

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ
Центр заочної та дистанційної форми навчання

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра

МУЛЬТИВІБРАТОР УПРАВЛІННЯ РОЗГОРТКОЮ ОСЦИЛОГРАФА

Студент гр. ЕПз-61к

Є.М.Вдовенко

Науковий керівник,
викладач

О.І. Федчун

Конотоп 2020

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є мультивібратор управління розгорткою осцилографа С1-67.

Мета роботи полягає у проведенні дослідження та розрахунку мультивібратора управління розгорткою осцилографа.

У даній роботі була розроблена структурна і принципова схеми мультивібратора управління розгорткою осцилографа С1-67. Також, виконаний розрахунок електричної схеми, в результаті якого обрали резистор і конденсатори, а також активні елементи – діоди і транзистори.

Також, провели компоновку друкованого вузла мультивібратора управління розгорткою, розраховане число посадочних місць на платі. Були визначені частота власних коливань пластини і резонансна частота пластини.

У результаті проведених досліджень встановлено, що обрахована потужність значно менша $0,05 \text{ Вт / см}^2$, що значить плату можна розташовувати в герметичній або пилозахищеній конструкції.

Робота викладена на 32 сторінках, у тому числі включає 9 рисунків, 1 таблицю, список цитованої літератури із 26 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЧАСТОТА ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ, РЕЗОНАНСНА ЧАСТОТА, ПОТУЖНІСТЬ, МУЛЬТИВІБРАТОР УПРАВЛІННЯ РОЗГОРТКОЮ, ОСЦИЛОГРАФ С1-67.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИВІБРАТОРІВ	5
1.1. Принцип побудови.....	5
1.2. Режими роботи.....	7
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК МУЛЬТИВІБРАТОРА УПРАВЛІННЯ РОЗГОРТКОЮ ОСЦИЛОГРАФА	10
2.1. Розрахунок принципової схеми мультівібратора управління розгорткою по постійному струму.....	10
2.2. Розрахунок принципової схеми мультівібратора управління розгорткою з тимчасового струму.....	13
2.3. Розрахунок посадочних місць друкованого вузла.....	18
2.4. Розрахунок на вібропрочність.....	20
2.5. Розрахунок надійності мультівібратора управління розгорткою...	21
РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ ОСЦИЛОГРАФІВ	24
3.1. Електронні осцилографи.....	24
3.2. Осцилографи Tektronix серій MDO3 і MSO4.....	27
ВИСНОВКИ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
ДОДАТОК 1	
ДОДАТОК 2	
ДОДАТОК 3	

ВСТУП

Генератори прямокутних імпульсів відносяться до класу релаксаційних генераторів. Коливання, у яких повільні зміни чергуються зі стрибкоподібними, називаються релаксаційними. Подібно генераторам синусоїдальних напруг, релаксаційні генератори перетворюють енергію джерела постійного струму в енергію електричних коливань. [1] Підсилювальний елемент працює в даному випадку у ключовому режимі, перемикаючи конденсатор із заряджання на розряджання і навпаки. Релаксаційні генератори можуть працювати в автоколивальному і очікуючому режимах або в режимах синхронізації і поділу частоти. Генератор в автоколивальному режимі формує коливання неперервно. У очікуючому режимі генератор “очікує” надходження імпульсу запуску, лише з приходом якого схема формує один вихідний імпульс. Для автоколивального режиму роботи мультівібратора характерна відсутність стійкого стану, тому схема неперервно генерує імпульси. [2]

В ряді випадків необхідно одержувати одинарні імпульси у визначений наперед момент часу. Для цього мультівібратору необхідно забезпечити один стійкий стан. Звичайно його одержують запиранням підсилювального елемента в одному з плеч мультівібратора, внаслідок чого схема не може вийти з такого стану самостійно. Їй потрібен зовнішній імпульс запуску. Оскільки система “очікує” такий імпульс, то цей мультівібратор називається “очікуючим”, або одновібратором чи загальмованим мультівібратором.

Роль запускаючого імпульсу зводиться до того, щоб привідкрити закритий підсилювальний елемент, тобто створити умови для виникнення лавиноподібного процесу.[3] Тому імпульс запуску повинен мати визначену полярність, а також відповідну амплітуду і тривалість. Після перекидання схеми, під час формування імпульсу, схема знаходиться в нестійкому стані, із якого самостійно і також лавиноподібно повертається в стійкий початковий стан, потім виводиться з нього наступним запускаючим імпульсом.

Отже, метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та розрахунок мультівібратора управління розгорткою осцилографа.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИВІБРАТОРА

1.1. Принцип побудови

Мультивибратор – представляє собою простий генератор прямокутних імпульсів, що працює в режимі автогенератора. Для його роботи потрібне джерело живлення. Схема найпростішого симетричного мультивибратора на транзисторах наведена на рис. 1. 1. [4] Його схема може ускладнюватись залежно від виконуваних функцій. Та все ж елементи, наведені в схемі, є обов'язковими, базовими для роботи мультивибратора.

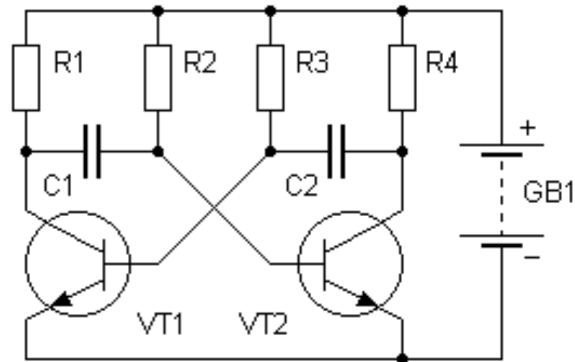


Рис. 1.1. Схема найпростішого мультивибратора на транзисторах[4]

Принцип роботи симетричного мультивибратора наведено в [5] : « Він базується на зарядно-розрядних процесах конденсаторів, які разом з резисторами утворюють RC-ланцюжки.

На початку роботи при подачі живлення конденсатори C1 і C2 знаходяться у розрядженому стані, тому їх опір струму малий. Малий опір конденсаторів призводить до «швидкого» відкриття транзисторів, бо через них протікає струм (рис. 1.2): [5]

- VT2 по ланцюгу: «+ джерела живлення> резистор R1> малий опір розрядженого конденсатора C1> базово-емітерний перехід транзистора VT2> - джерела живлення»;

- VT1 по ланцюгу: «+ джерела живлення» резистор R4» малий опір розрядженого конденсатора C2» базово-емітерний перехід транзистора VT1» - джерела живлення».»

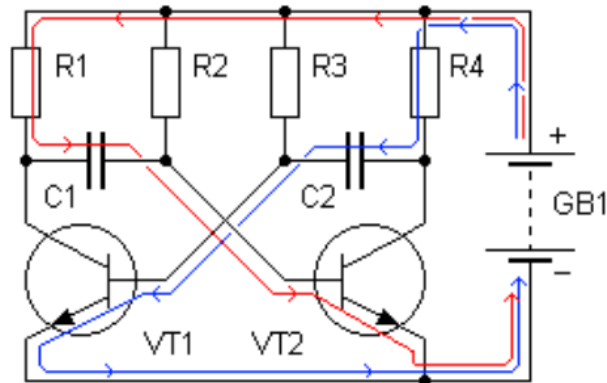


Рис. 1.2. Робота симетричного мультивібратора[5]

«Цей режим роботи мультивібратора триває дуже малий проміжок часу, який визначає тільки швидкодія транзисторів. Так як навіть в одній партії не існує двох абсолютно однакових за параметрами транзисторів, то який транзистор зпрацює швидше, він і буде відкритим. Наприклад, якщо в нашій схемі це буде транзистор VT2, то завдяки малому опору розрядженого конденсатора C2 і малому опору колекторно-емітерного переходу транзистора VT2, база транзистора VT1 замкнеться на емітер транзистора VT1. В результаті чого транзистор VT1 закриється.» [5]

Так як транзистор VT1 закритий, буде відбуватися «швидке» зарядження конденсатора C1 по ланцюгу: «+ джерела живлення» резистор R1» малий опір розрядженого конденсатора C1» базово-емітерний перехід транзистора VT2» «-« джерела живлення». Заряджати конденсатор буде до величини напруги джерела живлення.

В цей же час проходить зарядження конденсатора C2 струмом зворотної полярності по ланцюгу: «+ джерела живлення» резистор R3» малий опір розрядженого конденсатора C2» колекторно-емітерний перехід транзистора VT2» «-« джерела живлення». [6]Тривалість часу зарядження визначається

значеннями резистора R3 і конденсатора C2. Саме вони визначатимуть час, який транзистор VT1 буде знаходитись у закритому стані.

Як тільки конденсатор C2 зарядиться до напруги за величиною рівною напрузі 0,7-1,0В, опір зросте і VT1 відкриється по ланцюгу: «+ джерела живлення> резистор R3> базо-емітерний перехід транзистора VT1> - джерела живлення». У цьому випадку, через відкритий колекторно-емітерний перехід транзистора VT1 напруга зарядженого конденсатора C1 буде прикладена до емітерно-базового переходу транзистора VT2 протилежною полярністю. [5]В результаті чого транзистор VT2 закривається, і струм, потече по колу «+ джерела живлення> резистор R4> малий опір C2> базо-емітерний перехід транзистора VT1> - джерела живлення». За цим ланцюгом пройде швидка перезарядка конденсатора C2 і мультивібратор перейде в «стійкий» стан.

1.2. Режими роботи

Щоб отримати імпульси прямокутної форми використовують релаксаційні генератори. Вони будуються на основі підсилювачів з ланкою позитивного зворотнього зв'язку. В релаксаційних генераторах ПЗЗ реалізується використанням RC-ланцюгів. [7] Їх називають мультивібраторами. Причому глибина ПЗЗ залишається майже постійної в широкій смузі частот. У раз, коли ПЗЗ створений застосуванням імпульсного трансформатора, то такі генератори називаються блокінг-генераторами.

Мультивібратори працюють у двох режимах: автоколивальному і режимі очікування.

У автоколивальному режимі схема матиме два квазістійких со-стояння, тривалість яких визначене часозадаючим ланцюгом.

В другому режимі (очікування) схема матиме тільки один сталий стан. В цьому стані він може перебувати необмежено довго. Під впливом короткочасного запускаючого зовнішнього імпульсу схема стрибком перейде в

квазістійкий стан, після чого самостійно повернеться в початкове положення, сформувавши імпульс заданої тривалості. [8]

Широкополосність коло зворотного зв'язку є типовою ознакою всіх генераторів імпульсів і в усіх випадках на частоті $\omega \rightarrow 0$ виконується умова $K_u < 1$, або ж в іншому випадку пристрій перетворюється в тригер.

Розрізняють «жорсткий» і «м'який» режими збудження генераторів. При «м'якому» режимі петльове підсилення $|K_u| > 1$, при вмиканні напруги живлення. В результаті шуми в системі, ви-кликані випадковими впливами, підсилюються і через коло ЗЗ подаються на вхід підсилювача за фазою, яка збігається з фазою вхідного сигналу. [9] Відповідно збільшується вихідне напруга, яка сприятиме подальшому зростанню вхідного сигналу і як результат випадково виникле збудження призведе неодмінного до зростання вихідного сигналу, яке досягло б бесконечного великого значення, якби це було можливим. Однак при визначеному рівні сигналу почнуть проявлятися нелінійні властивості елек-тронного підсилювача. Коефіцієнт підсилення зменшується з зростанням величини сигналу в системі. Якщо буде виконуватись умова $K_u = 1$, ам-амплітуда автоколивань має стабілізуватися і автогенератор буде давати коливання з постійною амплітудою.

«Жорсткий» же режим збудження на відміну від розглянутого відрізняється тим, що при ньому для створення автоколивань потрібно подати на пристрій додатковий зовнішній сигнал, який буде не меншим від заданого значення. [10] Це пов'язано з особливими нелінійностями в роботі підсилювального пристрою, у момент подання напруги живлення і при відсутності автоколивань $K_u < 1$. Тобто, самі коливання виникнути не можуть, а коефіцієнт підсилення залежить від амплітуди сигналу на виході. Тому, щоб досягти виконання умови $K_u > 1$, потрібно, щоб на вхід підсилювача поступив додатковий сигнал. При цьому будуть виникати автоколивання, амплітуда яких буде зростати і досягне $K_u = 1$.

Мультивібратор управління розгорткою, використаний в осцилографі С1-67, теж є представником класу релаксаційних генераторів.

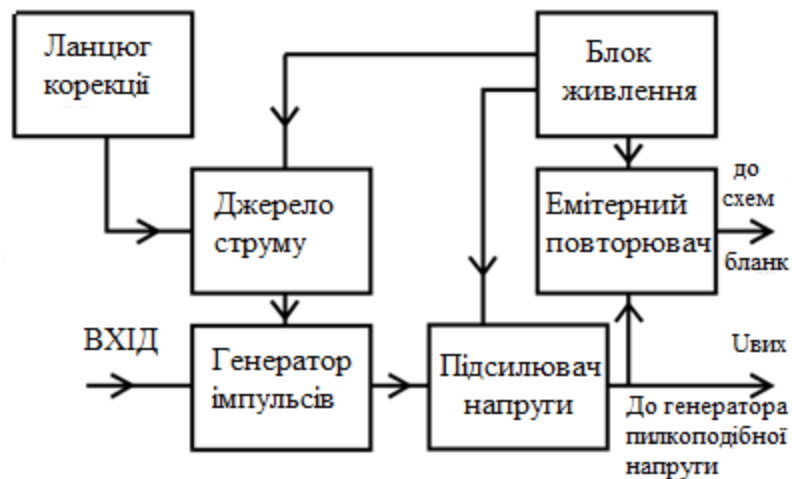


Рис. 1.3. Структурна схема мультивібратора управління розгорткою[10]

Мультивібратора управління розгорткою (рис. 1.3) це генератор імпульсів побудованого на тунельному діоді в поєднанні з підсилювачем, побудованим за схемою вмикання транзистора з загальним емітером.

Кероване джерело струму дає можливість задати любе положення робочої точки на характеристиці тунельного діода, що в свою чергу дозволить переводити мультивібратор управління розгорткою із сталого стану в режим самозапуску.

Коло корекції дає можливість керувати тривалістю імпульсів генератора.[11]

З вихода підсилювача імпульс керування подається на вхід схеми ГПН та через емітерний повторювач далі вже на схему формування імпульсу блокування.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК МУЛЬТИВІБРАТОРА УПРАВЛІННЯ РОЗГОРТКОЮ ОСЦИЛОГРАФА

У даній роботі буде виконаний розрахунок мультівібратора управління розгорткою осцилографа С1-67 за наступними вихідними даними:

- Напруга живлення $U_{ж1} = \pm 10 \text{ В}$, $U_{ж2} = + 6 \text{ В}$.
- Максимальна вихідна напруга $U_{вих m} = 3 \pm 0,5 \text{ В}$.
- Автоколивальний режим роботи.
- Частота імпульсів: 2,0 Гц - 1,0 МГц.
- Зміна частоти проходження імпульсів - дискретна.
- Амплітуда струму вихідних імпульсів $I_{m>} = 0,5 \text{ мА}$.
- Конструкція - плата друкована.

Прилад повинен стабільно працювати в наступних умовах:

- Робоча температура навколишнього середовища: -30С - + 500С.
- Гранична температура: -50С - + 650С.
- Відносна вологість повітря при температурі + 350С - до 98%.

2.1. Аналіз принципової схеми

Проведемо аналіз наведеної на рис. 2.1 схеми мультівібратора.

Схема мультівібратора управління розгорткою (рис. 2.1) складається з наступних каскадів:

- автоколивального генератора (виконується на тунельному діоді VD3);
- підсилювача напруги (виконується на транзисторі VT2);
- емітерного повторювача побудованого на транзисторі VT3;
- джерела струму (будується на транзисторі VT1).

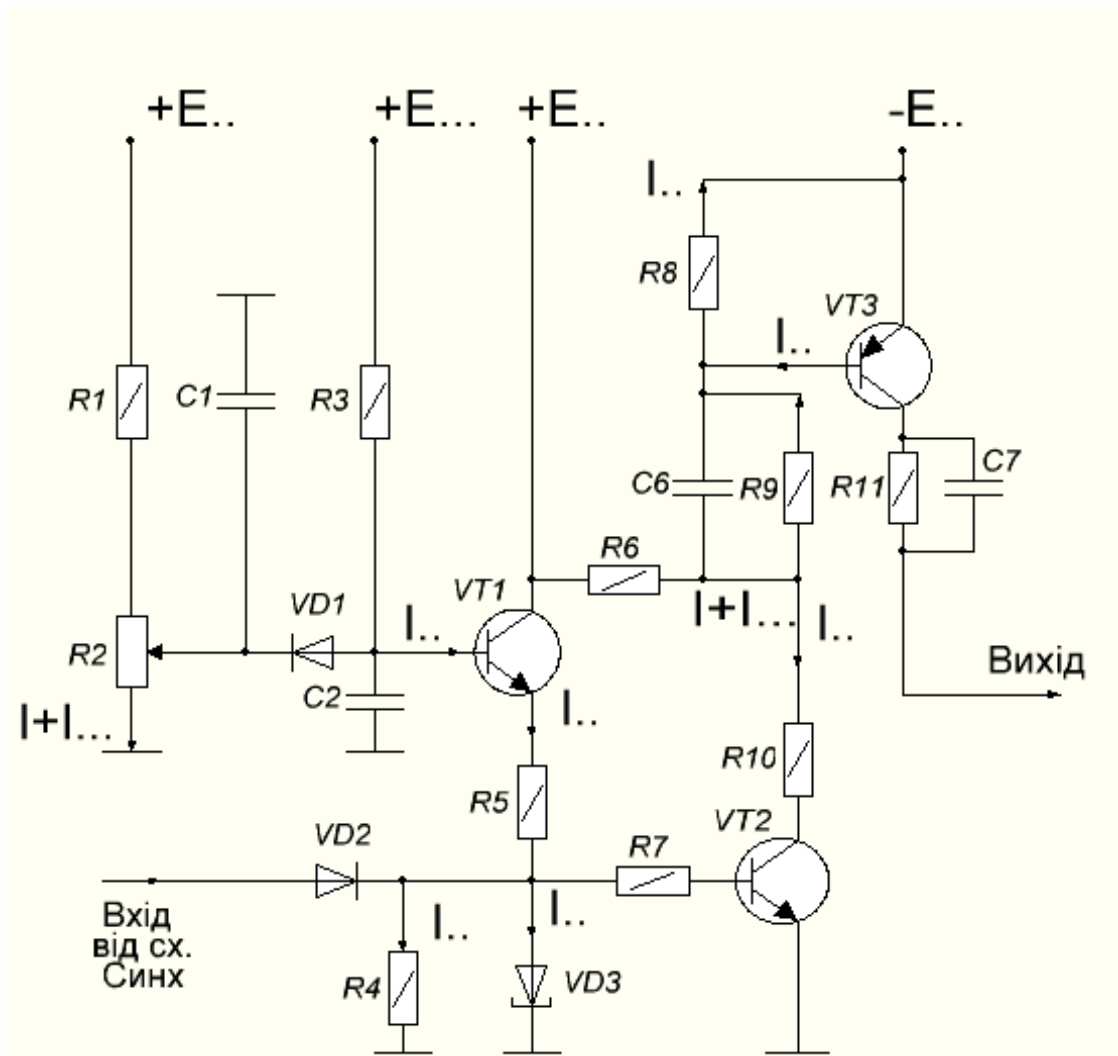


Рис. 2.1. Принципова схема мультивібратора управління розгорткою осцилографа С1-67

Автоколивальний генератор виконується на тунельному діоді VD3. Він вмикається в коло емітера транзистора VT1. На вольт-амперній характеристиці розташування робочої точки обирається на ділянці від'ємного диференціального опору. Через резистор R7 з діода знімається змінна напруга, що яка подається на слідуєчий каскад мультивібратора, а саме - підсилювач напруги, що реалізується на транзисторі VT2, зібраного за схемою - загальний емітер.

У початковому стані робоча точка на ВАХ тунельного діода VD3у початковому стані обирається так, щоб підсилювач, зібраний на транзисторі VT2 був замкнений. [12] При надходженні на базу транзистора VT2 імпульсів

позитивної полярності з каналу синхронізації, тунельний діод VD3 переходить в другий стійкий стан. Транзистор VT2 відкривається, потенціал на його колекторі знижується, що призводить до формування негативного керуючого імпульсу.

Підсилювач має високий коефіцієнт підсилення. Його визначає h_{11} – параметр транзистора VT2 та співвідношення значень опорів R10 і R6. На транзисторі VT3 зібраний емітерний повторювач. На нього подається сигнал з виходу підсилювача напруги. Положення робочої точки транзистора на вольт-амперних характеристиках задають резистори R8, R9, а НЗЗ за постійним струмом забезпечує резистор R11. Цей зв'язок стабілізує положення робочої точки.

На вхід генератора пилоподібної напруги з вихода мультивібратора подається керуючий імпульс, який через емітерний повторювач (транзистор VT3) передається на схему формування бланкуючого імпульсу.

Джерело струму реалізоване на транзисторі VT1, яке стабілізує на ВАХ положення робочої точки тунельного діода VD3. [13] В залежності від положення регулятора на змінному резисторі R2 корегується положення робочої точки діода та емітерний струм VT1. Якщо робоча точка переміщується з ділянки ВАХ, на якій діод має негативний диференціальний опір, на ділянку що відповідає позитивному диференціальному опору, мультивібратор перейде з автоколивального режиму в опікуючий режим. Це дає змогу перевести мультивібратор управління розгорткою в режим самозапуску з стійкого стану.

Частото задаючими елементами є конденсатори C2, C3-C5 та резистори R5, R4, блокуючий конденсатор C1 запобігає потраплянню в ланцюг живлення високочастотного сигналу. НЗЗ по змінному струму ліквідують конденсатор C7 та шунтуючий резистор R11.

2.2. Розрахунок принципової схеми мультівібратора управління розгорткою по постійному струму

Розрахунок елементів принципової схеми мультівібратора управління розгорткою осцилографа проводимо за схемою (Додаток А).

Як активний елемент емітерного повторювача обираємо високочастотний малопотужний транзистор. Напряга живлення повторювача обирається з умови. $E_{ж1} = -10\text{В} > U_{вих} = 3\text{В}$

З довідника [14] обираємо транзистор 1Т308А, який має наступні характеристики:

- «потужність розсіювання колектора $P_{кмах} = 150\text{ мВт}$;
- гранична частота $f_{гр} > 90\text{ МГц}$;
- максимальна напруга колектор-база $U_{кбо} = 20\text{ В}$;
- гранично допустима напруга емітер-база $U_{еб} = 3\text{ В}$;
- максимальний струм колектора $I_{кмах} = 50\text{ мА}$;
- коефіцієнт передачі струму $h_{21e} = 20..75$ ».

За сімейства вихідних характеристик оберемо струм спокою колектора $I_{кмах} = 3\text{ мА}$.

Падіння напруги на опорі R11 має бути приблизно $0.1E_{ж1}$.

$$R11 = \frac{0.1 \cdot E_n}{I_{к3} + I_{б3}} = \frac{0.1 \cdot 10}{I_{к3} + I_{б3}} = \frac{1 \cdot 10^3}{3 + \frac{3}{38.7}} = 330(\text{Ом}) \quad (2.1)$$

Резистор R8 має забезпечувати необхідну напругу зміщення в робочій точці.

$$R8 = \frac{E_n - U_{бэ} - 0.1 \cdot E_n}{I_{\delta}} \quad (2.2)$$

де $I_{\delta} = 10 \cdot I_{б3}$

$$I_{\sigma 3} = \frac{I_{\kappa 3}}{h_{21}} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{38.7} = 0.78(\text{мА}) \quad (2.3)$$

По вхідній характеристиці з довідника визначимо:

$$U_{\sigma 3} | (I_{\sigma} = 0.078 \text{ мА}, U_{\kappa 3} \approx 8 \text{ В}) = 0.42(\text{В}) \quad (2.4)$$

$$R8 = \frac{10 - 0.42 - 1}{0.78} = 11(\text{кОм}) \quad (2.5)$$

Щоб розрахувати величину опору резистора R9 визначаємо напругу живлення підсилювача (на транзисторі VT2) із умови $E_{n1} \approx 2 \cdot U_{\text{вих}} \approx 2 \text{ В}$.
Приймаємо $E_{\text{ж}} = +6 \text{ В}$.

$$R9 = \frac{E_{n1} + E_{n2} - I_{\sigma} \cdot R8 - I_{\kappa 2} \cdot R6}{I_{\sigma}} \quad (2.6)$$

Виходячи з того, що падіння напруги на резисторі R6 приблизно 2В, маємо $U_{R6} = I_{\kappa 2} R6 = 2 \text{ В}$, отримали:

$$R9 = \frac{E_{n1} + E_{n2} - I_{\sigma} \cdot R8 - U_{R6}}{I_{\sigma}} = \frac{10 + 6 - 0.78 \cdot 11 - 2}{0.78 \cdot 10^{-3}} = 6.95(\text{кОм}) \quad (2.7)$$

Оберемо з довідника [14] транзистор VT2 як активний елемент підсилювача напруги. Це буде малопотужний високочастотний транзистор n-p-n типу з напругою, що визначається як $U_{\kappa 3} \geq 1.5 \cdot E_{\text{ж}2}$, де 1.5-коефіцієнт запасу.

Обираємо транзистор типу 1Т311А з такими технічними характеристиками:

- «потужність розсіювання транзистора $P_{\text{к мах}} = 150 \text{ мВт}$;
- гранично допустима напруга колектор-база $U_{\text{кб}0} = 12 \text{ В}$;
- гранично допустима напруга емітер-база $U_{\text{еб}0} = 2 \text{ В}$;
- максимальний струм колектора $I_{\text{к мах}} = 50 \text{ мА}$;
- коефіцієнт передачі струму $h_{21e} = 15..80$ ».

З сімейства вихідних характеристик, наведених у довіднику, обираємо струм спокою транзистора VT2, який дорівнює $I_{к2} = 1,5 \text{ мА}$, при $U_{ке} = 3,7 \text{ В}$.

Виходячи з того, що струм діляника R8, R9 також протікає через резистор R6, визначаємо величину опору резистора R6:

$$R6 = \frac{U_{R6}}{I_{к0} + I_{\phi}} = \frac{2}{(1.5 + 0.78) \cdot 10^{-3}} = 870(\text{Ом}) \quad (2.8)$$

$$R10 = \frac{E_{n2} - U_{R6} - U_{кэ2}}{I_{к2}} = \frac{6 - 2 - 3.7}{1.5 \cdot 10^{-3}} = 200(\text{Ом}) \quad (2.9)$$

Тунельний діод VD3 будемо обирати з умови, що його ділянка вольт-амперної характеристики з від'ємним диференціальним опором має розташовуватись в діапазоні напруг, який буде охоплювати робочу точку $U_{бе2}$ транзистора VT2.

Струм бази VT2 становить:

$$I_{б2} = \frac{I_{к2}}{h_{21}} = \frac{1.5 \cdot 10^{-3}}{34.6} = 0.043(\text{мА}) \quad (2.10)$$

По вхідній характеристиці з довідника визначаємо:

$$U_{бэ2} | (I_{б2} = 0.043 \text{ мА}, U_{кэ2} = 3.7 \text{ В}) \quad (2.11)$$

Обираємо тунельний діод 3І306Р.

Резистор R7 служить для «розв'язки» транзистора VT2 і тунельного діода VD3. Величину оберемо з умови

$$R7 \geq h_{11(VT2)} = 50(\text{Ом}) \quad (2.12)$$

Приймаємо $R7 = 100 \text{ Ом}$.

Виходячи з умови $U_{кэ1} \geq 1.5 \cdot E_{n2} = 9(\text{В})$ оберемо з довідника [14]

транзистор VT1 джерела постійного струму. З довідника обираємо транзистор 2Т301Е (n-p-n типу кремнієвий) з такими параметрами:

« коефіцієнтом передачі струму $h_{21} = 40..180$;

потужність розсіювання колектора $P_{к\text{ мах}} = 150 \text{ мВт}$;

максимальний струм колектора $I_{к\text{ мах}} = 10 \text{ мА}$,

$U_{кб0\text{ мах}} = 30 \text{ В}$, $U_{еб0} = 3 \text{ В}$ ».

За сімейства вихідних характеристик обираємо струм спокою транзистора VT1

$I_{к1} = 2 \text{ мА}$, при $U_{кэ1} = 4 \text{ В}$.

$$R5 = \frac{E_n - U_{кэ1} - U_{VD3}}{I_{к1}} \quad (2.13)$$

Враховуючи те, що напруга на діоді $VD3 = U_{бэ2}$ і падіння напруги на резисторі R7 $U_{R7} = I_{б2} \cdot R7 = 4.3 \text{ мВ}$ дуже малі величини, маємо:

$$R5 = \frac{E_{n2} - U_{кэ1} - U_{бэ2}}{I_{к1}} = \frac{6 - 4 - 0.4}{2 \cdot 10^{-3}} = 800 (\text{Ом}) \quad (2.14)$$

$$R4 = \frac{U_{VD3}}{I_{к1} - I_{VD3}} \quad (2.15)$$

Із довідника, по ВАХ тунельного діоду, маємо:

$$I_{VD3} (U_{VD3} = 0.4 \text{ В}) = 0.5 \text{ мА} \quad (2.16)$$

тоді

$$R4 = \frac{0.4}{(2 - 0.5) \cdot 10^{-3}} = 266.6 (\text{Ом}) \quad (2.17)$$

Пряма напруга відтинання діода VD2 U_{VD3} на тунельному діоді має бути $U_{порVD2} > U_{VD3}$. Виходячи з цієї умови обираємо з довідника [14] кремнієвий діод типу КД503Б з $U_{пор} \approx 6 \text{ В}$.

В якості діода VD1 обираємо діод типу Д220 з прямим струмом

$$I_{np\max} \gg I_{\beta 1} = \frac{I_{\kappa 1}}{h_{21}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{84} = 23.8 \mu A \quad (2.18)$$

Струм діляника R1, R2 приймемо рівним $I_{\partial} \geq 5.0 \cdot I_{\beta 1} = 0.12 \text{ mA}$

Визначаємо напругу на базі транзистора VT1

$$U_{\beta 1} = U_{\beta \partial 1} + (I_{\kappa 1} + I_{\beta 1}) \cdot R5 + U_{VD3} \quad (2.19)$$

По вхідній ВАХ транзистора VT1 із довідника знаходимо:

$$U_{\beta \partial 1} (I_{\beta 1} = 23.8 \mu A) \Big|_{U_{\kappa \partial} = 4B} = 0.62B \quad (2.20)$$

$$U_{\beta 1} = 0.62 + 2.024 \cdot 10^{-3} \cdot 800 + 0.4 = 2.64(B) \quad (2.21)$$

По закону Кірхгофа $U_{\beta 2} = U_{\beta 1} + U_{VD1} \approx 2.64 + 0.85 \approx 3.5(B)$.

Приймемо струм діляника трохи вищим: $I_{\partial} = 0.16 \text{ mA}$.

$$R2 = \frac{U_{R2}}{I_{\partial} + I_{VD1}}, \text{ де струм діода VD1 знаходимо по ВАХ діода із}$$

довідника:

$$I_{VD1} (U_{VD1} = 0.85B) = 0.2 \text{ mA} \quad (2.22)$$

$$R2 = \frac{3.5}{0.36 \cdot 10^{-3}} \approx 10 \text{ kOhm} \quad (2.23)$$

$$R1 = \frac{E_{cm} - U_{R2}}{I_{\partial} + I_{VD1}} = \frac{10 - 3.5}{0.36 \cdot 10^{-3}} = 18 \text{ kOhm} \quad (2.24)$$

$$R3 = \frac{E_{уп} - U_{\beta 2}}{I_{VD1}}, \text{ де напруга керування } E_{кер} \text{ обрано рівною } 50 \text{ В.}$$

$$R3 = \frac{50 - 2.64}{0.2 \cdot 10^{-3}} = \frac{47.36}{0.2 \cdot 10^{-3}} = 236.8 \text{ кОм} \quad (2.25)$$

Потужності, що розсіюється на резисторах, $P_i = R_i \cdot I_i^2$ не перевищує 0.25 Вт, тому використовуємо резистори типу С2-33-0.25.

Всі елементи принципової схеми, які було визначено в ході розрахунку по постійному струму, наведено в Додатку А.

2.3. Розрахунок принципової схеми мультівібратора управління розгорткою з змінного струму

Враховуючи результати розрахунків за змінним струмом схеми мультівібратора управління розгорткою (рис. 2.1) розрахуємо номінали та оберемо конденсатори.[15]

Величину ємності конденсатора С6 обиратимемо враховуючи постійну часу корегуючого ланцюга R9C6, постійна часу якого

$$\tau = \frac{1}{f_c} \cdot \frac{1}{0.707} = \frac{1}{10^7} \cdot \frac{1}{0.707} = 0.142(\text{мкс}) \quad (2.26)$$

Так як $f_{\text{в}} = 10$ МГц - верхня гранична частота сигналу, то

$$C_6 = \frac{\tau}{R_9} = 20.4(\text{нФ}) \quad (2.27)$$

Таким же чином обрахуємо ємність конденсатора С7, враховуючи постійну часу ланцюжка R11C7:

$$\tau = R_{11} \cdot C_7, \text{ маємо } C_7 = \frac{\tau}{R_{11}} = \frac{0.142 \cdot 10^{-6}}{316.5} \approx 448(\text{нФ}) \quad (2.28)$$

Високочастотний блокувальний конденсатор Сбл обираємо в межах 0.1 мкФ, враховуючи умову. $x_{C_{бл}} \ll R_2$.

Частота розгортки (проходження імпульсів мультівібратора) визначається з урахуванням постійної часу RC - ланцюга, який підключається до діода VD3. Період розгортки становить:

$$T_p = \frac{1}{f_p} = R \cdot C_2, \text{ де } R = R_5 + h_{11VT1} \quad (2.29)$$

Величина ємності конденсатора C2 задається перемикачем, який розташований на передній панелі і визначає частоту розгортки осцилографа. Величина вхідного опору транзистора h_{11VT1} :

$$h_{11} = \frac{U_{бэ1}}{I_{б1}} = \frac{0.62}{23.8 \cdot 10^{-6}} = 26.05 (\text{кОм}) \quad (2.30)$$

$$R = R_5 + h_{11} = 800 + 26050 = 26.85 (\text{кОм}) \quad (2.31)$$

Виходячи з максимального та мінімального періоду розгортки, розрахуємо максимальне та мінімальне значення ємності конденсатора C2,

$$C_2 = \frac{T_p}{R} \quad (2.32)$$

За довідником [18] $T_{p \max} = 0.01$ с, $T_{p \min} = 1$ мкс.

$$C_{2 \max} = \frac{T_{p \max}}{R} = \frac{0.01}{26850} = 0.37 (\text{мкФ}) \quad (2.33)$$

$$C_{2 \min} = \frac{T_{p \min}}{R} = \frac{10^{-6}}{26850} = 38 \cdot 10^{-12} (\text{Ф}) \quad (2.34)$$

За розрахунками по змінному струму обираємо конденсатори керамічні типу КМ-5а-Н30 (мають високі електричні показники та доступні за ціною) та наведені в Додатку А.

2.4. Розрахунок посадочних місць друкованої плати

Розрахуємо число посадочних місць друкованої плати (Додаток Б) за наступною формулою, згідно рекомендацій [14]

:

$$n = n_x \cdot n_y \quad (2.35)$$

де

n_x – кількість посадочних місць (вісь X) ,

n_y – кількість посадочних місць (вісь Y) .

$$n_x = \frac{L_x - 3 \cdot x}{t_x} + 1; \quad n_y = \frac{L_y - (y_1 + y_2) - l_y}{t_y} + 1 \quad (2.36)$$

де, як пропонується в довіднику [14]:

« $L_x=70$ мм – розмір друкованої плати (вісь X),

$L_y=47.5$ мм – розмір друкованої плати (вісь Y),

$x=7.5$ мм – ширина крайового поля (вісь і X),

$t_x=5$ мм - крок установки (вісь X),

$t_y=10$ мм – крок установки (вісь Y),

$l_y=15$ мм – розмір посадочного міста (вісь Y),

$y_1=2.5$ мм – ширина крайового поля для контактного гнізда,

$y_2=5$ мм – ширина крайового поля для з'єднувального гнізда»

$$n_x = \frac{70 - 3 \cdot 7.5}{5} + 1 = 10.5 \quad (2.37)$$

$$n_y = \frac{47.5 - (2.5 + 5) - 15}{10} + 1 = 3.5 \quad (2.38)$$

$$n = n_x \cdot n_y = 10.5 \cdot 3.5 = 36.75 \quad (2.39)$$

Отримали, що на платі розміром 70×47.5 є можливість розмістити 36 елементів, що задовольняє проведеним розрахункам.

2.5. Розрахунок надійності мультивібратора управління розгорткою

Розрахунок проведемо, використовуючи[14]:

«Ймовірність $P(t)$ (безвідмовність роботи протягом часу t) є основною характеристикою надійності пристрою. Для її визначення скористаємось формулою $P(t) = \exp(-\lambda_c \cdot t)$ »,

де λ_c – інтенсивність відмов,

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (2.40)$$

де λ_i – інтенсивність відмов кожного елементу;

N – число елементів.

$$\lambda = 10 \cdot 0,0073 + 4 \cdot 0,0003 + 2 \cdot 0,0007 + 0,0006 + 0,00051 + 2 \cdot 0,00055 = 0,0121 \left(\frac{1}{\text{час}} \right).$$

Всередньому, напрацювання на відмову становить:

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0121} = 82,64(\text{час}). \quad (2.42)$$

Ймовірність безвідмовної роботи при $t=[0, T]$ становить

$$P(t) = \exp(-\lambda_c \cdot T) = \exp(-0,0121 \cdot 82,64) = 0,3679 \quad (2.43)$$

$$m'' = \frac{8.48 \cdot 10^{-3}}{70 \cdot 10^{-3} \cdot 47.5 \cdot 10^{-3} \cdot 9.8} = 0.26 \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \right) \quad (2.44)$$

$$f_{гр} = 1.57 \cdot \left(204.08 + \frac{1}{(47.5 \cdot 10^{-3})^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{9.1}{0.26}} = 6.015 (\text{кГц}) \quad (2.45)$$

Отже, за результатами розрахунку маємо частоту власних коливань пластини $f = 144$ Гц і резонансну частоту пластини $f_{гр} = 6.015$ кГц.

В процесі розробки РЕА велика увага приділяється економічному обґрунтуванню та конструктивним рішенням конструкції спрямованим на зниження температури при прийнятному перепаді температур.[16]

При природному охолодженні і нормальних кліматичних умовах у конструкціях РЕА біля 70% тепла відводиться за конвекцією, близько 20% - через випромінювання і 10% - завдяки теплопровідності.

Теплове навантаження вважається малим, якщо воно менше 0,05 Вт см² і значним при перевищенні 0,05 Вт / см².

Таблиця 2.1

Інтенсивність відмов елементів наведено в таблиці 2.1[16]: «

Найменування елемента	Кількість елементів	Інтенсивність відмов, $\frac{1}{\text{час}}$
Резистор С2-33-0,25	10	0,00073
Конденсатор КМ-5а- Н30	4	0,0003
Диоди Д220	1	0,0007
КД503Б	1	0,0007
ЗИ306Р	1	0,0006
Транзистори 2Т301Е	1	0,00051
1Т311А	1	0,00055
1Т308А	1	0,00055

»

Для нашої плати розсіяна на елементах потужність дорівнює:

$$\Sigma P = 0,25 \cdot 11 + 3 \cdot 0,15 = 3,4 \text{ Вт} \quad (2.46)$$

тоді $P_{уд}$ дорівнює:

$$P_{уд} = 3,4 / 3,335 \cdot 10^{-3} = 0,97 \text{ Вт / м}^2 = 0,97 \cdot 10^{-3} \text{ Вт / см}^2 \quad (2.47)$$

Обрахована потужність значно менша 0,05 Вт / см², що значить плату можна розташовувати в герметичній або пилозахисній конструкції.

В результаті виконаної кваліфікаційної роботи розроблені принципова та структурна схеми мультівібратора управління розгорткою осцилографа С1-67. Також виконаний розрахунок електричної схеми, в результаті якого обрали резистор і конденсатори, а також активні елементи – діоди і транзистори. [17]

Також, провели компоновку друкованої плати мультівібратора управління розгорткою.

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ ОСЦИЛОГРАФІВ

3.1. Електронні осцилографи

На екрані електронних осцилографів можна спостерігати характеристики різних імпульсних та електричних, що змінюються в широкому діапазоні частот. Також, за допомогою цих приладів можна проводити вимірювання різних електричних величин, знімати характеристики напівпровідникових приладів, отримати петлю гістерезиса магнітних матеріалів, визначати та досліджувати багато параметрів електронних пристроїв та ін.[18]

Електронні осцилографи в експлуатації дуже прості. Вмикаються в мережу змінної напруги 220В або 127В, частотою 50 Гц. Крім того, деякі типи можуть живитися від джерела змінної напруги 115В або 220 В та частотою 400 Гц або від джерела постійної напруги 24 В.

На рис. 3.1 представлена передня панель електронного осцилографа С1-67.



Рис. 3.1. Передня панель електронного осцилографа С1-67[18]

Вмикається прилад тумблером «Сеть»

Повертаючи дві відповідні ручки, (знаходяться в нижній лівій частині передньої панелі) , регулюючи яскравість та фокусування отримаємо на екрані невеличку крапку чітко окресленим контуром. Бажано не залишати її нерухомою довгий час, щоб запобігти псуванню екрана електронно-променевої трубки.

Ця крапка легко переміщується по екрану поворотом ручок, які позначені двосторонніми стрілками. Тому рекомендується ще до приєднання осцилографа налаштувати його так, щоб на екрані світилась горизонтальна лінія розгортки, відрегульована відповідними ручками в відповідності до умов експерименту.[19]

Досліджувана напруга $u(t)$ подається через з'єднувальний кабель до гнізда «ВХІД Y », далі - на вхідний діляник напруги, керування яким здійснюється ручкою «УСИЛИТЕЛЬ Y », а вже потім на підсилювач вертикального відхилення променя. Тепер на екрані замість нерухомої точки буде світитися вертикальна смуга. Її довжина прямо пропорційна амплітуді вхідної напруги.

Вмикання генератора пилкоподібної напруги, що приєднаний до ЕПТ через підсилювач горизонтального відхилення променя з коефіцієнтом підсилення, що регулюється ручкою перемикача, регулює тривалість розгортки і забезпечує на екрані зображення залежності $u(t)$.

Також за допомогою багатопроменевих осцилографів можна одночасно спостерігати за декількома кривими. В таких осцилографах ЕПТ має декілька систем електродів, які і створюють промені.[20]

Електронні осцилографи дають можливість як спостерігати на екрані певні періодичні процеси, так і фотографувати їх осцилограми.

Цифрові запам'ятовуючі осцилографи, приходять на зміну аналоговим підключаються до ПК або ноутбука через паралельний порт LPT або USB-порт і уже можливості комп'ютера використовують для отримання відображення досліджувальних сигналів (рис. 3.2). [21] При цьому додаткове живлення зазвичай не потрібне.

Дисплей комп'ютера виступає в ролі екрана осцилографа . Такі прилади мають високу пропускну здатність і чутливість.



Рис. 3.2. Запам'ятовуючий цифровий осцилограф ZET 302[21]

Можна, навіть, сказати, що запам'ятовуючий цифровий осцилограф являється спеціальною приставкою комп'ютера, займає менше місця у порівнянні з аналоговими приладами. Можливості цифрового запам'ятовуючого осцилографа обмежуються тільки можливостями ПК.

Управління роботою вузлів цифрового осцилографа здійснює мікропроцесор. Функціональна схема цифрового осцилографа включає в себе цифрові схеми управління, пам'ять, мікропроцесор як і ПК.

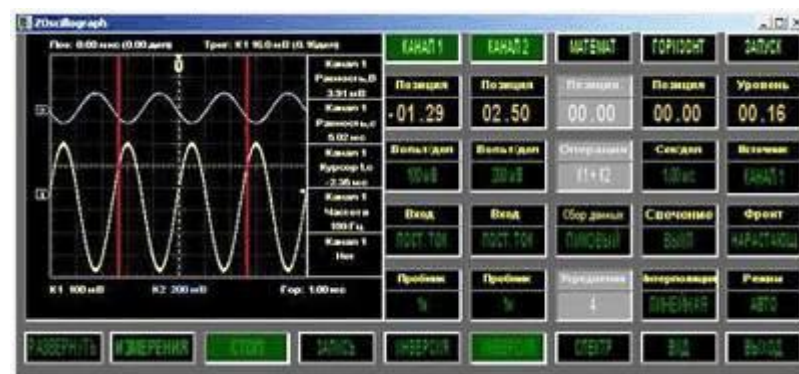


Рис. 3.3. Програма для роботи з цифровим осцилографом[21]

Програмне забезпечення цифрового осцилографа виконує велику кількість функцій, наприклад, які не властиві аналоговим приладам.

3.2. Осцилографи Tektronix серій MDO3 і MSO4

Компанія Tektronix, Inc. додала до своєї лінійці приладів нові осцилографи - MDO серії 3 і MSO серії 4. Нові осцилографи Tektronix середнього цінового діапазону, розроблені для широкого спектра складних додатків і володіють доступною ціною, створені з урахуванням простоти використання і промислового дизайну, вперше реалізованого в відзначених нагородами осцилографах MSO серій 5 і 6. Представлені осцилографи MDO серії 3 і MSO серії 4 доповнюють асортимент осцилографів Tektronix.[22]

Осцилографи Tektronix серій MDO3 і MSO4 - це прилади середнього цінового діапазону, розроблені для широкого спектра складних додатків. Новинки 2019 року створено з урахуванням простоти використання і на основі успішного інноваційного промислового дизайну, вперше реалізованого в сенсаційних осцилографах MSO серій 5 і 6.

Осцилографи MDO серії 3 і MSO серії 4 (рис. 3.4) мають найбільший в галузі дисплей, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача з сенсорним екраном, найвищі в своєму класі характеристики і розширені функції аналізу.



Рис. 3.4. Осцилографи MDO серії 3 і MSO серії 4[22]

З випуском даних приладів компанія Tektronix розширила лінійку сучасних контрольно-вимірювальних приладів, які мають однаковий зовнішній вигляд, загальний інтерфейс користувача і забезпечують широкий спектр характеристик, функцій і цін. Користувач має можливість вибрати прилад в залежності від складності вимірювальних завдань і фінансових можливостей:[23]

- осцилографи MDO серії 3;
- осцилографи MSO серії 4;
- осцилографи MSO серії 5;
- осцилографи MSO серії 6.

У осцилографах серій MDO3 і MSO4 використовується інтерфейс пробників TekVPI, що дозволяє підключати різні пробники Tektronix - диференціальні і активні пробники напруги, струмові пробники, а також нові пробники шин харчування і диференціальні пробники з оптичною розв'язкою.

Основні переваги осцилографів змішаних сигналів MSO СЕРІЇ 4:

- великий екран - дисплей (13,3 дюйма) з найвищою роздільною здатністю HD (1920 x 1080) в своєму класі;
- смуга пропускання до 1,5 ГГц. Також важливо, що верхня межа смуги пропускання від 200 МГц - для задоволення вимог різних додатків;
- частота дискретизації 6,25 Гвиб / с по всіх аналоговим і цифровим каналам для всіх моделей;
- стандартна довжина запису 31,25 млн точок, з опцією - 62,5 млн точок.

12-розрядний АЦП, що забезпечує найвищий дозвіл по вертикалі в своєму класі;

- до 6 входів Flex Channel®. MSO серії 4 - перший в своєму класі прилад з 6 вхідними каналами FlexChannel™, кожен з яких може бути перетворений з аналогового в вісім цифрових каналів шляхом простого підключення логічного пробника.[24]

Безліч додаткових опцій: функції декодування і аналізу сигналів послідовних шин, генератор сигналів довільної форми і стандартних функцій, цифровий вольтметр і частотомір; Spectrum View - нова функція корельованого за часом аналізу в частотній області з незалежними засобами управління спектром; ПО для аналізу джерел живлення дозволяє автоматизувати вимірювання параметрів мережі живлення і імпульсних перетворювачів, таких як рівень пульсацій і порядок чергування фаз; Додавання опцій і збільшення смуги пропускання прямо на місці використання.

Розглянемо основні переваги комбінованих осцилографів MDO серії 3 (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Комбіновані осцилографи MDO серії 3 [24]

MDO серії 3 - універсальний настільний осцилограф з найбільшим в своєму класі екраном (11,6 дюйма) і дозволом full HD. Має той же знайомий інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що і в інших моделях, з аналогічним набором органів управління. Прилад відрізняється компактними розмірами - усього 252 x 370 x 149 мм. [25]

MDO серії 3 - не просто осцилограф. Широкий діапазон завдань налагодження і тестування доступні цьому приладу завдяки ефективній інтеграції безлічі інструментів і опцій:

- верхня межа смуги пропускання від 100 МГц до 1 ГГц;

- частота дискретизації 2,5 ГВиб / с або 5 ГВиб / с по всіх аналоговим і цифровим каналам;
- стандартна довжина запису 10 млн точок;
- 16 вхідних цифрових каналів для аналізу змішаних сигналів;
- повний набір опцій для налагодження і запуску за сигналами послідовних шин;
- опціональне вимірювання параметрів харчування;
- вбудований аналізатор спектру (смуга до 3 ГГц, окремий РЧ вхід, робочі характеристики, порівнянні з характеристиками автономного аналізатора);
- генератор сигналів довільної форми і стандартних функцій;
- цифровий вольтметр і частотомір;
- додавання опцій і збільшення смуги пропускання прямо на місці використання.[26]

Такі розширення дозволяють прискорити налагодження бездротових модулів в пристроях і швидко знаходити джерела паразитних ЕМ випромінювань без використання інших приладів.

ВИСНОВКИ

1) Встановлено, що мультівібратор управління розгорткою це поєднання генератора імпульсів побудованого на тунельному діоді з підсилювачем, побудованим за схемою вмикання транзистора з загальним емітером.

Кероване джерело струму дає можливість задати любе положення робочої точки на характеристиці тунельного діода, що в свою чергу дозволить переводити мультівібратор управління розгорткою із сталого стану в режим самозапуску. Коло корекції дає можливість керувати тривалістю імпульсів генератора імпульсів. З виходу підсилювача імпульс керування подається на вхід схеми генератора пилоподібної напруги та через емітерний повторювач на схему формування імпульсу блокування

2) В результаті виконаної кваліфікаційної роботи розроблені принципова та структурна схеми мультівібратора управління розгорткою осцилографа С1-67. Також виконаний розрахунок електричної схеми, в результаті якого обрали резистор і конденсатори, а також активні елементи – діоди і транзистори.[17]

Також, провели компоновку друкованого вузла мультівібратора управління розгорткою, розрахована кількість посадочних місць на платі.

3) Отримано, що значення обрхованої потужності значно менше $0,05 \text{ Вт} / \text{см}^2$, це значить що плату можна розташовувати в герметичній або пилозахищеній конструкції.

4) В даний час на зміну аналоговим осцилографом приходять цифрові запам'ятовуючі осцилографи, які володіють більш серйозними функціональними і метрологічними можливостями.

Цифрові запам'ятовуючі осцилографи підключаються до персонального комп'ютера або ноутбука через паралельний порт LPT або USB-порт і використовують можливості комп'ютера для відображення електричних сигналів. У більшості моделей додаткового живлення не потрібно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

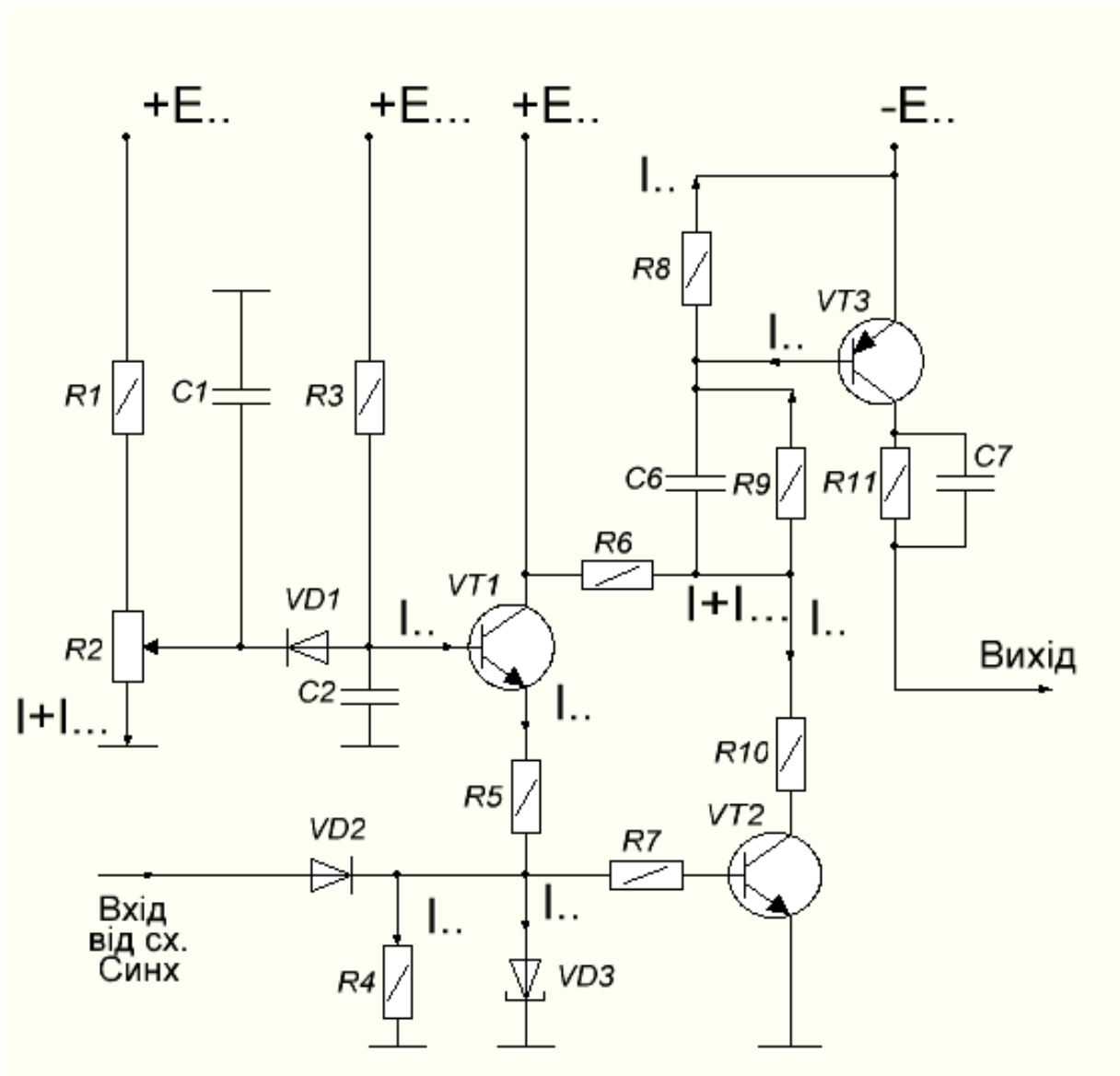
1. Жуйков В.Я. Схемотехніка електронних систем. Т. 2. Цифрова схемотехніка/ Жуйков В.Я., Бойко В.І., Зорі А.А., Співак В.М., Багрій В.В.. Київ. Аверс. 2002. – 405 с.
2. Раннев Г.Г., Информационно-измерительная техника и электроника / Раннев Г.Г., Суругина В.А., Калашников В.И. и др. Москва: Академия, 2006.-410с.
3. Ким К.К. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника / Ким К.К., Анисимов Г.Н., Барбарович В.Ю. и др. СПб.: Питер, 2008.-210с.
4. Бессчетнова Л. В. Схемотехника аналоговых электронных устройств: письменные лекции / Бессчетнова Л. В., Кузьмин Ю. В, Малинин С. И. – СПб. : СЗТУ, 2003. – 128 с.
5. Бойко В. І. Схемотехніка електронних систем: підручник : у 3 кн. Кн 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої / Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. та ін. – К. : Вища школа, 2004. – 366 с.
6. Кобяков О. М. Аналогова схемотехніка : навчальний посібник / Кобяков О. М., Ляпа М. М., Лисенко В. М. та ін. – Суми : СумДУ, 2007. – 209 с.
7. Жуйков В.Я. Схемотехніка електронних систем. Т. 2. Цифрова схемотехніка./ Жуйков В.Я., Бойко В.І., Зорі А.А., Співак В.М., Багрій В.В. Київ. Аверс. 2003. – 425 с.
8. Епифанов С. Н. Электроизмерительные приборы. Справочно-методическое пособие/ Епифанов С. Н., Красных А. А. — Киров: Изд. ВятГТУ, 2005.- 215с.
9. Сучков А.А. Аналоговые и цифровые измерительные устройства.: Семестровый курс лекций/ Сучков А.А. – Ростов-на-Дону, 2008. -290с.
10. Бойко В. І. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої/ Бойко В. І., Гуржій А. Жуйков В. Я.– Київ: Вища школа, 2004. – 510 с.
11. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка/ Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. – Київ: Каравела, 2009. – 416 с.

12. Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка. Теорія і практикум: Навчальний посібник/ Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. – Київ: Каравела, 2003. – 362 с.
13. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка./ Квітка С.О., Яковлев В.Ф – Суми: 2012. – 350с.
14. Гершунский,Б.С. Справочник по расчету электронных схем / Гершунский Б. С.. - Москва : Высшая школа, 1983. - 240 с.
15. Щупляк Н.М. Основи електроніки і мікроелектроніки: Навчальний посібник./ Щупляк Н.М. – м.Дрогобич, 2012. – 217 с.
16. Бойко В. І. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої./ Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. та ін.. – Київ: Вища школа, 2004. – 510 с.
17. Співак В.М. Метрологія. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів/ Співак В.М., Багрій В.В.– Київ:Держстандарт України, 2000.-260с.
18. Савицька М. П. Аналогові електронні пристрої: Навчальний посібник./ Савицька М. П., Ботнар Л. Б. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2009. – 144 с.
19. Ващишак С.П. Електронні пристрої інформаційно-вимірювальної техніки. Лабораторний практикум./ Ващишак С.П. - Івано-Франківськ 2012. — 216 с.
20. Сенько В.І. Електроніка і мікросхемотехніка. - Т.1. Елементна база електронних пристроїв. / Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В. - Київ: Обереги, 2000. - 300 с.
21. Стахів П.Г. Основи електроніки:функціональні елементи та їх застосування./ Стахів П.Г., Коруд В.І., Гамола О.Є. - Львів: Новий світ, 2003. - 128 с.
22. Драгунов В. П. Основы нанoeлектроники : учеб. пособие / Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А.. – Москва : Логос, 2006. – 496 с.
23. Находкін М. Г. Фізичні основи мікро- та нанoeлектроніки : навч. посібник / Находкін М. Г., Шека Д. І. – К.і.і.в: КНУ ім. Т.Г. Шевченка, 2005. – 431 с.
24. Прищепа М. М. Мікроелектроніка : навч. посібник / Прищепа М. М., Погребняк В. П. – Київ : Вища школа, 2004. – 431с.

25. <https://eenergy.media/2020/01/29/novye-usb-ostsillografy-pristavki-dlya-kompyuterov-i-noutbukov/>

26. https://sernia.ru/news/2019/novye_ostsillografy_mdo_serii_3_i_mso_serii_4_tektronix/

ДОДАТКИ



E3 6.050802-20

					Мультивібратор управління розгорткою осцилографа Схема електрична принципова			Літ.	Арк.	Аркушів
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Вдовенко Є.			КІСумДУ-ЕПЗ-61к					
Перевір.		Федчун О.І.								
Н. Контр.										
Затверд.										