді опір резистора R6 буде:

$$R_6 = \frac{1.25 \cdot 1 \cdot 10^3}{1.2} = 1.04 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Стандартний номінал R6 = 1 кОм.

Номінали конденсаторів C1 та C2 за рекомендацією [1], вибираємо 0.1 мкФ та 10 мкФ відповідно.

Слід зауважити, що вихідний опір схеми стабілізатора в діапазоні від постійного струму до 5 кГц, коли C2 = 10 мкФ не перевищує 0.01 Ом [14], [1].

4.3 Вибір і розрахунки автогенераторів на тунельному діоді .

Для проектування вибираємо тунельний діод типу АИ301А.

Основні параметри діода [6]:

- $C_{max} = 12 \text{ пФ}$ – загальна ємність діода;
- $L_{max} = 1.5 \text{ нГн}$ – індуктивність діода;
- $R_g \approx 80 \text{ Ом} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0.26-0.14}{(0.82-2.33) \cdot 10^{-3}} = 79,6 \text{ Ом}$ – від’ємний диференціальний опір

навколо робочої точки діода при зміщені $E_0 = 0.2 \text{ В}$.

На рис.4.3 показана найпростіша схема автогенератора на тунельному діоді. Коливальний контур тут складається з котушки індуктивності та власної ємності діода тому в такій схемі можна отримати максимальну частоту коливань.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

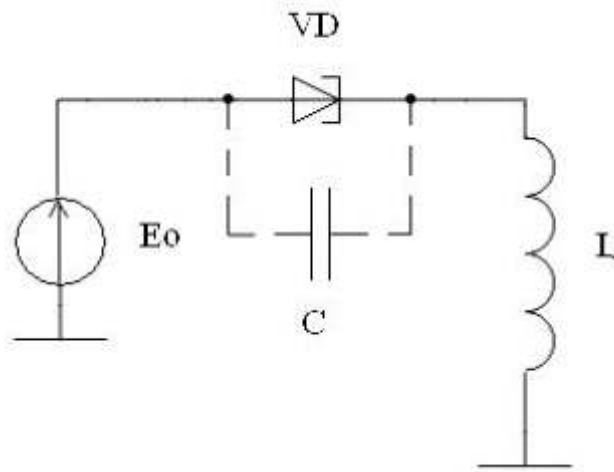


Рис 4.3 Найпростіша схема автогенератора.

Що правда, це можна забезпечити тільки в діапазоні НВЧ де мінімізовані ємності та індуктивності елементів конструкції. Для заданого діапазону частот – одиниць мегагерц, в схемі крім індуктивності котушки L_k та ємності діода C_d , необхідно враховувати також індуктивності з'єднувальних дротів і ємності всіх елементів схеми відносно корпусу та власну ємність котушки. Максимально можлива частота у цьому випадку визначається за формулою :

$$f_{\Gamma} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{r_{\Sigma}}{|-Rg| \cdot LC} \right)}$$

де $L = L_k + L_{\text{п}} = 4 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} = 5 \text{ мкГн}$ – індуктивність котушки та з'єднувальних провідників, $C = C_{\text{макс}} + C_{\text{м}} = (12 + 30) \cdot 10^{-12} = 42 \text{ пФ}$ – ємність діода і елементів контура, який містить в собі: опір втрат в матеріалі напівпровідника, контактах та виводах діода; опір провідників схеми; опір втрат в котушці індуктивності, який можна обрахувати за визначенням власної (конструктивної) добротності котушки :

$$Q = \frac{\omega L_K}{R_K}$$

де ω - робоча частота, L_K - індуктивність котушки, R_K - опір втрат.

Для однорядкової котушки на каркасі діаметром 8-10 мм, з індуктивністю – одиниці мкГн, в діапазоні частот 2 – 25 МГц, мінімальне значення добротності $Q = 80$ [13].

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Тоді для частоти 10 МГц: $R_K = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{80} \approx 3 \text{ Ом}$

З урахуванням цього виберемо $r_\Sigma = 5 \text{ Ом}$, тоді частота генерації схеми:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{1}{5 \cdot 10^{-6} \cdot 42 \cdot 10^{-12}} - \frac{5}{|-80| \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 42 \cdot 10^{-12}}} = 10,5 \text{ МГц.}$$

Більш стабільну частоту і більшу вихідну потужність дає схема з паралельним резонансним контуром рис.4.4.

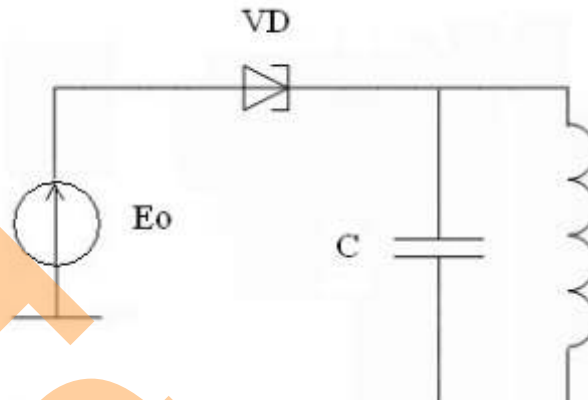


Рис 4.4 Повне включення тунельного діода у контур.

Для отримання синусоїдальних коливань необхідно зменшувати відношення $\frac{L}{C}$ [12]. Вибираємо значення хвильового опору контура

$\sqrt{\frac{L}{C}} = 200 \text{ Ом}$ і при індуктивності $L = 5 \text{ мкГн}$ знайдемо необхідну ємність конденсатора в контурі:

$$C_K = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^4} = 1,25 \cdot 10^{-10} = 125 \text{ пФ.}$$

З урахуванням ємності елементів схеми, власне ємність конденсатора:

$$C = C_K - (C_{\max} + C_M) = 125 - 42 = 83 \text{ пФ}$$

Стандартний номінал ємності конденсатора – 82 пФ.

Частоту такої системи визначимо за формулою:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{|-R_g|^2 LC}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{5 \cdot 10^{-6} \cdot 125 \cdot 10^{-12}} - \frac{1}{|-80|^2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 125 \cdot 10^{-12}}} = 6,37 \text{ МГц}$$

Максимальна потужність (без урахування нелінійних спотворень), яку може розвинути тунельний діод, виражається наступним співвідношенням:

$$P_{\max} = \frac{1}{8} (U_2 - U_1)(I_1 - I_2)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Передбачаючи, що коливання напруги відбуваються між точками піку та впадини вольт-амперної характеристики діода:

$$P_{\max} = \frac{1}{8} (0.4 - 0.1)(2.6 - 0.29) \cdot 10^{-3} = 0.13 \text{ мВт}$$

Для збільшення амплітуди коливань і стабільності частоти застосовують неповне включення контура наприклад як показано на рис.4.5.

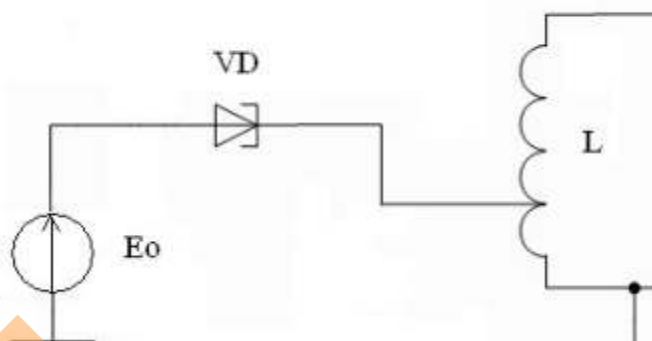


Рис 4.5 Часткове включення тунельного діода у контур.

При збільшенні зв'язку із контуром, частота генератора зменшується по причині не лінійності системи та із-за збільшення ємності контура (за рахунок ємності тунельного діода). При зменшенні коефіцієнта включення амплітуда коливань росте, але при певному значенні коефіцієнта включення відбувається зрив генерації. Для схеми макету застосуємо аналогічний контур, який був розрахований для повного включення, лише коефіцієнт включення приблизно 0.4.

4.4 Вибір і розрахунок електронно цифрового вольтметра.

Для попереднього дослідження тунельного діода, який буде використовуватися у схемі автогенератора необхідно зняти вольт-амперну характеристику по точках із точністю до мілівольт. А також при наступному заданні робочої точки діода необхідно точно вимірювати напругу. Найкращим рішенням буде використати електронний цифровий вольтметр із діапазоном вхідної вимірюваної напруги від 0 до 1.5 В. Пропонується використати вітчизняний аналогово-цифровий перетворювач КР572ПВ2А. Дана мікросхема при підключенні трьох зовнішніх резисторів та чотирьох зовнішніх конденсаторів виконує функцію аналогово-цифрового перетворювача, який працює по принципу подвійного

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

інтегрування із автоматичною корекцією нуля та автоматичним визначенням полярності вхідного сигналу.

Діапазони вхідного сигналу:

- $\pm 1,999 \text{ В}$
- $\pm 199,9 \text{ мВ}$

Цифрова інформація на виході аналогово-цифрового перетворювача виводиться у семи сегментному коді. Цифровий відлік проводиться на 3,5 декадному світлодіодному індикаторі.

У таблиці 1 приведені основні параметри мікросхеми КР572ПВ2.

Таблиця 4.4.1.

Найменування параметру, одиниця вимірювання	Буквен познач	Норма						Темпер °С
		КР572ПВ2А		КР572ПВ2Б		КР572ПВ2В		
		не менше	не більше	не менше	не більше	не менше	не більше	
Струм споживання, мА	I_{cc1}	-	1,8	-	1,8	-	1,8	25
	I_{cc2}	-	2,5	-	2,5	-	2,5	70
		-	2,5	-	2,5	-	2,5	-10
Вихідний струм, мА	I_{o1}	5	-	5	-	5	-	25
		3,5	-	3,5	-	3,5	-	70
		3,5	-	3,5	-	3,5	-	-10
Вихідний струм старшого розряду, мА	I_{o2}	10	-	10	-	10	-	25
Похбка перетворення, од. відліку	δ	-	1	-	3	-	5	25
		-	2	-	4	-	5	70
Коефіцієнт послаблення синфазної напруги, мВ/В	CMR_s	-	2	-	4	-	5	-10
		-	100	-	100	-	100	25

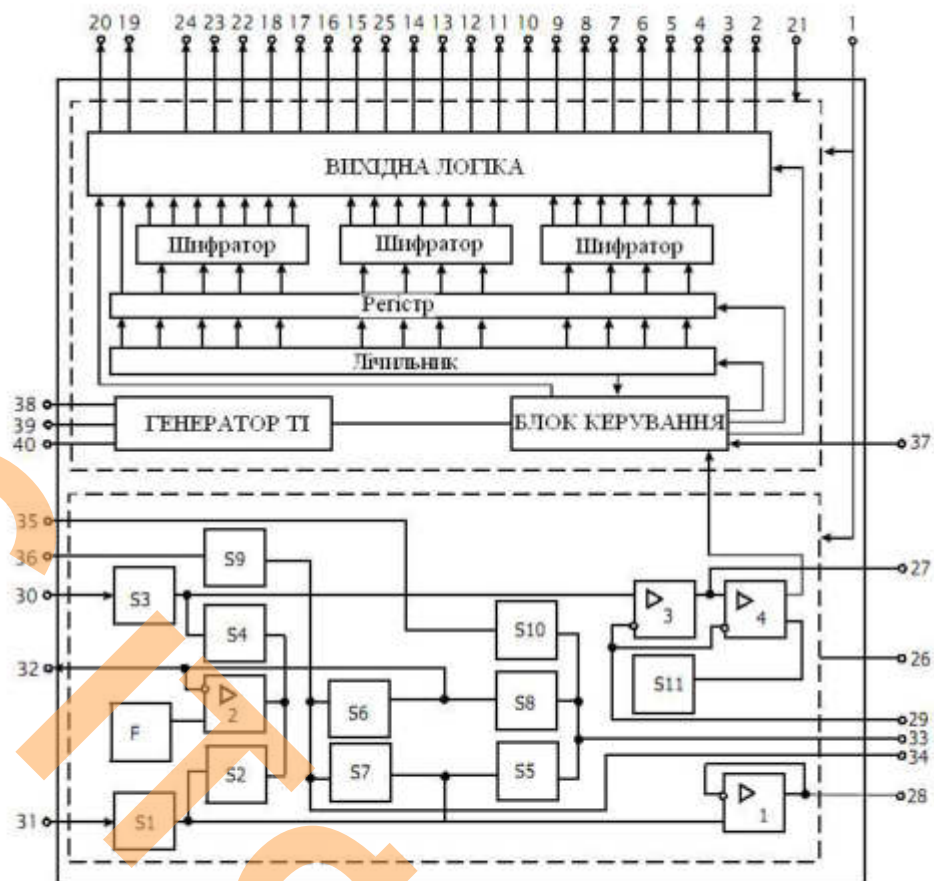


Рис 4.6 Схема електрична принципіальна мікросхеми КР572ПВ2А

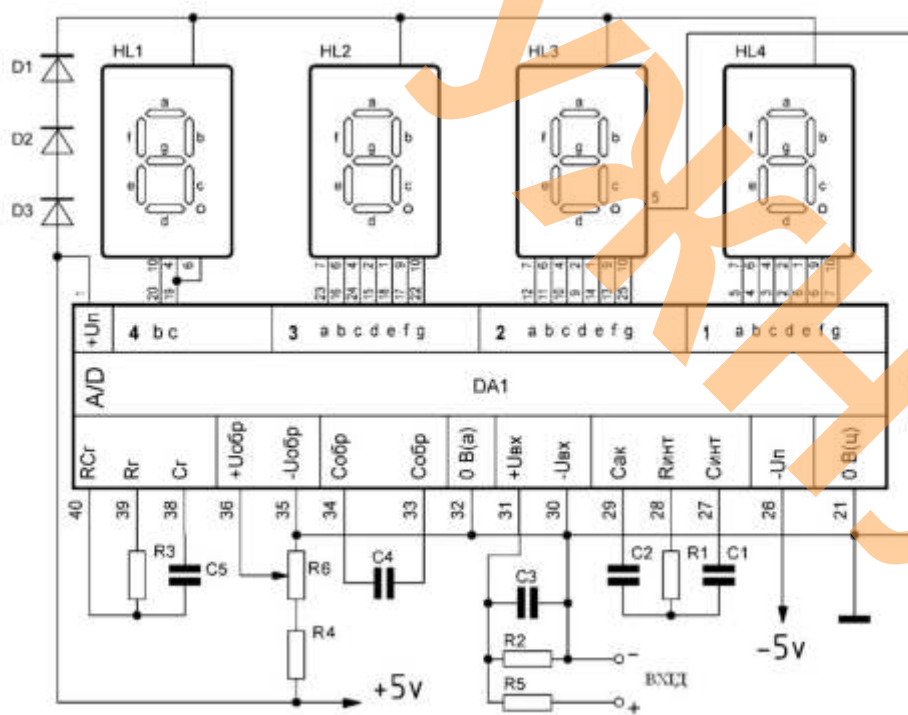


Рис 4.7 Базова схема електрична принципіальна мікросхеми КР572ПВ2.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

У таблиці 2 наведені номінали елементів схеми для виконання при значенні тактової частоти $f_{\text{такт}} = 50$ кГц.

Таблиця 4.4.2.

	100,0 мВ	1,000 В
C1	0,1 мкФ $\pm$ 5%	0,1 мкФ $\pm$ 5%
C2	0,47 мкФ $\pm$ 5%	0,047 мкФ $\pm$ 5%
C3	0,01 мкФ $\pm$ 5%	0,01 мкФ $\pm$ 5%
C4	1,0 мкФ $\pm$ 5%	0,1 мкФ $\pm$ 5%
C1	100 пФ $\pm$ 5%	100 пФ $\pm$ 5%
R1	47 кОм $\pm$ 5%	470 кОм $\pm$ 5%
R2	1 мОм $\pm$ 20%	1 мОм $\pm$ 20%
R3	100 кОм $\pm$ 5%	100 кОм $\pm$ 5%

4.5 Розрахунок буферного підсилювача.

Буферний підсилювач слугує для підключення вимірювальних приладів до коливного контура. Перш за все, прилади через підсилювач не повинні впливати на електронні процеси, які протікають в автоколивальному контурі і в пропорції один до одного передавати їх на вхід осцилографа та вольтметра. Для стабільної роботи частотоміра сигнал буде підсилюватися по напрузі.

Основні параметри приладів, які необхідні для розрахунків [1], [2], [3]:

- Вхідний опір та ємність осцилографа С1-99, відповідно до опису - 1 МОм та 25 пФ;
- Ємність з'єднувального кабеля відповідно до ТУ - 100 пФ;
- Вхідний опір та ємність високочастотної детекторної головки вольтметра В7-16А складає 10 пФ та 1 МОм;
- Смуги пропускання осцилографа та вольтметра з детекторною головкою відповідно – 100 МГц та 50 МГц;

- Діапазон вимірювання частот сигналів частотоміром ЧЗ-34 – 10 Гц – 120 МГц, при напрузі вхідного сигналу від 0.1 В до 100 В.

Як показали розрахунки автогенератора, частота його коливань можлива біля 10 МГц, а форма коливань при дослідженні його роботи буде відрізнятися від гармонічної, тому схему спроектуємо широкополосною.

Для підключення осцилографа та вольтметра на виході підсилювача застосуємо каскади на біполярних транзисторах за схемою – спільний колектор, а для частотоміра – спільний емітер. На вході підсилювача використаємо каскад на польовому транзисторі з невеликим коефіцієнтом підсилення по напрузі для компенсації рівня втрат сигналу в колі елементів його підключення до схеми автогенератора. Вхідні та вихідні каскади об'єднаємо за допомогою транзисторного каскаду з парафазним виходом [3]. Відповідно до цього на рис 4.8, зображено схему буферного підсилювача, щоб забезпечити необхідну смугу частот, для схеми вибрано малопотужні високочастотні транзистори, а для каскаду підсилення осцилографа вхідна ємність якого разом з з'єднувальним кабелем становить 120 пФ необхідно вибрати високочастотний транзистор середньої потужності [3], [5]

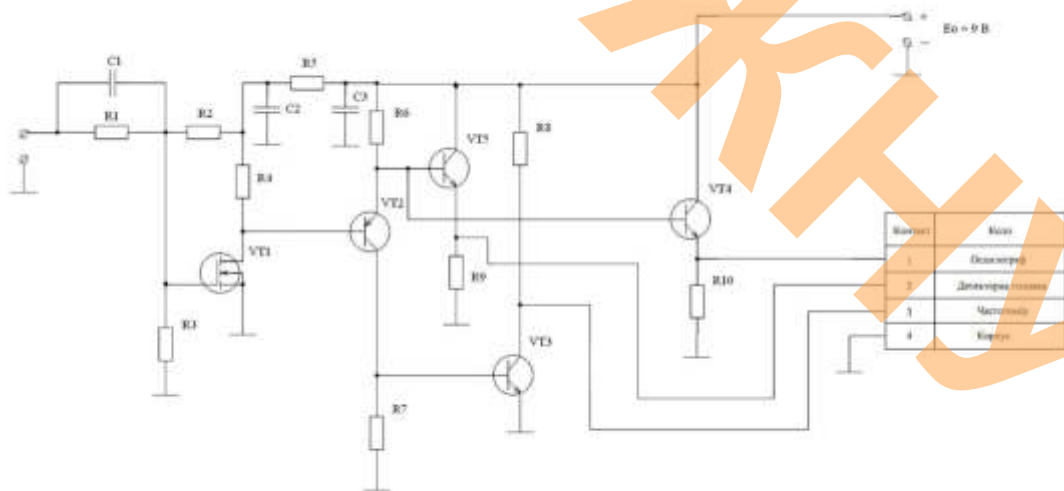


Рис.4.8 Схема буферного підсилювача.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Отже в якості VT5 вибираємо транзистор типу КТ635Б, основні параметри якого наступні [6]:

- Коефіцієнт передачі по струму при $I_K \leq 140 \text{ мА}$, $U_{ке} \geq 1\text{В} - h_{21E} = 140$;
- Гранична частота, коефіцієнт передачі струму при $U_{ке} = 10\text{В}$, $I_K = 50\text{мА}$,
 $f_{гран} = 460\text{МГц}$;
- Ємність колекторного переходу $C_{BE} \leq 90\text{пФ}$;
- Постійна часу кола зворотнього зв'язку – 25 пс;
- Постійна потужність розсіювання на колекторі $P_0 = 0.5\text{Вт}$.

В якості транзистора транзисторів VT3, VT4 вибираємо транзистори типу КТ316Б з параметрами:

- Типове значення граничної частоти при $I_E = 10\text{мА}$, $U_{кб} = 5\text{В}$ –
 $f_{зр} = 1000\text{МГц}$;
- Типове значення постійної часу зворотнього зв'язку – 50нс;
- Коефіцієнт передачі струму при $I_e = 10\text{мА} - h_{21E} = 120$;
- Типове значення колекторного переходу – $C_{бк} = 2\text{пФ}$;
- Типове значення ємності емітерного переходу – $C_{бе} = 1,2\text{пФ}$;
- Максимальний постійний струм колектора – $I_{ко} = 50\text{Ма}$;
- Постійна потужність розсіювання на колекторі – $P_0 = 150\text{мВт}$.

Пара фазний каскад побудуємо на транзисторі типу КТ349В, основні характеристики якого наступні:

- Гранична частота коефіцієнта передачі струму при $U_{кб} = 5\text{В}$, $I_e = 10\text{мА}$, - $f_{зр} \geq 300\text{МГц}$;
- Коефіцієнт передачі струму – $h_{21E} = 40 - 160$;
- Ємність колекторного переходу – $C_{бк} = 6\text{пФ}$;
- Ємність емітерного переходу – $C_{бе} = 8\text{пФ}$;
- Постійна потужність розсіювання на колекторі – $P_0 = 200\text{мВт}$.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Для вхідного каскаду вибираємо транзистор типу КП305Д, основні параметри якого наступні:

- Крутизна характеристики при $I_c = 5 \text{ мА}$, $U_{CB} = 10 \text{ В}$ – $S = (6 - 10) \text{ мА/В}$;
- Коефіцієнт підсилення по потужності при $I_c = 5 \text{ мА}$, $f = 250 \text{ МГц}$ – $K_p \geq 13 \text{ дБ}$;
- Вхідна ємність при $I_c = 5 \text{ мА}$, $U_{CB} = 10 \text{ В}$ – $C_{вх} \leq 5 \text{ пФ}$;
- Прохідна ємність – $C_{пр} \leq 0,8 \text{ пФ}$;
- Типове значення вихідної провідності – $g_{вих} = 150 \text{ мкСм}$;
- Постійна потужність розсіювання – $P_0 = 150 \text{ мВт}$.

Розрахуємо режими роботи схеми за постійним струмом. Як свідчать попередні розрахунки, амплітуда коливань на виході автогенератора може досягати сотень мілівольт і дещо більше у схемі з частковим включенням діода в контур. А тому, для передачі неспотворених коливань від автогенератора до вимірювальних приладів з амплітудою порядку одного – двох вольт, вибираємо напругу живлення 9 вольт. Тоді для роботи транзисторів, включених по схемі з спільним колектором, в лінійному режимі необхідно задати напругу між емітером та колектором:

$$U_{KE} = \frac{E_0}{2} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ В}.$$

Вибираємо номінал резистора $R_{10} = 100 \text{ Ом}$, тоді струм через транзистор VT5 в робочій точці спокою:

$$I_{E05} = \frac{U_{R10}}{R_{10}} = \frac{4,5}{100} \text{ мА}.$$

Потужність розсіювання на транзисторі VT5:

$$P_{05} = U_{KE} \cdot I_{05} = 4,5 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 0,2025 \text{ Вт} < 0,5 \text{ Вт}.$$

Номінал резистора R9 вибираємо з урахуванням того, що вхідна ємність детекторної головки вольтметра, яка під'єднується безпосередньо до макета, суттєво менша. Тоді $R_9 = 680 \text{ Ом}$. Постійний струм в робочій точці спокою транзистора VT4:

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$I_{E04} = \frac{U_{R9}}{R9} = \frac{4,5}{680} = 6,6 \text{ мА}$$

Потужність розсіювання на транзисторі VT4:

$$P_{04} = U_{KE} \cdot I_{05} = 4,5 \cdot 6,6 \cdot 10^{-3} \approx 30 \text{ мВт} < 150 \text{ мВт}.$$

Визначимо значення вхідних опорів цих каскадів на низьких частотах за формулою [3]:

$$z_{ex} = h_{21E} \left(\frac{1}{S} + R_E \right), \text{ де } S = \frac{I_K}{U_T} = \frac{I_K}{26 \text{ мВ}}$$

тоді значення вхідних опорів: $Z_{ex05}=14 \text{ кОм}$ та $Z_{ex04}=55 \text{ кОм}$ відповідно.

Для підтримання заданої напруги на емітерах транзисторів VT5, VT4, напруга на емітері VT2:

$$U_{E02} \approx U_{E05} + 0,7 = 4,5 + 0,7 = 5,2 \text{ В.}$$

Задаємо струм через транзистор VT2 $I_{E05} = 10 \text{ мА}$, тоді опір $R6=380 \text{ Ом}$, тоді вибираємо стандартний номінал $R6=390 \text{ Ом} \ll Z_{ex04,05}$, тобто, на постійному струмі і на низьких частотах, режим роботи визначається саме номіналом резистора R6.

Для знаходження транзистора VT3 в активному режимі, в точці спокою вибираємо значення постійного струму колектора $I_{K_VT3} = 5 \text{ мА}$. Задаємо значення напруги на колекторі $U_{K_VT3} = 4,5 \text{ В}$, тоді значення опору резистора:

$$R_8 = \frac{E_0 - U_{K_VT3}}{I_{K_VT3}} = \frac{4,5}{5 \cdot 10^{-3}} = 900 \text{ Ом.}$$

Стандартний номінал резистора $R8 = 910 \text{ Ом}$. Необхідне зміщення на базу в цьому випадку $U_{EБ0_VT3} \approx 0,7 \text{ В}$. Значення опору резистора R7 для забезпечення цієї напруги зміщення знайдемо за виразом:

$$R_7 = \frac{U_{EБ0_VT3}}{I_{E02}} = \frac{0,7}{10 \cdot 10^{-3}} = 70 \text{ Ом.}$$

Стандартний номінал резистора $R7=68 \text{ Ом}$.

Вихідний опір транзистора VT3 для визначеного режиму:

$$Z_{BxVT3} = h_{21E} \frac{U_T}{I_{K_VT3}} = 120 \cdot \frac{26 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 624 \text{ Ом,}$$

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

що на порядок більше опору резистора R7, на якому утворюються напруги зміщення і сигналу.

Коефіцієнт підсилення каскаду на транзисторі VT3 за напругою [3]:

$$K_{U_VT3} = S \left(\frac{R_8 \cdot r_{KE}}{R_8 + r_{KE}} \right), \text{ де } S = \frac{I_{KVT3}}{U_T} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-3}} = 0,19 \frac{A}{B} - \text{крутизна, } r_{KE} -$$

диференціальний вихідний опір транзистора, $r_{KE} = \frac{U_{ER}}{I_{KVT3}} = \frac{80}{5 \cdot 10^{-3}} = 16 \text{ кОм}$.

$$\text{Тоді } K_{UVT3} = 0,19 \left(\frac{910 \cdot 16 \cdot 10^3}{910 + 16 \cdot 10^3} \right) = 163.$$

Коефіцієнт передачі напруги каскадом на транзисторі VT2 (через його колекторну ділянку) [3]:

$$K_{UKVT2} \approx \frac{R_7}{R_6 + \frac{1}{S} + \frac{R_7}{\mu}} = \frac{68}{330 + \frac{26 \cdot 3}{10 \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{3000}} = 0,2,$$

тут μ - коефіцієнт максимального підсилення, для р-п-р транзисторів він складає 1500... 5000.

Загальний коефіцієнт підсилення цих каскадів на низьких частотах:

$$K_{UVT3} \cdot K_{UKVT2} = 163 \cdot 0,2 \approx 33.$$

При чутливості 0,1 В, частотомір має працювати коли сигнал на виході каскадів перевищує 0,3 мВ. За максимальної амплітуди на цьому вході, амплітуда напруги на вході транзистора буде:

$$2 \cdot K_{UKVT2} = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ В}$$

і транзистор буде працювати у імпульсному режимі без суттєвого насичення, що добре відіб'ється на швидкодії [5].

Розрахунки схеми проведено для постійного струму та середніх частот, а характеристики на високих частотах перевіряються після виготовлення макета підсилювача, так як при проведенні розрахунків для ВЧ необхідно враховувати ємності та індуктивності елементів мотажу та інші параметри схеми, які не піддаються точному обчисленні.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

5. КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1. Визначення контактних площадок, розмірів друкованих провідників

Розміщення ЕРЕ на платі регламентується умовно координатною сіткою із взаємо перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної.

Кроком координатної сітки вибираємо 2,5 мм.

Навісні елементи мають вводи прямокутного або круглого перерізу. Діаметр монтажного отвору вибирають із умов: якщо діаметр виводу $d_B > 1 \text{ мм}$ тоді $d_0 = d_B + (0.3 - 0.4)$; і якщо $d_B \leq 1 \text{ мм}$ тоді $d_0 = d_B + (0.2 - 0.3)$.

Згідно ГОСТ 10317-79 номіналний діаметр монтажного отвору з урахуванням його металізації для виводів діаметром

0,4-0,6 мм становить 0,8+0,1 мм

0,6-0,8 мм становить 1,0+0,1 мм

0,8-1,3 мм становить 1,5 мм

1,3-1,7 мм становить 2 мм

1,7-2,2 мм становить 2,5 мм

Діаметр металізованого отвору залежить і від товщини плати. Це пов'язано з тим, що при гальванічному осадженні металу на стінках отвору малого діаметру зробленого в товстій платі, товщина шару металу вийде нерівномірною і при великому відношенні товщини плати до діаметра отвору деякі місця можуть залишитись непокритими. Діаметр металізованого отвору повинен складати не менше половини товщини плати, отже повинна виконуватись наступна умова:

$$0,4h \leq d_{\min} \quad (6.2)$$

де h – товщина плати

$d_{\min}$ – діаметр найменшого із металізованих отворів

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Виходячи з таблиці 3.1 і з формули (6.2) діаметр найменшого отвору рівне 0,6 мм, а товщина плати рівне 1,5 мм.

Контактні площадкі забезпечують надійну з'єднань між металізованного отвору і друкованного провідника. виготовляють у вигляді кільця. Діаметр контактної площадки визначається з таблиці 3.2

Таблиця 5.1.1 Рекомендовані діаметри контактних площадок

Діаметр отворів	0,6	0,8	1	1,3	1,5	2
Контактних площадок	1,8	2,3	2,5	2,8	3	3,5

Діаметр перехідних отворів залежить від товщини плати і від виду металізуючої електроліту.

$$D_{\text{пер}} = N * \gamma \quad (6.3)$$

N – товщина плати

γ – коеф. яке залежить від електроліту

Для пірофосфатного електроліту $\gamma=0,25$, тому $D_{\text{пер}}=1,5*0,25=0,3$

Клас густини рисунка вибирається по ГОСТу. я вибирав другий. ширина провідників для цього класу рівне $t_{\text{min}}=0,25$ мм, а відстань між провідниками теж рівне 0,25 мм.

Визначимо товщину шини живлення. Знаючи, що сила струму рівне 0,35 А, враховуючи, що перетин провідника рівне 50мм, і що густина струму не може бути більшою як 25 А/мм², ширина провідника буде рівним :

$$t = I_{\text{зар}} / (h * p_1) = 0.35 / (0.05 * 25) = 0,28 \quad (6.4)$$

Шини землі буде рівним 1мм.

Тобто максимальний струм, який при проходженні по доріжці викликає її перегрів на температуру 25°C рівне:

$$I_{\text{max}} = 25 * ab = 25 * 1 * 0.05 = 1.25 \text{ А.}$$

5.2. Тепловий розрахунок.

Тепловий режим апаратури характеризується залежністю температури нагріву відносно навколишнього середовища від розсіювання потужності джерела енергії.

Температура навколишнього середовища дуже впливає на надійність пристрою. Цей вплив пояснюється максимально допустимою температурою інтегральних мікросхем.

Використовуючи дані, отримані у розділі XXX проведемо аналіз потужностей розсіювання на елементах пристрою(елементи на яких за теоретичними розрахунками потужність розсіювання буде дуже малою – знехтувані).

Оскільки даний пристрій буде виконаний на трьох модулях, то і аналіз проведемо відповідно.

Блок живлення:

Таблиця 5.1.2

DA1	LM7809	0,24 Вт
DA2	LM7805	0,175 Вт
DA3	LM7909	0,1 Вт
DA4	LM317	0,08 Вт
R1	МЛТ – 0,125	0,05 Вт

Сумарна потужність: 0,645 Вт.

Автогенератор та буферний підсилювач:

Таблиця 5.1.3

VT1	2П305А	0,150 Вт
VT2	КТ348А	0,2 Вт
VT3	2Т316А-1	0,125 Вт
VT4	2Т316А-1	0,125 Вт
VT5	2Т635А	0,5 Вт

Сумарна потужність: 1,1 Вт.

5.3. Розрахунок характеристик надійності пристрою.

У відповідності до вимог забезпечення надійності (ГОСТ В 20.39.309-98) при проектуванні на різних етапах розробки проводиться наближений, або уточнений розрахунок надійності апаратури.

При проведенні наближеної оцінки надійності апаратури рекомендується використовувати усереднені значення експлуатаційної інтенсивності відмови основних груп виробів (λ_e), приведені у спеціальному розділі довідника [18]. Ці значення розраховані для чотирнадцяти груп апаратури по ГОСТ В 20.39.304-76 або ГОСТ В 20.39.304-98 при температурі оточуючого середовища в апаратурі у відповідності із даними довідника.

У таблиці 5.2.1 наведені усереднені значення експлуатаційної інтенсивності відмови груп виробів які входять у схему даного пристрою пораховані для температури 30° С.

Таблиця 5.2.1

Позиційне познач.	Найменування	Кількість	λ_e , 10 ⁻⁶
Мікросхеми інтегральні напівпровідникові, аналогові			
DA1 – DA4	LM7809, LM317	4	0,208
Мікросхеми інтегральні напівпровідникові, цифрові			
DD1	KP572ПВ2	1	0,03
Індикатори напівпровідникові, цифрові			
HG1 – HG4	АЛС324Б	4	0,36
Резистори змінні, метало-оксидні			
R2, R4, R13,	СП5	3	0,0696

Продовження таблиці 5.2.1

Резистори постійні, плівкові

R1 – R25

МЛТ-0,125, 0,25

25

1,2

Діоди напівпровідникові, випрямляючі

VD1 – VD12

КД206

12

0,7104

Діоди напівпровідникові, НВЧ, арсенід-галія

VD13

АИ301А

1

0,0610

Транзистори біполярні, кремнієві

VT2 – VT5

КТ349А

КТ316А

КТ635А

4

0,3

Транзистори польові, кремнієві

VT1

КП305А

1

0,0430

Всього, $\Sigma\lambda$, 10^{-6} 1/Год.

2,982

Напрацювання на відмову, год

33534,5

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ

Арк.

47

6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СПРОЕКТОВАНОГО ПРИЛАДУ

Перехід народного господарства на ринкові відносини має на меті створення економичних важелів для ефективного діючого виробництва як з точки зору раціонального використання ресурсів, так і з точки зору неупинного прискорення науково – технічного прогресу і повного задоволення потреб виробників і споживачів.

Основним результатом постановлених задач повинно стати підвищення якості усіх видів продукції й забезпечення її конкурентноздатністю

Практичне припинення за останні роки приладобудівного виробництва, в тому числі й приладів аналітичної техніки, робить неможливи здійснити об'єктивний розрахунок економічної ефективності розробки приладу, тому її розрахунок носить оціночий характер.

Рівень якості конструкції характеризується системою техніко-економічних показників, номенклатура яких залежить від виду і призначення продукції. Для оцінки рівня якості спроектованої техніки необхідно витрати базового взірця (аналога), розрахувати показники технологічності для спроектованого приладу, заставити їх з показниками аналога. До показників технологічності відносять коефіцієнт матеріаломісткості виробу, коефіцієнт стандартизації виробу, уніфікації, коефіцієнт повторюваності складових частин, коефіцієнт збіжності.

6.1. Розрахунок собівартості виготовлення спроектованого приладу

Собівартість продукції – це витрати на її виробництво і реалізацію, що включають в себе вартість витрачених сировини і матеріалів, заробітну плату працівників, витрати по утриманню й експлуатації устаткування та інші поточні витрати.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Проведемо розрахунок собівартості виготовлення спроектованого приладу у вигляді калькуляції. Оскільки даний лабораторний макет не планується для серійного виробництва, а буде виготовлятися кафедрою тільки під замовлення інститутів та університетів то у даному розділі буде наведена тільки калькуляція собівартості спроектованого приладу не враховуючи витрати на заробітні плати чи інше.

Табл. 6.1.1 Калькуляція собівартості спроектованого приладу

№ п/п	Стаття Витрат	Сума, грн
1	Основні матеріали	26,24
2	Покупні комплектуючі вироби і напівфабрикати	324,46
3	Інші виробничі витрати	0,51

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

Розрахунок кількості і вартості матеріалів представлений у вигляді таблиці 6.1.

Табл 6.1.2 Розрахунок кількості і вартості матеріалів що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

№ п/п	Найменування, матеріалу	Профіль, сорт, марка, розмір, ГОСТ, ДСТУ, ТУ	Одиниця вимірювання	Кількість, кг	Ціна за одиницю, грн	Сума
1	Склотекстоліт	СФ-2-50Г-1,5ГОСТ 10316-78	КГ	0,0808	66	5,3
2	Сплав «Розе»	ТУ6-09-4065-75	КГ	0,02	257	5,14
3	Припій	ПОС-61 ГОСТ 21931-76	КГ	0,05	240	12
4	Емаль	МЛ-115 ГОСТ 3548-82	КГ	0,004	105	0,38
	Разом					22,82
	Зворотні відходи (1-5% від вартості)					1,14

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

	матеріалів)				
	Транспортно-заготівельні витрати (7-10% від загальної вартості матеріалів)				2,28
	Разом				26,24

6.3. Розрахунок кількості й вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Розрахунок кількості і вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів представлений у вигляді табл 7.1.2.1.

Табл 6.3.1 Розрахунок кількості і вартості покупних комплектуючих виробів напівфабрикатів на виготовлення спроектованого приладу

№ п/ п	Найменування покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів	Марка, Розмір, ГОСТ, ДСТУ, ТУ	Одиниця вимірювань	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
	<u>Конденсатори</u>					
1	K73-17-63B-10 мкФ ±10%	ОЖО.461.104 ТУ	шт	6	6,20	37,2

2	КМ-36-Н30-0,1 мкФ $\pm 20\%$	ОЖО.460.043 ТУ	шт	4	1,80	12,96
3	КЛС 10 нФ $\pm 10\%$	ОЖО.460.043 ТУ	шт	1	0,5	0,5
4	КЛС 130 нФ $\pm 10\%$	ОЖО.460.043 ТУ	шт	1	0,6	0,6
5	КЛС 47 нФ $\pm 10\%$	ОЖО.460.043 ТУ	шт	1	0,5	0,5
6	КЛС 3 нФ $\pm 10\%$	ОЖО.460.043 ТУ	шт	1	0,5	0,5
	<u>Мікросхеми</u>					
7	LM7809	---	шт	1	2	2
8	LM7909	---	шт	1	2	2
9	LM7805	---	шт	1	2	2
10	LM317	---	шт	1	5	5
11	КР572ПВ2	6КО.348.432-4ТУ	шт	1	25	25
	<u>Резистори</u>					
12	МЛТ - 0.125 Вт $\pm 2\%$	ОЖО.468.351ТУ	шт	17	0,10	1,7
13	МЛТ - 0,25Вт $\pm 5\%$	ОЖО.467.180ТУ	шт	4	0,5	2
14	СП5-3-1Вт $\pm 10\%$	ОЖО.468.559ТУ	шт	4	15	15
	<u>Діоди</u>					
15	КД206	ТРЗ.360.006 ТУ	шт	12	0,5	6
	<u>Світлодіоди</u>					
16	АЛ307АМ	ААО.336.076	шт	1	5	5
	<u>Транзистори</u>					
17	2П305А	ТФ0.336.001ТУ	шт	1	5	5
18	КТ349А	аАО.339.248ТУ	шт	1	3	3
19	2Т316А-1	ГЕЗ.365.002ТУ	шт	2	2,6	5,2
20	2Т635А	аАО.339.051ТУ	шт	1	3	3
	<u>Вимірювальні прилади</u>					
21	М265М	ГОСТ 8711-78	шт	1	50	50
	<u>Трансформатор</u>					

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

	ТПП297	ВУШК.671110.00 ІТУ	шт	1	80	80
	<u>Розєм</u>					
22	CP-50-165ФВ	ГОСТ В 20.39.404.- 81	шт	3	20	60

Таблиця 6.3.2

	Разом					74,34
	Транспортно – заготівельні витрати (7-10% від загальної вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів)					7,43
	Разом					81,77

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

7. ЗАХОДИ ПО ПЛАНУВАННЮ, ТЕХНІЦІ БЕЗПЕКИ ТА ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1. Охорона праці. Характеристика небезпечних і шкідливих факторів на всіх етапах технологічного процесу, монтажу і експлуатації.

Після обробки поверхонь деталей механічними методами (шліфовка, різка і т.д.) часто використовують ефективні хімічні методи очистки поверхні (знежирення, травлення і т.д.) - при цьому використовують небезпечні і отруйні речовини, їх вплив залежить від функціональних властивостей, агрегатного стану, класу шкідливості, часу і характеру впливу, засобів загального та індивідуального захисту.

При знежиренні використовують їдкі луги, горючі розчинники (бензин, ацетон, трихлоретан, толуол, бензол, спирти).

При травленні небезпечними є сірчана, азотна, ортофосфорна кислоти. Виникає загроза ентерального отруєння, хімічних опіків, отруєння в наслідок вдихання парів цих кислот. Процеси гальванічної обробки супроводжуються виділенням з поверхні ванн водню та кисню, що захвачують за собою пари електроліту, окиси металів, солі, органічні сполуки. Останні сильно забруднюють повітря гальванічного цеху.

Все це відповідає нормативному акту з питань охорони праці (НАОП) 1.4.32-2.63-77 (ОСТ4ГО.091.228-77): "Вимоги до ступеню очищення вентиляційних викидів з гальванічних цехів"; НАОП 1.4.32-2.58-78 (ОСТ114ГО.0.91.249-78): "Легкозаймисті, горючі, хімічно-небезпечні та шкідливі речовини. Вимоги безпеки при зберіганні, транспортуванні та використанні". Монтаж електричних схем приладів, радіоапаратури ведеться з застосуванням різних видів пайки. Кожному різновиду пайки характерні певні шкідливі і небезпечні фізичні фактори, що відрізняються як кількістю так і якістю характеристик. При цьому деякі види пайки продукують декілька таких фізичних факторів, що ведуть до погіршення здоров'я працівників, підвищення

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

травматизму, погіршення умов праці, виникнення пожеж і вибухів. Такими потенційно-шкідливими є: запиленість і загазованість повітря робочої зони; інфрачервоне випромінювання від розплавленого припою; високочастотне електромагнітне випромінювання; ультразвукове випромінювання від паяльника при пайці хвилею; дія електростатичного заряду; неоптимальна освітленість робочих зон; незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні; вплив бризг капель розплавленого припою; ураження електричним струмом.

Враховуючи не абияку шкідливість вихідних компонентів, до приміщення, де виконується паяння пред'являють особливі вимоги: НАОП 1.4.32-2.87-81 (ОСТ 25 2191-81); "Паяння свинцево олов'яними припоями. Вимоги безпеки"; НАОП 1.4.32-2.82-84 (ОСТ 25 1159-84): "виробництво друкованих плат. Вимоги безпеки".

7.2. Основні заходи безпеки та вилучення передбачуваних шкідливих факторів на всіх етапах технологічного процесу, монтажу і експлуатації..

Для створення безпечних умов праці необхідно виконання відповідних заходів у відповідності з ГОСТ 12.3.008-75.

Основні вимоги безпеки технологічних процесів включають слідуючі аспекти:

- усунення безпосереднього контакту працюючих з матеріалами, що мають шкідливий вплив;
- заміна небезпечних і шкідливих технологічних процесів і операцій на менш небезпечні, чи зовсім безпечні;
- використання комплексної механізації і автоматизації виробництва, дистанційне управління особливо шкідливими процесами і операціями;
- раціональна організація праці і відпочинку;
- впровадження систем контролю і управління технологічними процесами, що забезпечують захист працівників (аварійне відключення виробничого обладнання);
- своєчасне видалення і знешкодження шкідливих відходів виробництва.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Важлива і обов'язкова умова забезпечення безпеки - викладення умов безпеки в технологічній документації. Повнота викладу контролюється методичними вказівками: "РД 50-134-78".

Існує ряд загальних стандартів, якими треба користуватися:

-для приміщень: "Будівельні норми і правила":

- для обладнання - ГОСТ 12.2.003-74: "Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки";

-ГОСТ 12.1 .004-76 "Пожежна безпека. Загальні вимоги";

-ГОСТІ 2.1.010-76 "Вибухобезпека. Загальні вимоги".

Основні заходи по охороні праці (ОП) при роботах з хімічними речовинами і матеріалами:

- автоматизація і механізація технологічних процесів: найбільший рівень безпеки в масовому виробництві - поточні лінії: автоматизовані системи для пайки, травлення, обезжирення;

- герметизація обладнання в спеціальних боксах, шафах, що обладнані ефективною вентиляцією;

-заміна токсичних, отруйних, горючих речовин на менш небезпечні.

Від кислот і лугів захищаються гумовими або поліхлорвініловими фартухами, чоботами. При роботі з токсичними і отруйними речовинами використовують засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Отруйні і токсичні речовини перевозять в спеціальній тарі на теліжках із швидкістю < 5 км/год.

Вдихання хімічних речовин в газоподібному стані приводить до пошкодження верхніх дихальних шляхів і до загально токсичного впливу при всмоктуванні в кров.

При різних операціях можуть поступати в атмосферу промислові речовини, що відносяться до першого класу безпеки. Так трихлоретан при дії світла перетворюється на фосген, що є дуже небезпечним.

При всіх операціях пайки в повітря можуть попадати пари олова та свинцю, пари соляної кислоти, окис вуглецю, вуглеводень та інше. Особливо

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

шкідливий свинець та його сполуки. При попаданні в організм він акумулюється в кістках, м'язах, печінці. Результатом є свинцеве отруєння.

Пайка з використанням флюсів і їх біологічний вплив залежить від складу:

- каніфоль - подразнюючий вплив;
- спирти - наркотичний ефект;
- етиленгліколь - токсичний

вплив. Основні заходи:

1. Водонепроникна підлога з нахилом для стоку в каналізацію.
2. При ручній пайці використовувати паяльники живленням до 42 В.
3. Різні технологічні операції виконувати в різних приміщеннях.
4. Використані серветки спалюють і повторно не використовують,
5. Експлуатація цехів і приміщень тільки при наявності приточно - відточної вентиляції.
6. Не допускати до роботи з припоями осіб до 18 років і вагітних.

Для захисту шкіри рук від речовин, що входять до складу флюсів, використовують захисні мазі і пасти (мазь "Миколан", пасти - ИЕП-1, казеїнова).

Все вищеописане відповідає наступним НАОП:

- НАОП 1.4.32-2.67-84 (ОСТ 11073.062-84);
- НАОП 1.4.32-2.39-85 (ОСТ 11 120005-85);
- НАОП 1.4.32-2.21-80 (ОСТ 11 091.700-80);
- НАОП 1.4.32-2.63-77 (ОСТ4ГО. 091.228-77).

7.3. Розрахунок необхідного повітряного обміну для промислової вентиляції.

Розрахунок необхідного повітряного обміну ведеться по наступним факторам: по кількості працюючих; по надходженню в повітря робочої зони шкідливих газів, парів та пилу; по виділенню вологи; по теплонадлишкам.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

По першому фактору розрахунок кількості повітря (м /год) вираховується лише при нормальному мікрокліматі і відсутності в повітрі шкідливих речовин, чи вмісту їх в межах допустимих норм.

Обмін повітря визначається по формулі:

$$L=nL' \quad (8.1)$$

де n - число працюючих;

L' - витрати повітря на одного працюючого (для об'ємів приміщення 20 м³ і більше на одного працюючого).

Для $n = 50$ чел., та $L = 20$ м /год (для об'ємів приміщення 20 м³ і більше на одного працюючого в промислових приміщеннях):

$$L=22*20=440 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.2)$$

По другому фактору необхідний обмін повітря визначається по формулі:

$$(8.3)$$

де $q_{\text{мк}}$ - інтенсивність надходження шкідливої речовини в повітря робочої зони;

Z_1 - гранично допустима концентрація (ГДК) даної речовини (в мг/м³);

Z_2 - концентрація шкідливих речовин в повітрі, що надходять (в мг/м³).

Концентрація Z_2 повинна бути мінімальною, що по санітарним нормам відповідає формулі: $Z_2 < 0,3Z_1$.

Враховуючи високу шкідливість компонентів, що входять до складу припою і знаходяться в парогазовому стані, розраховується L для слідуючих елементів:

а) свинець - клас шкідливості 1-й, ГДК в повітрі робочої зони 0,01 мг/м³;

б) олово - клас шкідливості 3-й, ГДК в повітрі робочої зони 10 мг/м³;

с) цинк - клас шкідливості 2-й, ГДК в повітрі робочої зони 0,5 мг/м³ ;

д) мідь - клас шкідливості 2-й, ГДК в повітрі робочої зони 1 мг/м³.

$$\text{Для свинцю : } L_c = \frac{10}{0.01 - 0.3 * 0.01} = 1429 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right) \quad (8.4)$$

Для цинку: (8.5)

Для олова: (8.6)

Для міді: (8.7)

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

У відповідності з СН 245-71 при одночасному надходженні в повітря приміщення декількох шкідливих речовин однонаправленої дії розрахунок вентиляції виконується сумуванням об'ємів повітря, необхідного для розбавлення кожної речовини окремо до допустимих концентрацій.

$$L = L_C + L_O + L_M + L_U = 1429 + 1,4 + 28,6 + 1,4 = 1460,4 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (8.8)$$

По третьому фактору розрахунок виконується по формулі:

$$L = \frac{m \cdot q_v}{q_y - q_n} \quad (8.9)$$

де $m = 0,8$ при висоті приміщення $n = 5 \div 3 \text{ м}$;

q_v - кількість вологи, що виділяється в приміщенні

(візьмемо $q_v = 150 \text{ г/м}^3$);

q_y - вологість повітря, що виділяється з приміщення

(візьмемо $q_y = 130 \text{ г/м}^3$);

q_n - вологість повітря (візьмемо $q_n = 100 \text{ г/м}^3$)

$$L = \frac{0,8 \cdot 150}{130 - 100} = 4 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right)$$

По четвертому фактору обмін повітря розраховують по формулі :

$$L = \frac{Q}{c \cdot (t_y - t_n) \cdot \rho} \quad (8.10)$$

де Q - надлишок тепла в приміщенні в Дж/год;

c — теплоємність повітря в Дж/кг·К;

ρ - густина повітря в кг/м³;

t_y і t_n температура відкачуючого і нагнітаемого повітря відповідно

$$L = \frac{15000}{1007 \cdot (30 - 20) \cdot 1,206} = 12,35 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right) \quad (8.11)$$

Загальний необхідний повітрообмін для промислової вентиляції при виробництві спроектованого пристрою:

$$L_{\text{заг}} = 1000 + 1460,4 + 4 + 12,35 = 2476,75 \text{ (м}^3/\text{год)}. \quad (8.12)$$

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

7.4. Захист навколишнього середовища.

Охороні навколишнього середовища з кожним роком приділяється все більше уваги, що обумовлено в першу чергу різким зростанням шкідливих викидів, що наносять біосфері великих, часто не відновлюваних втрат.

В електронній техніці використовується широка гамма матеріалів. Вже на етапі розробки нових видів продукції слід передбачити можливість її повторної переробки. Вироби повинні мати тривалий строк використання, піддаватися ремонту та демонтажу або повторному використанню.

Одним із завдань дипломного проекту була розробка друкованої плати. Процес виготовлення друкованої плати складається з декількох етапів і характеризується використанням різних хімічних речовин. При виготовленні друкованої плати застосовується багатованнова промивка, що забезпечує раціональне використання води. При скиданні її у водоймища необхідно досліджувати як самі стоки, так і воду в водоймищі. Необхідно використовувати замкнуті водоохоронні цикли.

Обладнання для нанесення електролітичних, хімічних та анодизаційних поверхонь має відповідати вимогам до обладнання згідно ГОСТ 12.3.008 - 75 та ГОСТ 12.2.003-74.

Обладнання для низькотемпературної пайки, лудіння та робочі місця мають відповідати вимогам "Санітарні правила організації процесів пайки дрібних виробів сплавами, що містять свинець". Вони повинні мати місцеву витяжну вентиляцію, оснащену звуковою або світловою сигналізацією, що попереджає про припинення відносу повітря.

Всі пристрої для підключення та перемикання електричних кіл потрібно захищати кожухами.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

8. ВИСНОВОК

В процесі виконання кваліфікаційної роботи магістра «Лабораторний макет для дослідження автогенераторів на тунельному діоді», виходячи із поставлених у технічному завданні вимог, проведений повний аналіз завдання та мети роботи, а також критичний огляд існуючих аналогів, на основі чого:

- Розроблена електрична структурна схема вимірювального приладу;
- Спроектована електрична принципова схема лабораторного макету.
- Розроблені друковані плати приладу.
- Були проведені базові розрахунки.
- Вибрана сучасна та доступна елементна база для проектування схеми, та пропонуються прилади які є у розпорядженні кафедри.

Одержані результати не виходять з рамок магістерської роботи і достатні для проведення проектно-конструкторських робіт по проектуванню лабораторного макету для дослідження автогенератора на тунельному діоді.

До основних параметрів та характеристик проектного пристрою можемо віднести наступні:

- Відсутність аналогів макету;
- Можливість оперативного зняття ВАХ тунельного діода та проведення практичних досліджень стабільності роботи автогенератора тої чи іншої схеми;
- Можливість одночасного спостереження ряду параметрів, а саме: осцилограми сигналу генерації, частоти, ефективного значення високочастотної напруги генерації, постійних напруги та струму задання робочої точки.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. LM317 3 –Terminal Positive Adjustable Regulator. Fairchild semiconductor Corp, june 2005.
2. LM350 3 –Terminal 3A Positive Adjustable Regulator. Fairchild semiconductor Corp, 2001.
3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника м., ДМК Пресс, 2007. Ulrich Tietze, Christoph Schenk, Eberhard Gamm., Halbleiter-Schaltungstechnik, Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 2019
4. Rentyuk V. Simple Temperature – stabilized Constant-Current Source. Electronics World, November 2006.
5. П. Хоровіц, У. Хілл. Мистецтво електротехніки. Т.т. 1-2., 1998.
6. Напівпровідникові прилади: Транзистори. Довідник / В. Л. Аронов, А. В. Баюков, А. А. Зайцев та ін. За заг. ред. Н. Н. Горюнова. - 2-ге вид., : Енергоатомвидат, 1985.
7. Довідник Резистори . Четвертакова В. М. Терехова М., Радіо та зв'язок , 1991.
8. С1 - 99 Осциллограф универсальный. Технічний опис, та опис з користування. Альбом № 1. 1995
9. Частотометр електронний ЧЗ-34. Технічний опис. Альбом № 1.
10. Вольтметр универсальный В7-16А. Технічний опис. Рекомендації користуванн. амд 2.710.000 ТО

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

11. Н. Н. Гознов. Схеми на тунельних діодах., Енергія, 1965.
12. Янчук Е. В. Тунельні діоди в приймально-передаючих пристроях, Енергія 1967.
13. Короткий довідник конструювання РЕА. Варлаамова Р. Г., Радіо 1972.
14. Інтегральні мікросхеми: мікросхеми для лінійних джерел живлення. Видання друге, доповнене.
КРМ ЕС 10749960 (Міщенко 2023)
15. В. В. Смирнов. Генератори на тунельних діодах. , Енергія 1971.
16. Генератор на діоді з відємним опором. Навчальне видання, Київ 1997.
17. Пасинков В. В., Чирикін Л. К. Напівпровідникові прилади – 4-те вид. – К.: Вищ. шк., 1987.
18. Довідник. Надійність РЕА. 2004.

	Виконав				КРМ.ЕС 10750029.003 ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Марина Івасюк

Студента (-ки) 2 курсу
спеціальності електроніка
Івасюк В.Г.Ч.
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Івасюк Вікторія-Чесла Чеславна
(прізвище, ім'я, по батькові),

Студент(-ка) заочної форми навчання ІТФ, 2-го курсу
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: _____

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.

17.12.2023
Дата

В.Г.Ч.
Підпис

Додаток 2.

ДОВІДКА

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

Автор роботи	Дроб Вікторія-Чабань Чабань
Назва роботи	Лабораторний макет для дослідження об'ємного резонатора на тунелічному з'єднанні
Спеціальність	ІТ Електроніка
Курс	І
Факультет	інженерно-технічний
Кафедра	електронних систем
Керівник роботи	Олександр Сосицький
Роботу перевірено в програмі	Unicheck
Додано до бази даних	Так
Ідентифікаційний номер роботи	
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	97%
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	

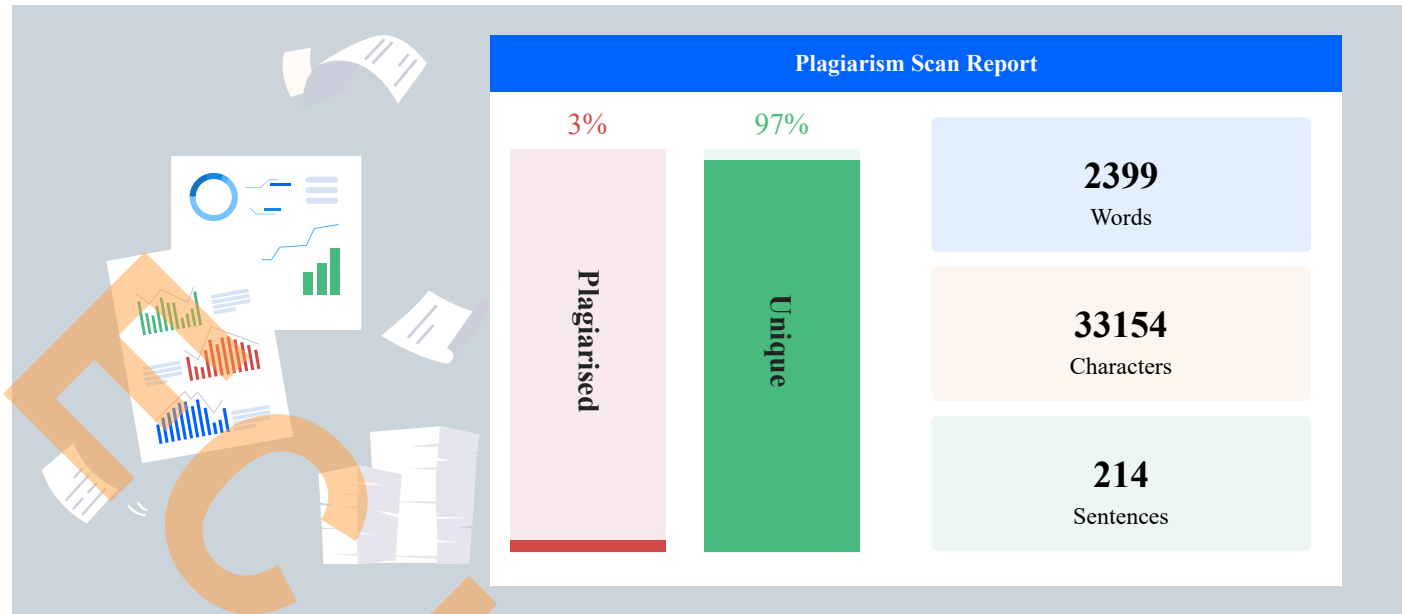
Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

19.12.2023

Дата

Олександр Сосицький
(прізвище, ініціали)

Підпис



Given Content

KPM EC 10750029 (Яров Владислав 2023)

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Генератори

По типу активних елементів схеми генераторів можливо розділити на два класи:

- * ▼генератори із від'ємним опором;
- * генератори із ланкою додатного зворотного зв'язку.

До першого класу відносяться генератори на тунельному діоді, діоді Ганна, лавинно-пролітному діоді та інших двополюсниках з від'ємним внутрішнім опором. До другого класу - лампові та транзисторні генератори, в цьому випадку активний елемент являється чотирьохполюсником. Необхідно відмітити, що дана класифікація дещо умовна, оскільки генератори із від'ємним опором інколи розглядають як генератори із внутрішньою ланкою додатного зворотного зв'язку.

2.2 Двополюсник із від'ємним диференціальним опором.

Від'ємний диференціальний опір.

Опір, як елемент електричного кола, повністю описується вольт-амперною характеристикою $I=I(U)$. Якщо виконується закон Ома $I=UR$ то графік характеристики - пряма лінія, а опір - лінійний. А якщо опір нелінійний, то і характеристика буде мати нелінійний вигляд. При вивченні звичайного діода в якості його моделі вибирають нелінійний безінерційний двополюсник.

Якщо вольт-амперна характеристика містить спадаючу ділянку тоді говорять про двополюсник із від'ємним диференціальним опором. Цей опір називається диференціальним так як $R_{\text{диф}} = dU/dI$ і грає визначну роль при змінному сигналі.

Продемонструємо це для малого змінного сигналу. Нехай $I=I(U)$ - вольт-амперна характеристика нелінійного двополюсника. Задамо напругу на двополюснику як суму постійної та змінної напруг. Враховуючи що мала величина то розкладемо струм в ряд і запишемо тільки два перших члена розкладу

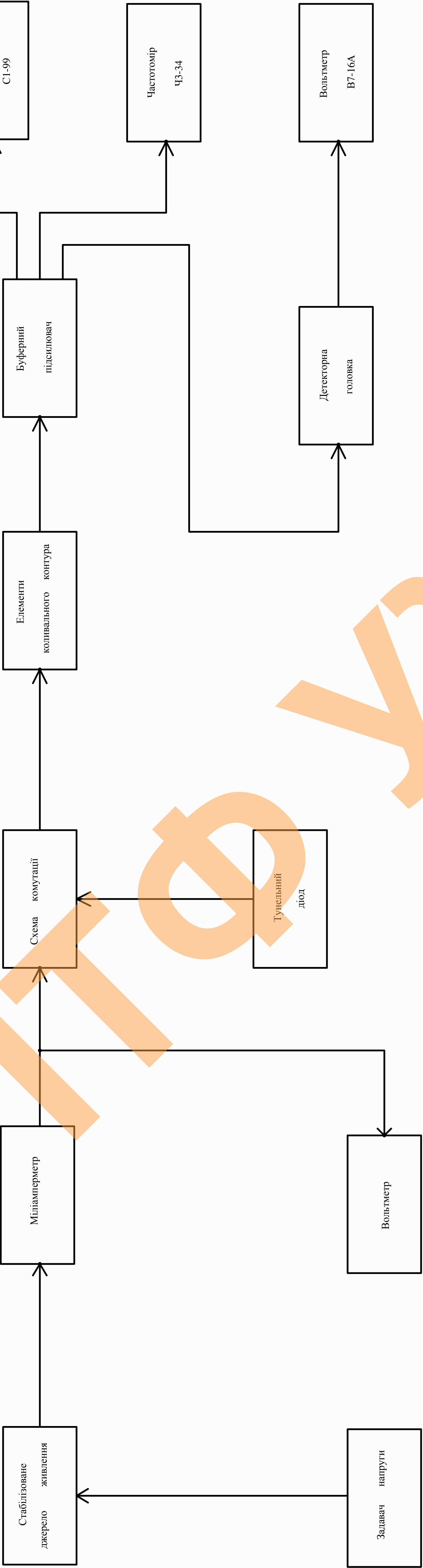
Перший доданок відповідає сталій складовій струму через двополюсник, другий - змінній складовій, де - диференціальна провідність.

Для малого змінного сигналу диференціальний параметр - величина стала, відповідно виконується закон Ома. Нелінійність проявляється у тому, що диференціальний параметр залежить від постійної напруги (або струму) тобто від вибору робочої точки.

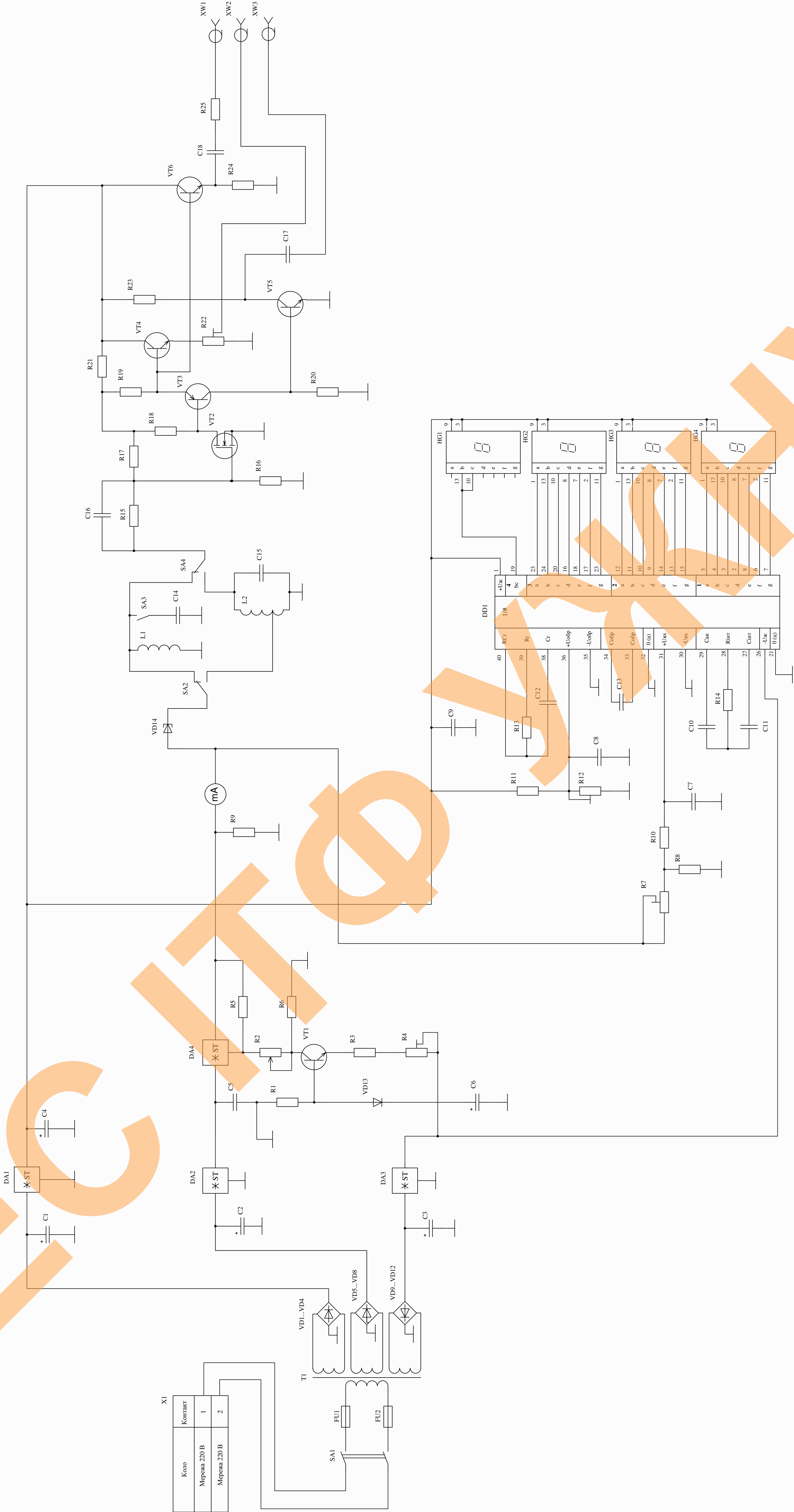
Потужність змінного сигналу на двополюснику - . Якщо то потужність додатна - двополюсник енергію споживає, якщо , то потужність від'ємна и двополюсник віддає енергію. Це значить, що двополюсник із від'ємною провідністю може перетворити енергію джерела постійного струму в енергію коливаний.

2.3 Числові параметри вольт-амперної характеристики N-типу.

Статична вольт-амперна характеристика являє собою повну характеристику двополюсника на низьких частотах. Але для оцінки і порівняння двополюсників, а також отримання розрахункових формул, зручно користуватися числовими значеннями які описують вольт-амперну характеристику. Для характеристики N-типу особливими точками є:



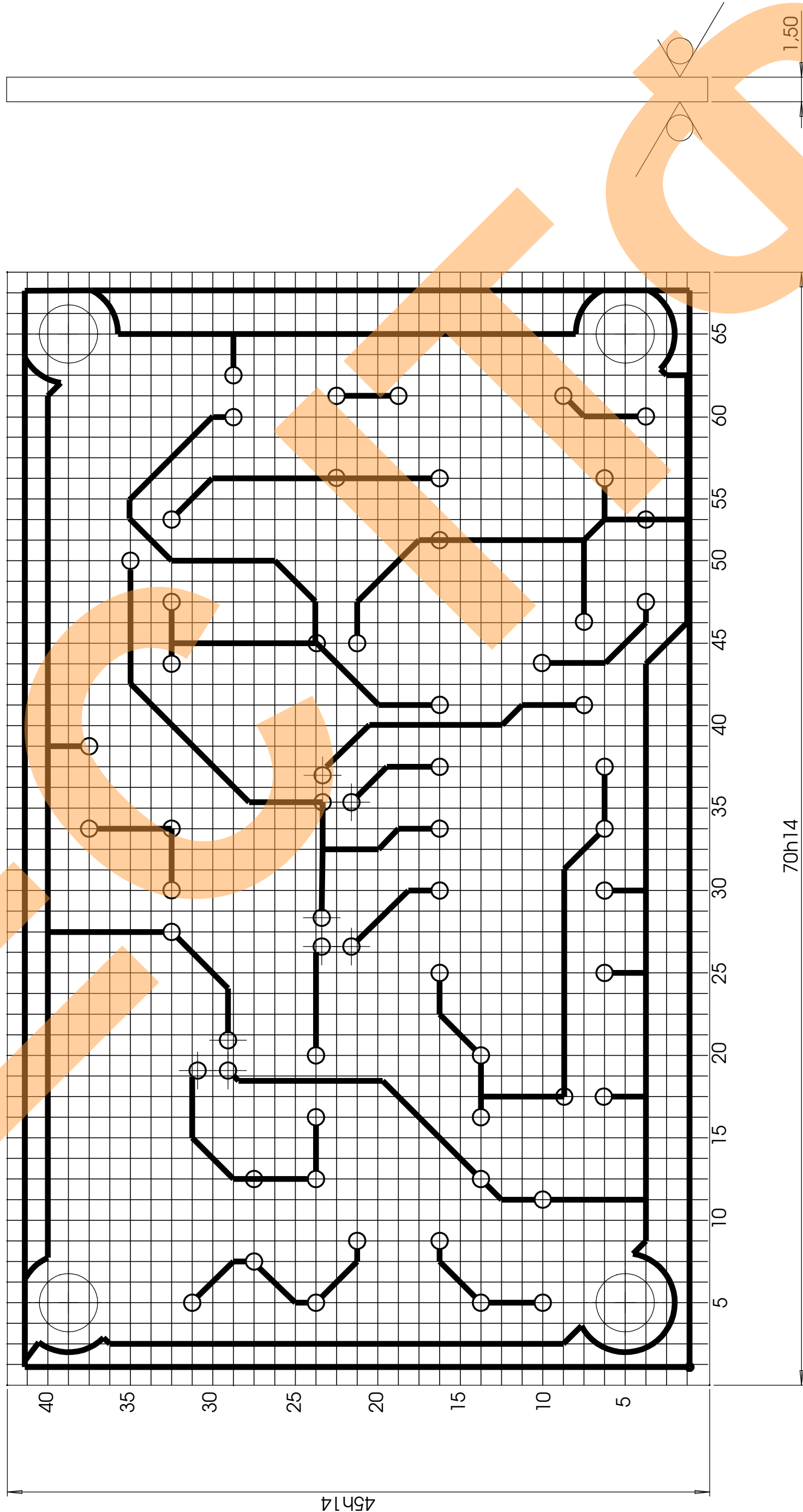
КРМ.ЕС.10750029.001ЕЗ											
Лабораторний макет для дослідження автогенераторів на тунельному діоді						Датум:		Масштаб:		Масштаб:	
						Підпис:		Підпис:		Підпис:	
Схема електрична структурна						Вправа В-4.1.		Вправа В-4.1.		Вправа В-4.1.	
						Розробка		Розробка		Розробка	
						Т. Кондрат		Т. Кондрат		Т. Кондрат	
						Результат		Результат		Результат	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання		Завдання	
						Питання		Питання		Питання	
						Завдання		Завдання			



КРМ.ЕС.10750029.001Е3									
Зна.		Арх.		Уд. дозв.		Дата		Масштаб	
Результат		Проверка		Доп. В-Н. П.		И		1:1	
Учитель		Т. Котар		План. О.В.		Архив		Архив	
И. Котар		Зачет. Т.М.		УжНУ, ITФ, курс 2		Эр. ЕС			

Лабораторный макет для исследования
автосгенератора на туннельном диоде

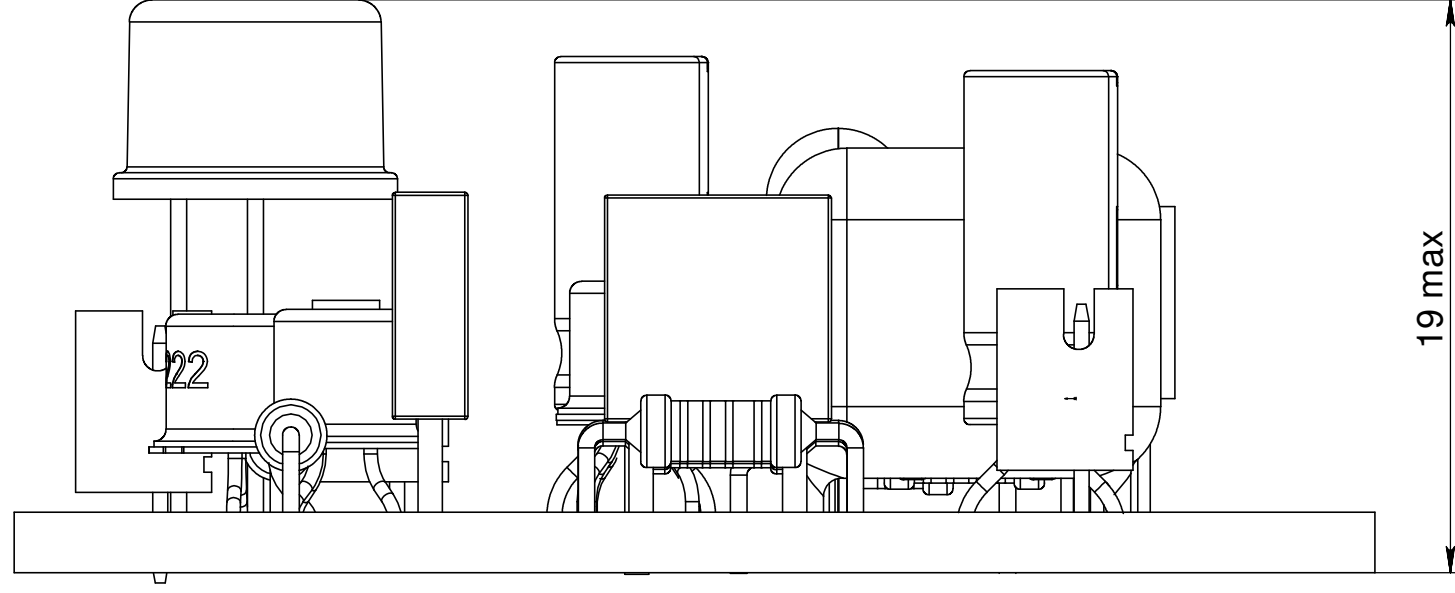
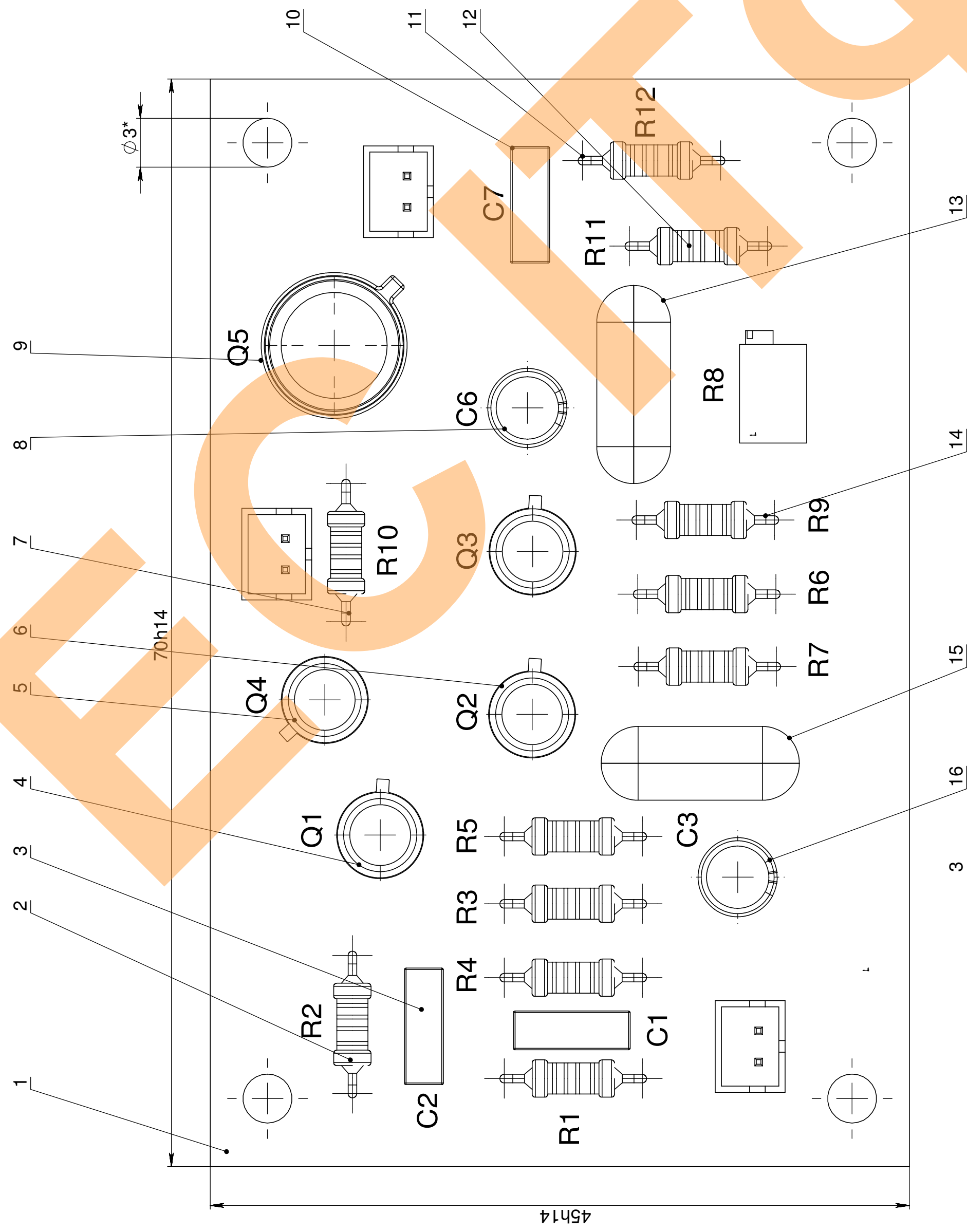
Схема электрическая принципиальная



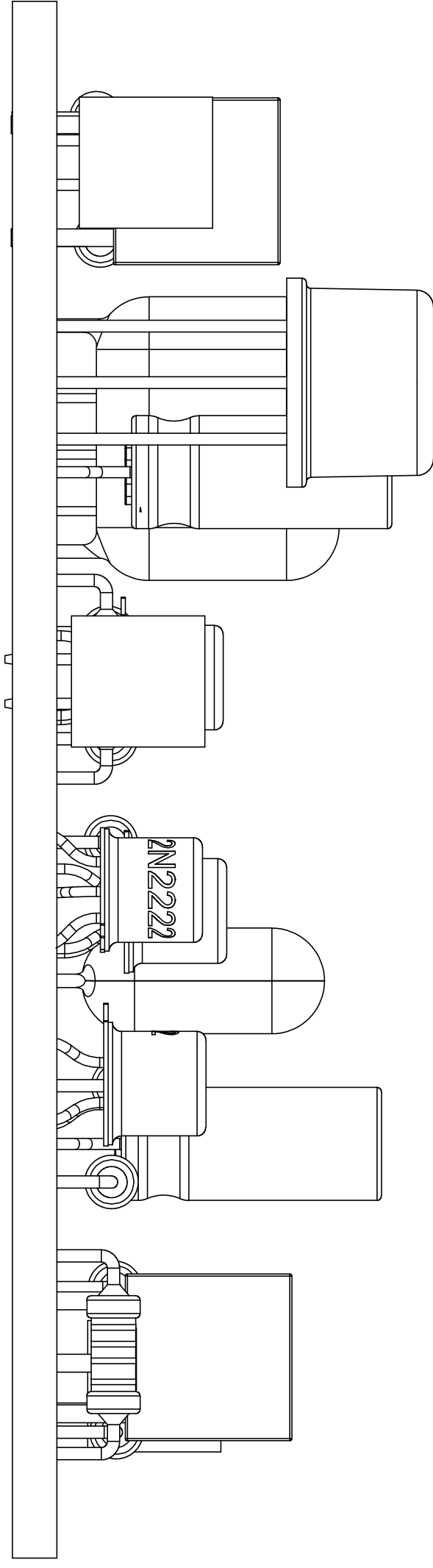
Позначення отв.	Діаметр отв., мм	Діаметр контактної площадки	К-ть отв.
	0,9	1,5 min	61

1. Плату виготовити хімічним способом.
2. * розміри для справок.
3. Крок координатної сітки 1,25мм.
4. Мінімальна ширина провідників 0,5мм,
у візких місцях 0,35.
5. Мінімальна відстань між провідниками 0,6мм.

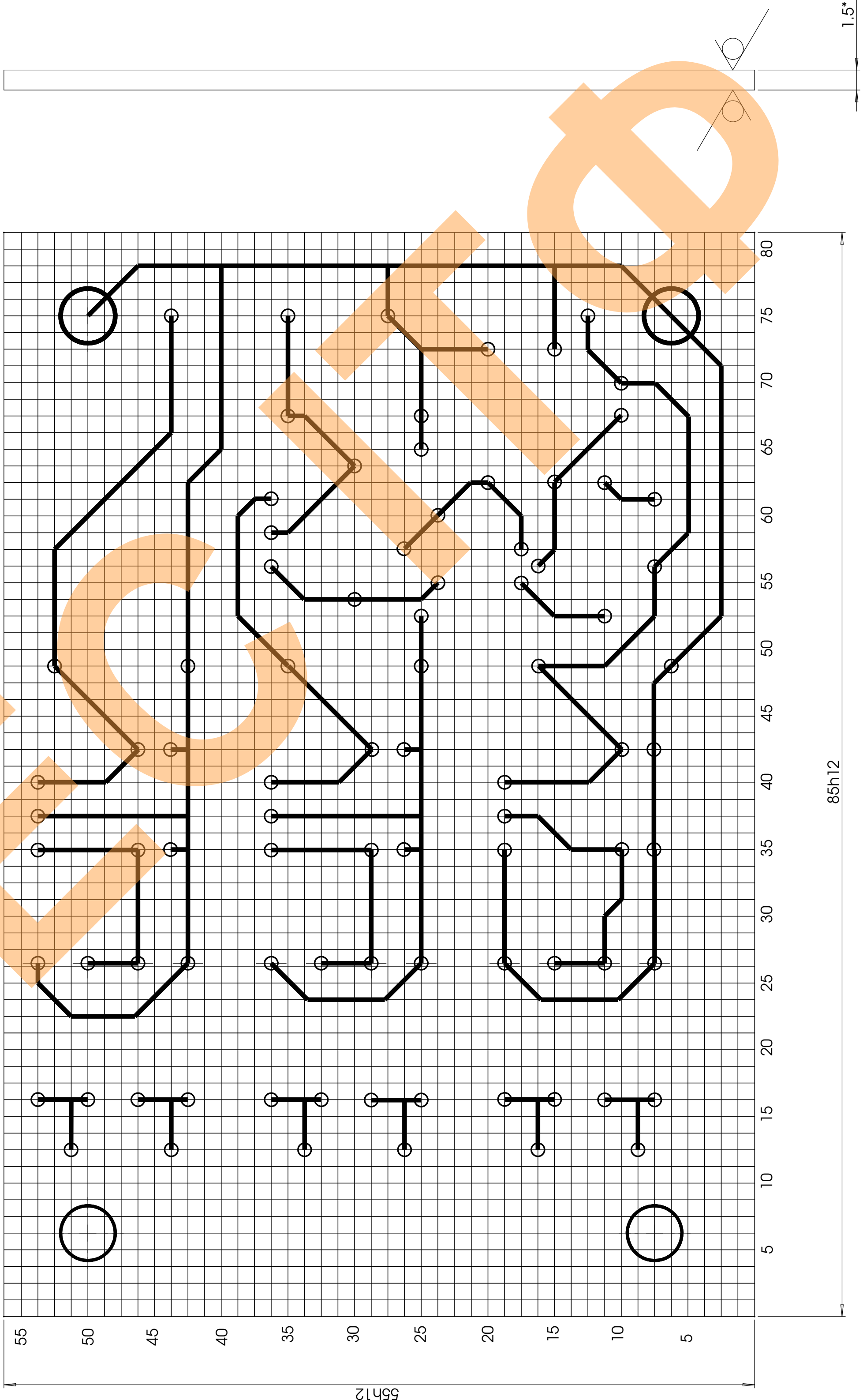
[illegible]



1. * розміри для справок .
2. Встановлення елементів виконувати згідно
ОСТ ГО.010.030-81.
Елементи R1... R6 встановити по варіанту III
висота встановлення 16 мм.
Решту елементів встановити згідно варіанту I
3. Паяти припоєм ПОС-61 ГОСТ 1499-70.
4. Друковані провідники умовно не показані.

[illegible]

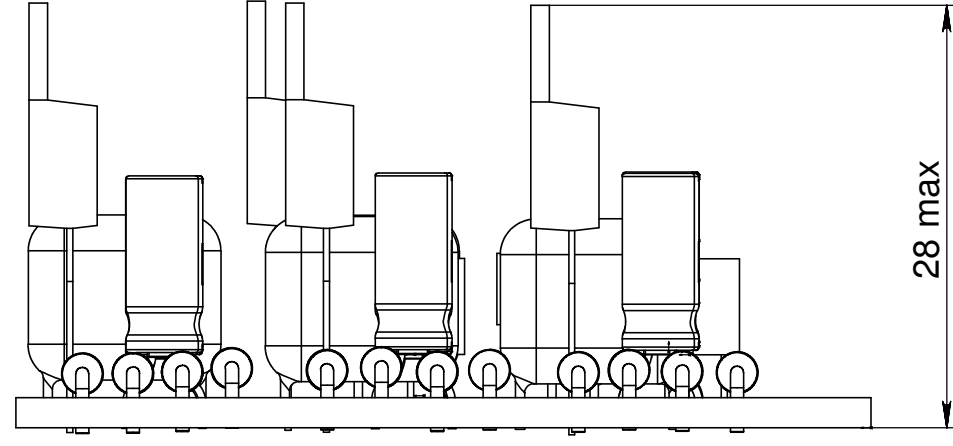
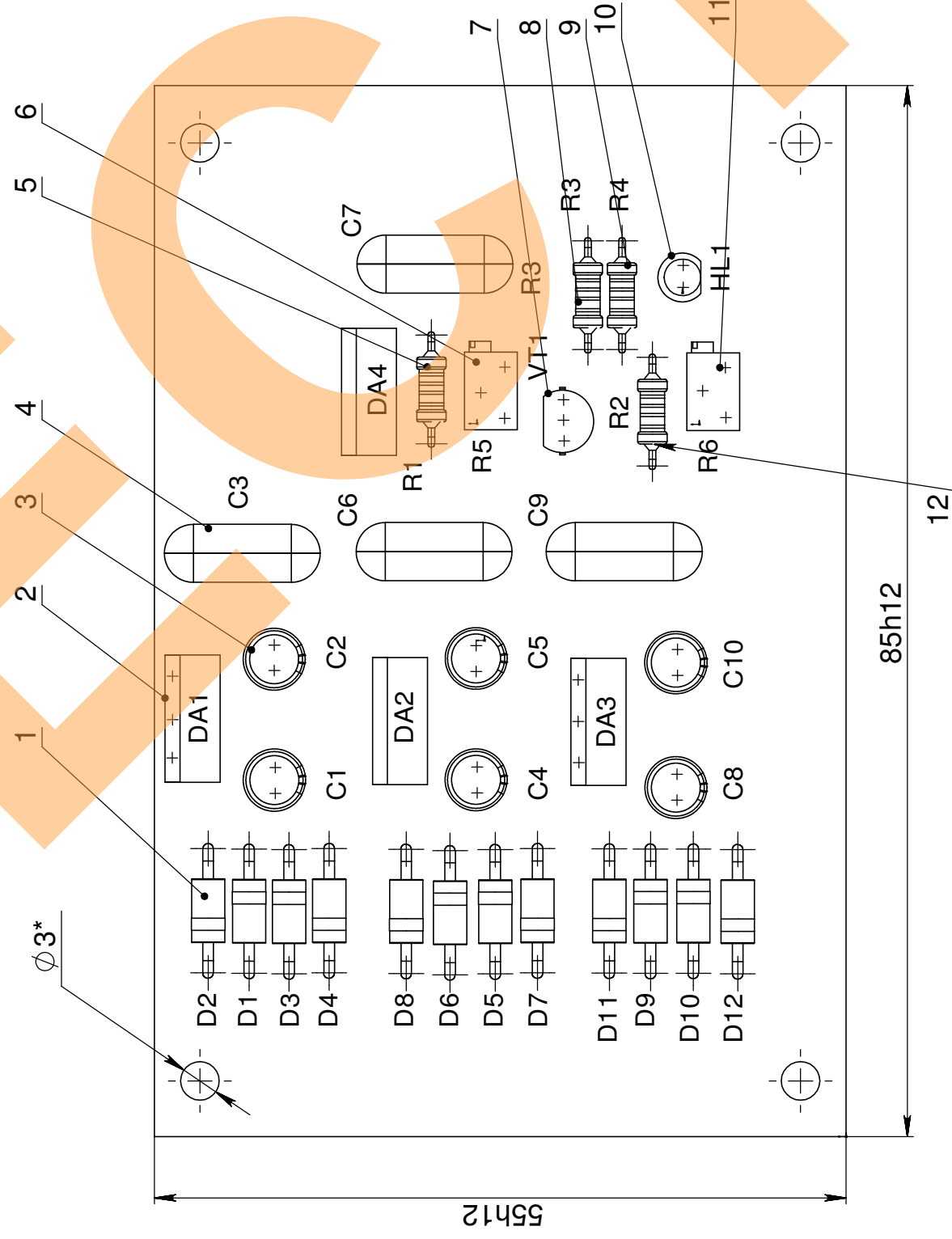
Зворотня сторона плати



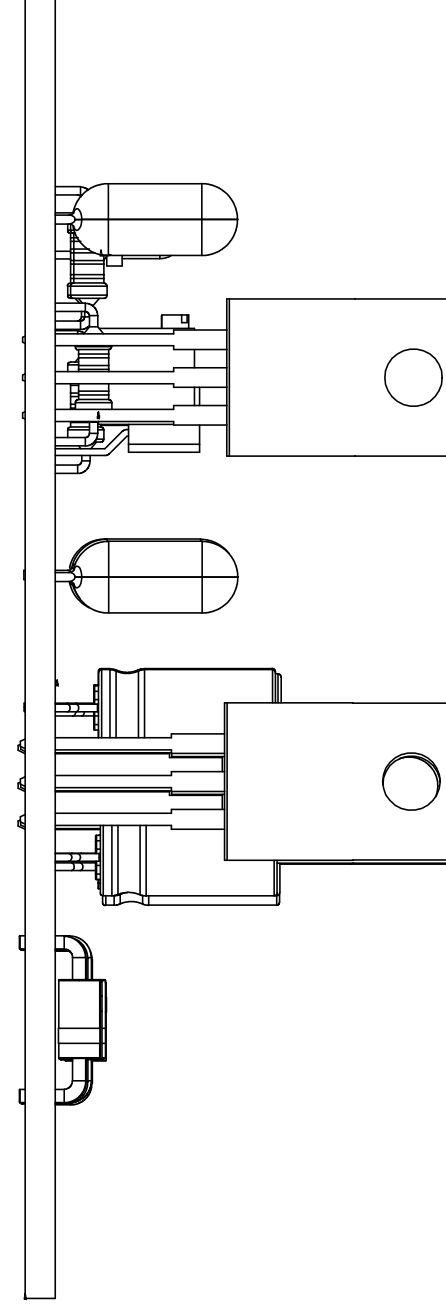
1. Плату виготовити хімічним способом.
2. * розміри для справок.
3. Крок координатної сітки 1,25мм.
4. Мінімальна ширина провідників 0,5мм,
у візких місцях 0,35.
5. Мінімальна відстань між провідниками 0,6мм.

Позначення отв.	Діаметр отв., мм	Діаметр контактної площадки	К-ть отв.
⌀	0,9	1,5 min	88

КРМ.ЕС.10750029.001 ДП				Лит.				Масштаб			
Блок живлення лабораторного макету				Дата				4:1			
Лист 1				Листів 1				УжНУ, ІТФ, курс 2			
Стеклотекстоліт				СФ-2-35-1.0 ГОСТ 10316-78				гр. ЕС			



1. * розміри для справок .
2. Встановлення елементів виконувати згідно
ОСТ ГО.010.030-81.
Елементи R1... R6 встановити по варіанту III
висота встановлення 16 мм.
Решту елементів встановити згідно варіанту I
3. П'яти припоєм ПОС-61 ГОСТ 1499-70.
4. Друковані провідники умовно не показані.



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Поз. позна- чення	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
C1-C4	K73-17-63B-10 мкФ ±10% ОЖО.461.104 ТУ	4	
C5	KM-36-H30-0,1 мкФ ±20% ОЖО.460.043 ТУ	1	
C6	K73-17-63B-10 мкФ ±10% ОЖО.461.104 ТУ	1	
C7	KLС 10 нФ ± 10% ОЖО.460.043 ТУ	1	
C8-C10	KM-36-H30-0,1 мкФ ±20% ОЖО.460.043 ТУ	3	
C11	KLС 47нФ ±10% ОЖО.460.043 ТУ	1	
C12	K73-17-63B-10 мкФ ±10% ОЖО.461.104 ТУ	1	
C13	KM-36-H30-0,1 мкФ ±20% ОЖО.460.043 ТУ	1	
C14-C15	KLС 130 нФ ± 10% ОЖО.460.043 ТУ	2	
C16	KLС 3 нФ ± 10% ОЖО.460.043 ТУ	1	
C17,C18	KM-36-H30-0,1 мкФ ±20% ОЖО.460.043 ТУ	2	
	<u>Аналогові мікрохеми</u>		
DA1,DA2	LM7809	2	FAIRCHILD Semiconductor
DA3	LM7909	1	FAIRCHILD Semiconductor
DA4	LM317T	1	FAIRCHILD Semiconductor
	<u>Цифрові мікрохеми</u>		
DD2	KP572PB2 бКО.348.432-04ТУ	1	
	<u>Пристрої індикації</u>		
HG1-HG4	SA/SC10-11	4	Kingbright
	<u>Запобіжники</u>		
FU1, FU2	BPI-1 1 А ОЖО.480.003 ТУ	2	
KPM EC 10750029.004.ПЕ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис Дата
Розробив	Яров В.Ч.Ч.		
Перевірив			
Т/Контр.			
Н/Контр.			
Затвердив	Заяць Т.М.		
Лабораторний макет для дослідження автогенераторів на тунельному діоді Перелік елементів			
Літера		Аркуш	Аркушів
У		1	3
УжНУ , ІТФ група ЕС-2			

[illegible]

[illegible]

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			KPM EC 10750029.001. E3	Схема електрична принципова	1	
A1			KPM EC 10750029.001. E1	Схема електрична структурна	1	
A1			KPM EC 10750029.001. ДП	Друкована плата	2	
A1			KPM EC 10750029.001. СК	Складальне креслення	2	
A4			KPM EC 10750029.001 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
A4			KPM EC 10750029.001 PE	Перелік елементів	1	
A4			KPM EC 10750029.001 СП	Специфікація	1	
				<u>Комутаційні прилади</u>		
			S1	ТП 1-2		
			S2-S4	ELFA: 35-040-57		
			X1	HF-301(R) 1 Huaifeng ectronics		
			XW1-XW3	CP-50-165ΦB		
		4				
				<u>Стандартні вироби</u>		
		5		Гвинт M3x5 ГОСТ 17475	8	
				<u>Конденсатори</u>		
		6	C1-C4	K73-17-63B-10 мкФ ±10%	4	
		7	C5	KM-3б-H30-0,1 мкФ ±20%	1	
		8	C6	K73-17-63B-10 мкФ ±10%	1	
		9	C7	КЛС 10 нФ ± 10%	1	
		10	C8-C10	KM-3б-H30-0,1 мкФ ±20%	3	
		11	C11	КЛС 47нФ ±10%	1	

[illegible]

Форма	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
		33	R11	МЛТ-0,125вт-1кОм±10%	1	
		34	R12	МЛТ-0125-В-3КОМ+-5%	1	
		35	R13	СП5-3 1вт 100 кОм+10%	1	
		36	R14	МЛТ-0,125вт-470кОм±10%	1	
		37	R15	МЛТ-0,5-100ОМ+-2%	1	
		38	R16	МЛТ-0,5-100ОМ+-2%	1	
		39	R17	МЛТ-0,125 вт 3,1 МОм ±5%	1	
		40	R18	МЛТ - 0.125 вт -680 Ом	1	
		41	R19	МЛТ - 0.125 вт -330 Ом	1	
		42	R20	МЛТ – 0,25вт – 75 Ом ± 5%	1	
		43	R21	МЛТ - 0.125 вт -330 Ом ± 5%	1	
		44	R22	СП5-3 1вт 680 Ом+5%	1	
				<u>Трансформатори</u>		
		45	TV1	Трансформатор	1	
				<u>Діоди</u>		
		47	VD1-VD12	КД206	12	
		48	VD13	АЛ307АМ	1	
				<u>Транзистори</u>		
		49	VT1	2П305А	1	
		50	VT2,	КТ349А	1	
		51	VT3, VT4	2Т316А-І	2	
		52	VT5	2Т635А	1	
		53	X2	MF-4MRA	1	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ ЕС 10750029.001.СП	
					Арк. 3	