

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних  
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра  
**РОЗРОБКА ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОКУТНИХ І СИНУСОЇДАЛЬНИХ  
СИГНАЛІВ**

Студент групи ЕІсЗ – 61к

Кобизький Ю

Науковий керівник,  
ст. викладач, к.т.н.

В.І.Васильєв

Нормоконтроль,  
ст. викладач, к.т.н.

О.Д. Динник

Конотоп 2020

## РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є огляд і аналіз сучасних технічних рішень для розробки електронно-вимірювальних приладів, зокрема, генераторів випробувальних сигналів.

Мета роботи полягає у розробці проектної документації генератору сигналів прямокутної і синусоїдальної форми на рівні функціонального аспекту проектування. Зокрема, принципів електричних схем, розрахунків їх параметрів, методики використання.

При виконанні роботи було проаналізовано стан рівня техніки для даного виду приладів, порівняння різних варіантів рішень щодо створення генератору прямокутних і синусоїдальних сигналів. Одночасно проаналізований економічний аспект створення такого виробу.

У результаті проведення досліджень встановлено, схема що заснована на блокінг–генераторі з трансформаторним позитивним зворотним зв'язком має стабільні параметри як при запуску, так при роботі, стійки форми вихідного сигналу, та є надійним і довершеним, тому і була прийнята до вибору і розрахунку параметрів елементів принципової електричної схеми.

Робота викладена на 33 сторінках, у тому числі включає 15 рисунків, 1 таблиць, список цитованої літератури із 21 джерел.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ГЕНЕРАЦІЯ КОЛИВАНЬ, ПОЗИТИВНИЙ ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК, БЛОКІНГ – ГЕНЕРАТОР, СИНУСОЇДАЛЬНІ, ПРЯМОКУТНІ КОЛИВАННЯ.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>4</b>
<b>РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ГЕНЕРАТОРІВ</b>	
<b>СИГНАЛІВ .....</b>	<b>5</b>
1.1 Генератори низької частоти .....	5
1.2. Генератори синусоїдальних коливань .....	9
1.3 Блокінг–генератор.....	15
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОКУТНИХ</b>	
<b>СИГНАЛІВ НА ПРИКЛАДІ БЛОКІНГ-ГЕНЕРАТОРУ .....</b>	<b>18</b>
2.1 Розрахунок транзистора для роботи блокінг - генератору .....	18
2.2 Вибір коефіцієнт трансформації .....	19
2.3 Розрахунок параметрів конденсатора для роботи блокінг-генератору.....	20
2.4 Розрахунок постійної заряду та індуктивності намагнічування конденсатора для роботи блокінг – генератору .....	22
2.5. Розрахунок максимального значення колекторного струму та спад напруги на конденсаторі для роботи блокінг – генератору .....	24
<b>РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ПРЯМОКУТНИХ І</b>	
<b>СИНУСОЇДАЛЬНИХ СИГНАЛІВ.....</b>	<b>28</b>
3.1 Застосування блокінг–генератора.....	28
3.2 Застосування генераторів в науково – дослідницькій роботі.....	29
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>32</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>34</b>

## ВСТУП

Оснoву сучасної електроніки становить твердотіла електроніка, головними напрямками розвитку якої є максимальне зменшення габаритів напівпровідникових приладів і мікросхем за одночасного підвищення їх надійності, розширення функціональних можливостей та поліпшення технічних характеристик і властивостей.

Сучасний стан розвитку твердотілої електроніки характеризується значним обсягом науково-дослідних робіт як фізичного, так і технологічного характеру, які спрямовані на подальше вдосконалення наявних і створення нових напівпровідникових приладів та мікросхем.

Сьогодні напівпровідникові прилади широко використовуються в радіoeлектроніці і обчислювальній техніці як дискретні прилади, а також як компоненти аналогових і цифрових мікросхем. Крім того, їхні властивості такі, що залежно від вибраної конструкції приладів і режиму роботи вони можуть виконувати функції як активних, так і пасивних компонентів схем.

Отже, існує можливість побудови складних електронних схем з використанням напівпровідникових структур, що особливо важливо для мікроелектроніки.[1]

Через наявність високого входного опору польові транзистори широко застосовують в операційних і електрометричних підсилювачах.

Розширюється їх використання в низькочастотних пристроях, мало потужних підсилювачах тощо. Можливість побудови електронних схем на доповнюючих польових транзисторах з різним типом провідності каналу, що називаються комплементарним, відкриває значні перспективи їх широкого використання в дискретній техніці.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ГЕНЕРАТОРІВ СИГНАЛІВ

#### 1.1 Генератори низької частоти

Генератори низької частоти (ГНЧ) використовуються для отримання незатухаючих періодичних коливань електричного струму в діапазоні частот від часток Гц до десятків кГц. Такі генератори, як правило, являють собою підсилювачі, охоплені позитивним зворотним зв'язком через фазо зсувні ланки. Схема генератора низької частоти зображено на рис. 1.1.

Для здійснення цього зв'язку і для збудження генератора необхідні наступні умови:

- сигнал з виходу підсилювача повинен надходити на вхід зі зрушенням по фазі 360 градусів;
- підсилювач повинен мати деякий запас коефіцієнта посилення.

Оскільки умова оптимального зсуву фаз для виникнення генерації може виконуватися тільки на одній частоті, саме на цій частоті і збуджується підсилювач з позитивним зворотним зв'язком.

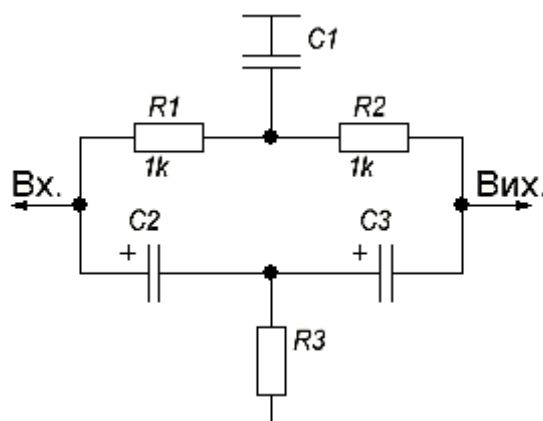


Рис. 1.1 – Генератори низької частоти у вигляді підсилювачів, охоплені позитивним зворотним зв'язком [1]

Для зсуву сигналу по фазі використовують RC- та LC- ланки, крім того,

сам підсилювач вносить в сигнал фазовий зсув. Для отримання позитивного зворотного зв'язку в генераторах (рис. 1.1, 1.5, 1.7) використаний подвійний Т-подібний RC-міст; у генераторах (рис. 1.2, 1.6, 1.8) – міст Віна; в генераторах (рис. 1.3 – 1.4) – фазозсуваючі RC-ланки.

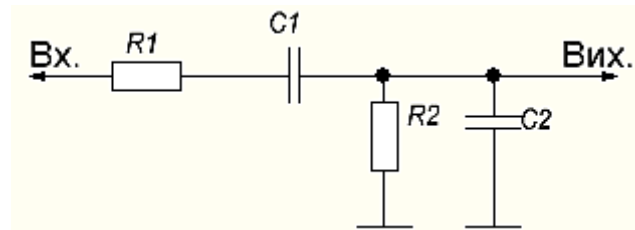


Рис. 1.2 - Генератори низької частоти у вигляді RC-фільтра [2]

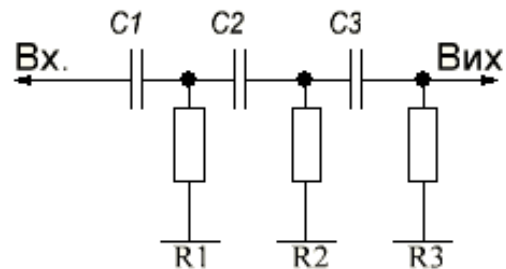


Рис. 1.3 – Генератор низької частоти з фазозсуваючою RC-ланкою [3]

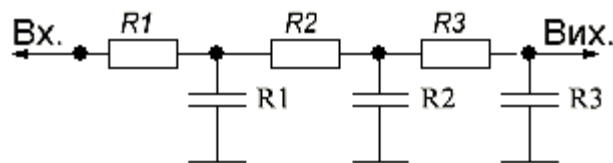


Рис. 1.4 - Генератор низької частоти з фазозсуваючою RC-ланкою [4]

Розрахункові формули і співвідношення для визначення основних характеристик RC-генераторів сигналів синусоїдальної форми наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 Основны характеристики RC-генераторів сигналів синусоїдальної форми.

Фазообертаюча ланка	Назва ланки або схеми	Частота ерації, Гц;	Коеф. посилення, $\mu\text{in}$	Примітка
Рис.1.1	Двоподібний Т-мост	$0,159/RC$	11	$C1=C2=C$ ; $C3=C/0,207$ ; $R1=R2=R; R3=0.207R$
Рис 1.2	Мост Віна	$0,159/RC$	3	$R1=R2=R$ ; $C1=C2=C$
Рис 1.3	$3*RC-R_{\text{паралель}}$	$0,065/ RC$	29	$R1=R2=R3=R$ ; $C1=C2=C3=C$
Рис 1.4	$3*RC-C_{\text{паралель}}$	$0,039/ RC$	29	$R1=R2=R3=R$ ; $C1=C2=C3=C$

Для того щоб співвідношення резистивної-ємнісних елементів генераторів відповідало розрахунковим значенням, вкрай бажано, щоб вхідні та вихідні ланцюга підсилювача, охопленого петлею позитивного зворотного зв'язку, не шунтувати ці елементи, не впливали на їх величину.

У цьому зв'язку для побудови генераторних схем доцільно використовувати каскади посилення, що мають високий вхідний і низький вихідний опору.

На рис. 1.5, приведена «теоретична» і нескладна практична схема генераторів з використанням подвійного Т-моста в ланцюзі позитивного зворотного зв'язку.

Генератори з мостом Віна показані на рис. 1.6, [5]. В якості ПНЧ використаний двохкаскадний підсилювач. Амплітуду вихідного сигналу можна регулювати потенціометром  $R_6$ . Якщо потрібно створити генератор з мостом Віна, перебудовується за частотою, послідовно з резисторами  $R_1$ ,  $R_2$  (рис. 1.2, 1.6) включають здвоєний потенціометр. Частотою такого генератора можна також управляти, замінивши конденсатори  $C_1$  і  $C_2$  (рис. 1.2, 1.6) на здвоєний конденсатор змінної ємності.

Оскільки максимальна ємність такого конденсатора рідко перевищує 500 пФ, вдається перебудувувати частоту генерації тільки в області досить високих частот (десятки, сотні кГц). Стабільність частоти генерації в цьому діапазоні невисока.

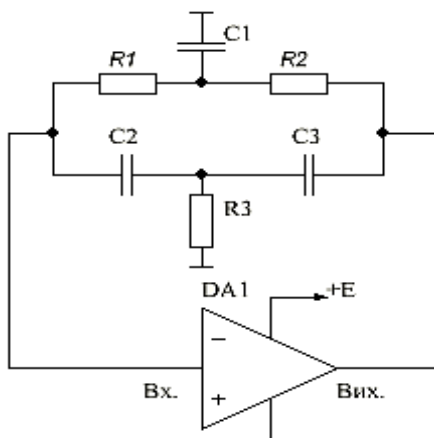


Рис. 1.5 - Схема генератора з використанням подвійного Т-моста в ланці позитивного зворотного зв'язку [6]

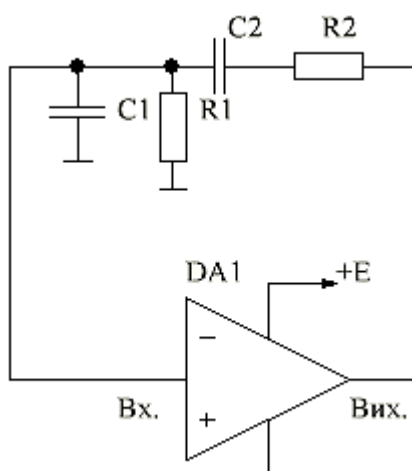


Рис. 1.6 - Генератор з мостом Віна [7]

На практиці для зміни частоти генерації подібних пристроїв часто використовують перемикаються набори конденсаторів або резисторів, а у входних ланцюгах застосовують польові транзистори. В усіх наведених схемах відсутні елементи стабілізації вихідної напруги (для спрощення), хоча для генераторів, що працюють на одній частоті або у вузькому діапазоні її перебудови, їх використання не обов'язково.



## 1.2 Генератори синусоїдальних коливань

Генератор синусоїдальних (гармонійних) коливань – це електронний пристрій, який перетворює електричну енергію джерела постійного струму в енергію електричних синусоїдальних коливань заданої частоти. Розрізняють генератори синусоїдальних коливань з незалежним збудженням і з самозбудженням (автогенератори).

Залежно від частоти коливань, що генерується, генератори підрозділяються на низькочастотні (від 10 Гц до 100 кГц), високочастотні (від 100 кГц до 100 МГц) та надвисокочастотні (понад 100 МГц). За типом частотно-вибіркової ланки, які задають частоту коливань, генератори гармонійних коливань поділяються на LC- і RC- генератори [8].

Будь-яким автогенератором електричних коливань є підсилювач, який охоплений колом додатного зворотного зв'язку ( $D_{33}$ ) (рис 1.7). При  $D_{33}$  частина вихідної напруги  $U_{33}$  & через коло  $D_{33}$  поступає на вхід підсилювача у фазі з вхідною напругою, що забезпечує задане значення  $U_{\text{вих}}$ . Щоб амплітуда вихідної напруги не змінилася, повинна бути виконана умова  $U_{33} U_{\text{вх}} \& = \&$ . Оскільки:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{вих}} | K_u \text{ і } U_{33} = \beta U_{\text{вих}}, \text{ тоді з} \quad (1.1)$$

$$U_{33} = U_{\text{вх}} \text{ виходить } \beta U_{\text{вих}} = U_{\text{вих}} | K_u, \quad (1.2)$$

$$K_u \cdot \beta = 1. \quad (1.3)$$

Рівняння (1.1) є умовою існування в генераторі незатухаючих електричних коливань. Ця умова підрозділяється на умову балансу амплітуд ( $K_U \cdot \beta = 1$ ) і на умову балансу фаз ( $\varphi_U + \varphi_\beta = 2\pi n$ , де  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ).



Рис.1.7 – Структурна схема генератора синусоїдальних коливань [8]

LC генератори призначені для генерування сигналів високої частоти (понад декілька десятків кілогерц). LC- генератори містять в ланцюзі ДЗЗ резонансний контур LC, параметри якого визначають частоту коливань вихідної напруги:

$$(\varphi_{\alpha} + \varphi_{\beta}) = 2\pi n, \text{ де } n = 0, 1 \quad (1.4)$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.5)$$

Схема LC- генератора з трансформаторним зворотним зв'язком наведена на рис. 1.8. Підсилювальний каскад виконаний на транзисторі (увімкнений за схемою СЕ) з елементами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_E$ ,  $C_E$ , які призначені для задання режиму спокою і температурної стабілізації.

Вихідний сигнал знімається з колектора транзистора VT. У схемі однокаскадного підсилювача з чисто активним навантаженням вихідний сигнал знаходиться в протифазі з вхідним сигналом.

У зв'язку з цим для забезпечення умови балансу фаз ланка ДЗЗ на резонансній частоті повинна здійснювати поворот на  $180^\circ$  фази сигналу, який передається на вхід підсилювача.

У схемі генератора параметрами коливального контуру є ємність конденсатора C та індуктивність L первинної обмотки W1 трансформатора T.

Сигнал зворотного зв'язку знімається з вторинної обмотки W2, яка індуктивно зв'язана з обмоткою W1, і через розділяючий конденсатор CP1 подається на вхід транзистора.

Необхідне фазування напруги ЗЗ досягається відповідним підключенням виводів вторинної обмотки. Оскільки напруга ЗЗ менше вихідної напруги, відношення чисел витків первинної і вторинної обмотки  $W_1 / W_2 > 1$ .

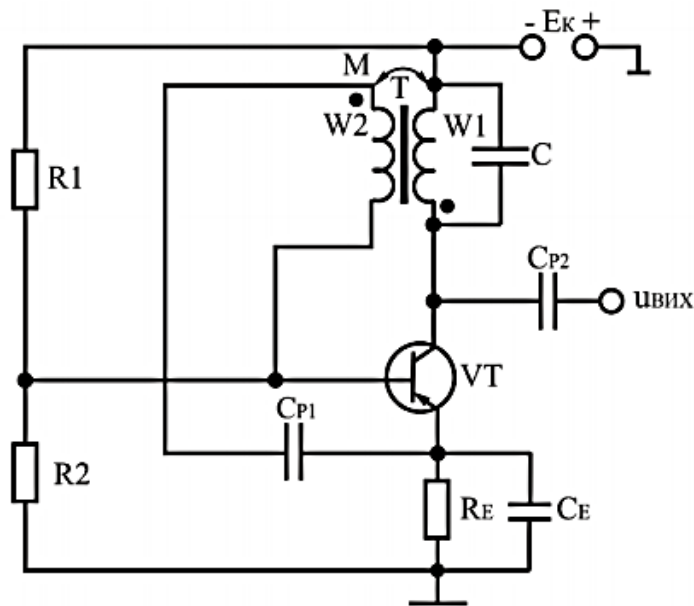
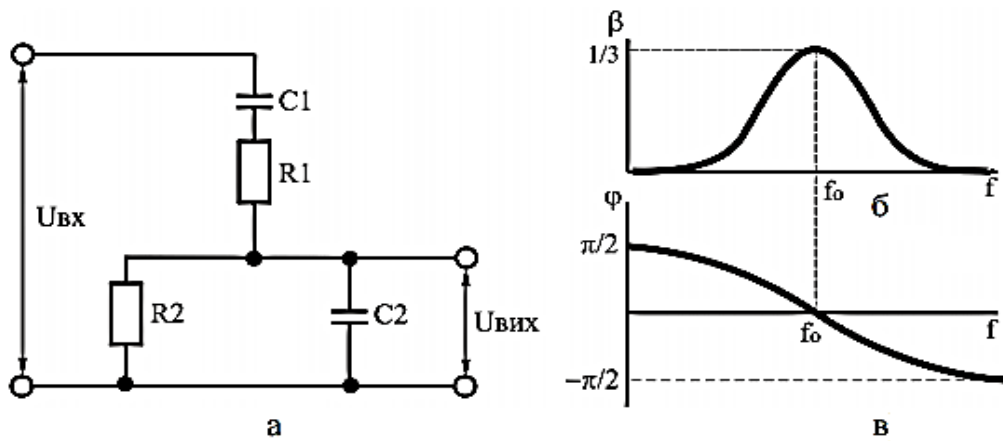


Рис. 1.8 – Схема LC- генератора з трансформаторним зворотним зв'язком [9]

Сигнал зворотного зв'язку може бути знятий безпосередньо з коливального контуру.

Це досягається завдяки секціонуванню індуктивної або ємнісної гілки коливального контуру. У схемах таких генераторів коливальний контур має три точки з'єднання з підсилювачем, в зв'язку з чим їх називають триточковими.

Для отримання гармонійних коливань низької частоти (до одиниць герц) застосовують генератори, у яких в ланці ЗЗ використовуються частотновибіркові кола, що складені з резисторів і конденсаторів. Частотновибірковими ланками, які найчастіше використовуються в RC- генераторах, є Г- подібні RC- кола, міст Віна та подвійний Т- подібний міст. Схема моста Віна і його характеристики приведені на рисунку 1.9.



а – схема

б – амплітудно-частотна характеристика  $\beta = f(f)$ ;

в – фазо-частотна характеристика  $\varphi = f(f)$

Рис. 1.9 – Міст Віна та його характеристики [10]

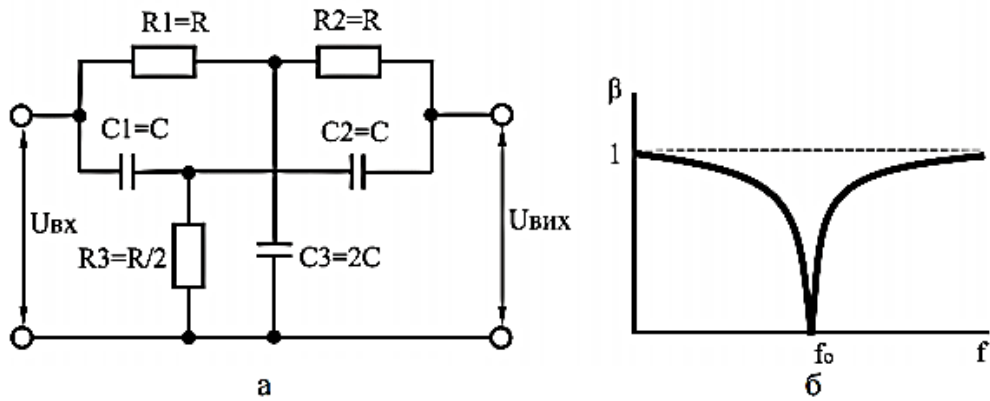
На деякій частоті  $f_0$ , частоті квазірезонансу, коефіцієнт передачі  $\beta$  має максимальне значення  $\beta_0 = 1/3$ , а зсув фаз  $\varphi$  між вхідною і вихідною напругою рівний нулю  $\varphi = 0$ .

Схема подвійного Т- подібного моста і його характеристики наведені на рисунку 1.10.

На квазірезонансній частоті  $f_0 = f_p$  коефіцієнт передачі подвійного симетричного Т- подібного моста рівний нулю ( $\beta = 0$ ). Отже, фазовий зсув на цій частоті також буде рівний нулю ( $\varphi = 0$ ).

Вказані властивості виявляються при певних співвідношеннях між параметрами схеми:  $R_1 = R_2 = R$ ,  $R_3 = R/2$ ;  $C_1 = C_2 = C$ ,  $C_3 = 2C$ .

При увімкненні такого моста в коло ВЗЗ підсилювача на частоті  $f_0$  напруга ВЗЗ рівна нулю і збільшується з віддаленням частоти від квазірезонансної в одну або іншу сторону.



а – схема;

б – амплітудно-частотна характеристика  $\beta = f(f)$ ;

Рис. 1.10 – Подвійний Т- подібний міст та його характеристика [11]

Для побудови RC- генератора на операційному підсилювачі (ОП) з подвійним Т- подібним мостом, міст необхідно вмикати в коло ВЗЗ (рис. 1.11).

За допомогою ділянки  $R_1R_2$  створюється необхідний ДЗЗ, при якому забезпечується генерація на частоті  $f_0$ .

RC- генератор з мостом Віна також можна виконати на операційному підсилювачі (рис. 1.12).

При цьому ланку частотно-вибіркового зворотного зв'язку необхідно включити між виходом і неінвертуючим входом ОП.

Резистори  $R_3$  і  $R_4$  призначені для отримання необхідного коефіцієнта підсилення.

За допомогою змінного резистора  $R_4$  можна змінювати коефіцієнт підсилення підсилювача, добиваючись при цьому найменших нелінійних викривлень коливань, що генеруються.

Оскільки на частоті генерації  $f_0$  коефіцієнт передачі моста Віна  $\beta = 1/3$ , самозбудження генератора можливе при  $K_U > 3$ .

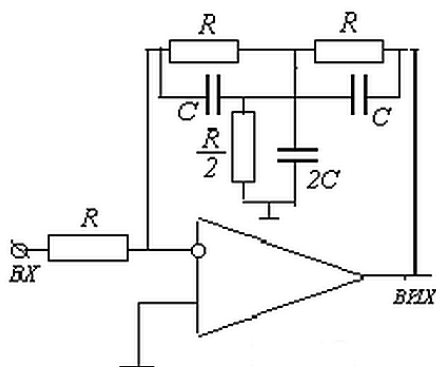


Рис. 1.11 – Схема RC- генератора на операційному підсилювачі з подвійним Т- подібним мостом [12]

Основною характеристикою роботи автогенераторів є стабільність частоти коливань.

Зміна частоти коливань обумовлена нестабільністю напруги живлення, а також зовнішніми чинниками (температурою, тиском).

Нестабільність частоти коливань характеризується коефіцієнтом відносної нестабільності  $\Delta f/f_p$  (де  $f_p$  – робоча частота автогенератора), який визначається через параметри схеми:

$$\text{- для LC- генераторів } \frac{\Delta f}{f_p} = -\frac{1}{2} \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C} \right) \quad (1.6)$$

$$\text{- для RC- генераторів } \frac{\Delta f}{f_p} = - \left( \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta R}{R} \right) \quad (1.7)$$

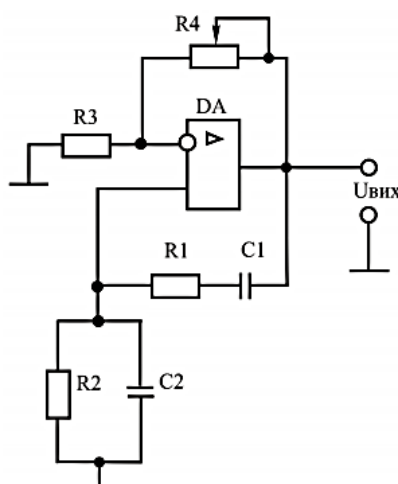


Рисунок 1.12 – Схема RC- генератора з мостом Віна [13]

### 1.3 Блокінг – генератор

Блокінг-генератор – це однокаскадний генератор релаксаційних коливань з трансформаторним позитивним зворотнім зв'язком, призначений для генерування потужних прямокутних імпульсів з дуже великою щільністю (від одиниці до десятків тисяч). Тривалість імпульсів лежить в дуже широких межах – від однієї до декількох сотень мікросекунд.

Використання трансформатора дозволяє вводити допоміжні вихідні обмотки і отримати напругу вихідного імпульсу, яка у багато разів перевищує напругу живлення схеми. Тобто являється підсилювачем [14].

В залежності від способу включення трансформатора розрізняють блокінг-генератор з колекторно-базовим, колекторно-еміттерним, еміттерно-базовим зв'язком.

Цикл роботи блокінг-генератора складається з чотирьох стадій:

- створення переднього фронту імпульсу;
- генерація плоскої верхівки імпульсу;
- створення заднього фронту;
- стадія відновлення.

Цикл роботи блокінг-генератора починається з того, що напруга на базі стає позитивною, і транзистор відкривається. Підвищення колекторного струму призводить до зменшення напруги на колекторі. А оскільки обмотки трансформатора увімкнені назустріч (створюється позитивний зворотній зв'язок) напруга на базі підвищується. Це призводить до подальшого підвищення колекторного струму і зменшення напруги на колекторі.

Цей процес розвивається дуже швидко доти, доки транзистор не досягне глибокого стану насичення, при якому напруга на колекторі зменшується до кількох десятих часток вольт. Зменшення струму у колі колектора викликає зворотний регенеративний процес, при якому напруга на базі зменшується і стає негативною, а на колекторі зростає. Цей процес відбувається дуже швидко (частки мікросекунди) і призводить до повного припинення струму на колекторі. Але магнітна енергія, що накопичилась в осерді, не може миттєво зникнути. Вона реалізується у формі

перехідного процесу, що призводить до позитивного викиду колекторної напруги і коливань у колах колектора і бази на паразитних параметрах трансформатора і транзистора.

Цей процес можна загасити і перевести його у аперіодичну форму збільшивши навантаження у колі навантажувальної обмотки трансформатора.

Далі починається стадія відновлення - пауза між згенерованими імпульсами. Заряд, який накопичився в ємності, починає повільно витікати через опір, а напруга на базі зростає, прямуючи до джерела живлення. Коли напруга перейде через нуль і стане трохи позитивною, транзистор відкривається і починається новий цикл роботи блокінг - генератора.

Блокінг-генератор, як і будь-який релаксатор, може працювати в одному з трьох режимів [15]:

- автоколивальному;
- очікування;
- синхронизації.

Автоколивальний режим блокінг-генератора побудований на транзисторі зі спільним емітером. Це підсилювач, охоплений позитивним зворотнім зв'язком через імпульсний трансформатор. Первинна обмотка підключена в колекторну ланку транзистора, а вторинна обмотка в базову ланку транзистора. Третю обмотку передбачено для підвищення вихідної напруги.

На рис. 1.13 зображено схему автоколивального блокінг-генератора. Щоб забезпечити умови виконання балансу фаз генератора, первинна і вторинна обмотки підключені зустрічно. У базове коло транзистора ввімкнено також RC-ланцюг. Він визначає частоту генерованих імпульсів. Також у данному режимі не існує стану стійкої рівноваги, але існують умови для існування двох станів квазірівноваги.



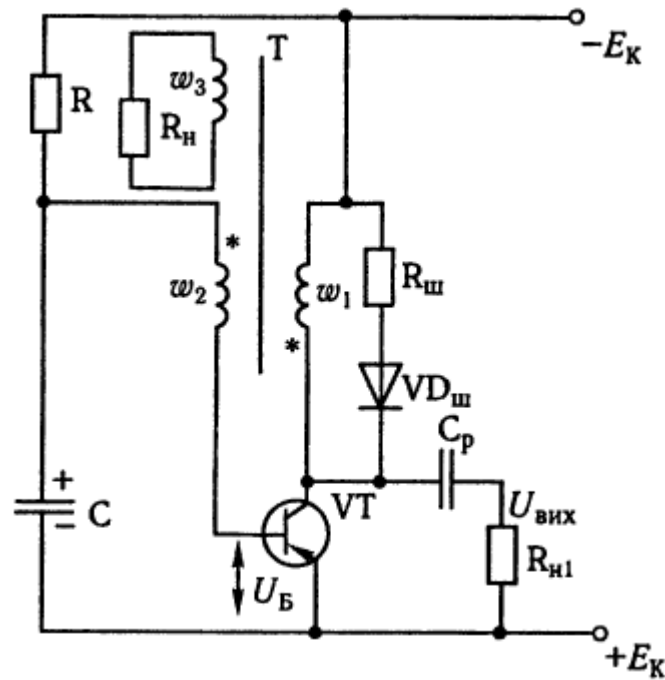


Рис.1.13 – Схема автоколивального блокінг-генератора [16]

Недоліком блокінг-генератора, який працює у автоколивному режимі, є погана стабільність періоду. Через це досить часто використовують блокінг-генератор в очікувальному режимі. Позитивний пусковий імпульс може подаватися безпосередньо на базу, яка підперта негативною запираючою напругою.

Перехід блокінг-генератора із автоколивального режиму до чекаючого забезпечується напругою, яка знімається з резистора, увімкненого до емітерного кола транзистора. Запускається за допомогою зовнішнього імпульса.

Особливістю блокінг-генератора, в порівнянні з мультівібраторами (крім схем на тунельному діоді) є наявність в його схемі тільки одного активного елемента транзистора, лампи та інших елементів, які мають падаючу ділянку вольт амперної характеристики ВАХ.

В схемах блокінг-генератора активний елемент відкривається лише на порівнянно короткий час імпульсу, внаслідок чого струм, який він споживає, менше, ніж в мультівібраторах, де один з активних елементів завжди відкритий.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОКУТНИХ СИГНАЛІВ НА ПРИКЛАДІ БЛОКІНГ - ГЕНЕРАТОРУ

#### 2.1 Розрахунок транзистора для роботи блокінг - генератору

Запуск блокінг-генератора відбувається відкриттям його транзистора, тобто потрібно замкнути петлю додатнього зворотнього зв'язку і запустити процес регенерації. Джерело запускаючих імпульсів може бути підключено до різних кіл блокінг-генератора. В залежності від місця та способу включення джерела залежить швидкість зміни напруги на базі транзистора при його відкриванні в час генерування імпульсу. [17]

Вибираємо транзистор, по доступній напрузі  $U_{КБмакс}$ , В яка визначається за формулою:

$$U_{КБмакс} \geq 2E_k, \quad (2.1)$$

де  $E_k$  - кінетична енергія, В.

Кінетична енергія  $E_k$ , В визначається за формулою:

$$E_k \approx 1,2 \frac{U_{Вих.}}{n_H}, \quad (2.2)$$

де  $U_{Вих.}$  – вихідна напруга, В;

$n_H$  – коефіцієнт трансформації.

Вибираємо коефіцієнт трансформації  $n_H \approx 1$ , отже:

$$E_k = 1,2 \frac{5}{1} = 6 \text{ В} \quad (2.3)$$

$$U_{КБмакс} \geq 12 \text{ В} \quad (2.4)$$

Тому по цих значеннях знаходимо граничну частоту  $f_{h216}$ , МГц за формулою:

$$f_{h216} \geq \frac{0,9-1,7}{t_{\phi}} \quad (2.5)$$

де  $t_{\phi}$  – довжина фронту імпульсу.

$$f_{h216} \geq \frac{0,9-1,7}{1,2 \cdot 10^{-6}} \approx 1,4 \text{ МГц} \quad (2.6)$$

По розрахованим значенням  $U_{КБ\text{макс.}}$  і  $f_{h216}$  вибираємо транзистор МП37А, у<sup>13</sup> якого  $U_{КБ\text{макс.}} = 30 \text{ В}$ ,  $U_{ЕБ\text{макс.}} \approx 4 \text{ В}$ ,  $I_{КОб} = 100 \text{ мкА}$ ,  $f_{h216} = 1 \text{ МГц}$ ,  $C_{к} = 800 \text{ пФ}$ ,  $r_{б} = 220 \text{ Ом}$ .

## 2.2 Вибір коефіцієнт трансформації

Вибираємо коефіцієнт трансформації  $n$ , який визначається за формулою:

$$n = \frac{w_2}{w_1} = n_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{r_{б}}{R_{н}} + \frac{r_{б}}{\tau_{\alpha}} \left( C_{к} + \frac{C_0}{h_{21e}+1} \right)} \quad (2.7)$$

де  $r_{б}$  – поперечний опір бази, Ом;

$R_{н}$  – опір навантаження, Ом;

$\tau_{\alpha}$  – довжина імпульса, мкс;

$C_{к}$  – ємність, пФ;

$C_0$  – нульова ємність, пФ;

$h_{21e}$  – гранична частота, МГц.

Довжина імпульса  $\tau_{\alpha}$ , мкс визначається за формулою:

$$\tau_{\alpha} \approx \frac{0,16}{f_{h216}} \quad (2.8)$$

де  $f_{h216}$  – гранична частота, МГц.

$$\tau_{\alpha} \approx \frac{0,16}{1 \cdot 10^6} = 0,16 \text{ мкс} \quad (2.9)$$

Нульова ємність  $C_0$ , пФ визначається за формулою:

$$C_0 \approx 2C'_H \approx 2n_n C_H \quad (2.10)$$

де  $n_n$  – коефіцієнт трансформації ;

$C_H$  – ємність навантаження, пФ.

$$C_0 \approx 2 \cdot 1 \cdot 80 \cdot 10^{-12} = 160 \text{ пФ} \quad (2.11)$$

Отже,

$$n_{\text{опт}} \approx \sqrt{\frac{220}{1200} + \frac{220}{0,16 \cdot 10^{-6}} \left(80 + \frac{160}{30+1}\right) \cdot 10^{-12}} \approx 0,3. \quad (2.12)$$

Отже візьмемо  $n \approx 0,3$

### 2.3 Розрахунок параметрів конденсатора для роботи блокінг-генератору

Ємність  $C$ , мкФ вибираємо за умовою:

$$C > \frac{t_n}{r_b} \quad (2.13)$$

де  $t_n$  – тривалість фронту імпульсу, мкс;

$r_b$  – поперечний опір бази, Ом.

$$C = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{220} = 0,0455 \text{ мкФ} \quad (2.14)$$

Приймаємо  $C = 0,05$  мкФ. Вплив ємності  $C$  не буде виявлятися на тривалості фронту імпульса, якщо її мінімальне значення вибирати по умові:

$$C \geq C_{\min} = 10 \frac{\frac{\hat{R}_H}{R_{\text{екв.}}} \tau_1 + \tau_\beta}{n^2 (R_{\text{вх.}} + \hat{R}_H) (n K_0 - 1)} \quad (2.15)$$

де  $R_{\text{екв.}}$  – еквівалентний опір, Ом;

$\tau_1$  – довжина імпульса, мкс;

$\tau_\beta$  – довжина імпульса, мкс;

$R_{\text{вх.}}$  – вхідний опір, Ом;

$n K_0$  – нульовий коефіцієнт.

Еквівалентний опір  $R_{\text{екв.}}$ , Ом визначається за формулою:

$$R_{\text{екв.}} \approx \frac{R_H \hat{r}_\beta}{n^2 \hat{R}_H + \hat{r}_\beta} \quad (2.16)$$

$$R_{\text{екв.}} = \frac{1200 \cdot 220}{0,3^2 \cdot 1200 + 220} \approx 805 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

Довжина імпульса  $\tau_1$ , мкс визначається за формулою:

$$\tau_1 = R_{\text{екв.}} [C_K (h_{21e} + 1) + C_0] \quad (2.18)$$

$$\tau_1 = 805 [800 (25 + 1) + 160] \cdot 10^{-12} = 16,9 \text{ мкс.} \quad (2.19)$$

Довжина імпульса  $\tau_\beta$ , мкс визначається за формулою:

$$\tau_\beta = (h_{21e} + 1) \tau_\alpha \quad (2.20)$$

$$\tau_\beta = (25 + 1) \cdot 0,16 \cdot 10^{-6} = 4,16 \text{ мкс.} \approx 5 \text{ мкс.} \quad (2.21)$$

Вхідний опір  $R_{\text{вх.}}$ , Ом визначається за формулою:

$$R_{\text{BX}}' = \frac{r_6'}{n^2} \quad (2.22)$$

$$R_{\text{BX}}' = \frac{220}{0,3^2} = 2444 \text{ Ом} \quad (2.23)$$

Нульовий коефіцієнт  $n K_0$ , визначається за формулою:

$$n K_0 \approx n \frac{h_{21e}}{r_6'} R_{\text{ЕКВ.}} \quad (2.24)$$

$$n K_0 = 0,3 \frac{25}{220} \cdot 805 = 27,5 \quad (2.25)$$

Отже підставляємо:

$$C_{\text{мін}} = \frac{\frac{1200}{805} \cdot 2,13 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6}}{0,3^2 (2444 + 1200) (33 - 1)} = 0,03 \text{ мкФ} \ll C = 0,05 \text{ мкФ} \quad (2.26)$$

#### 2.4 Розрахунок постійної заряду та індуктивності намагнічування конденсатора для роботи блокінг – генератору

Постійна заряду конденсатора  $\tau_C$ , мкс визначається за формулою:

$$\tau_C = r_6' C \quad (2.27)$$

де  $C$  – ємність, пФ.

$$\tau_C = 220 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6} = 11 \text{ мкс} \quad (2.28)$$

Індуктивність намагнічування  $L_\mu$ , МГц визначається за формулою:

$$L_\mu \approx \frac{t_{\text{и}}}{\frac{An}{R_{\text{вх}}}\left(1 - \frac{t_{\text{и}}}{\tau_{\text{с}}}\right) - \frac{1}{R_{\text{н}}}} \quad (2.29)$$

де  $A$  – робота.

Робота  $A$ , визначається за формулою:

$$A = \frac{h_{21e}\tau_{\text{с}} + n\tau_{\text{н}}}{\tau_{\text{с}} - \tau_{\text{н}}} \quad (2.30)$$

де  $\tau_{\text{н}}$  – довжина імпульса, мкс.

Для вибраного транзистора приміняємо:

$$\tau_{\text{н}} \approx 0,7\tau_{\beta} \approx 0,7 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 3,5 \text{ мкс} \quad (2.31)$$

$$A = \frac{25 \cdot 11 \cdot 10^{-6} + 0,3 \cdot 3,5 \cdot 10^{-6}}{(11 - 3,5) \cdot 10^{-6}} \approx 37 \quad (2.32)$$

$$L_\mu = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{\frac{37 \cdot 0,3}{220} \left(1 - \frac{10 \cdot 10^{-6}}{11 \cdot 10^{-6}}\right) - \frac{1}{1200}} = 2,7 \text{ мГн} \quad (2.33)$$

## 2.5 Розрахунок максимального значення колекторного струму та спад напруги на конденсаторі для роботи блокінг – генератору

Максимальне значення колекторного струму  $I_{\text{Кмакс}}$ , мА визначається за формулою:

$$I_{\text{Кмакс}} = \frac{E_{\text{к}}}{L_\mu} t_{\text{и}} + \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{н}}} + \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{вх}}} e^{-\frac{t_{\text{и}}}{\tau_{\text{с}}}}, \quad (2.34)$$

$$I_{\text{Кмакс}} = \frac{6}{2,7 \cdot 10^{-3}} \cdot 10 \cdot 10^{-6} + \frac{6}{1200} + \frac{6}{2444} e^{-\frac{10 \cdot 10^{-6}}{11 \cdot 10^{-6}}} \approx 22 \text{ мА} \quad (2.35)$$

Спад напруги на конденсаторі  $\Delta U_C$ , В визначається за формулою:

$$\Delta U_C = I_{\text{Кмакс}} \frac{\tau_C}{C} \quad (2.36)$$

де  $I_{\text{Кмакс}}$  – зворотній струм колектора, мА.

$$\Delta U_C = 22 \cdot 10^{-3} \frac{0,16 \cdot 10^{-3}}{0,05 \cdot 10^{-3}} = 0,0704 \text{ В.} \quad (2.37)$$

Опір резистора  $R_{\delta}$ , кОм визначається за формулою:

$$R_{\delta} \approx \frac{T - t_{\text{н}}}{C \ln\left(1 + \frac{U}{E_{\text{к}}}\right)} \quad (2.38)$$

де  $T$  – період коливань, мкс;

$U$  – напруга живлення, В.

Напруга живлення  $U$ , В визначається за формулою:

$$U = U_{C0} - \Delta U_C \quad (2.39)$$

де  $U_{C0}$  – напруга конденсатора, В.

Напруга конденсатора  $U_{C0}$ , В визначається за формулою:

$$U_{C0} = nE_{\text{к}} \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{к}}}{\tau_C}}\right) \quad (2.40)$$

$$U_{C0} = 0,3 \cdot 6 \left(1 - e^{-\frac{10 \cdot 10^{-6}}{11 \cdot 10^{-6}}}\right) = 1,1 \text{ В} \quad (2.41)$$

$$U = 1,1 - 0,0704 = 1,03 \text{ В} \quad (2.42)$$



$$R_{\delta} = \frac{(300-10) \cdot 10^{-6}}{0,05 \cdot 10^{-6} \ln\left(1 + \frac{1,03}{6}\right)} = 36,6 \text{ кОм} \quad (2.43)$$

Перевіряємо нестабільність періода коливань при зміні температури:

$$T - t_{\kappa} = R_{\delta} C \ln\left(1 + \frac{U}{E_{\kappa} + I_{\text{КБОмакс}} R_{\delta}}\right) \quad (2.44)$$

де  $I_{\text{КБОмакс}}$  – струм між колектором і базою, мкА.

Струм між колектором і базою  $I_{\text{КБОмакс}}$ , мкА визначається за формулою:

$$I_{\text{КБОмакс}} = I_{\text{КБО}} \cdot 2^{\frac{t_{\text{окр}} - 20^{\circ}}{10^{\circ}}} \quad (2.45)$$

$$I_{\text{КБОмакс}} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 2^{\frac{40^{\circ} - 20^{\circ}}{10^{\circ}}} = 400 \text{ мкА} \quad (2.46)$$

$$T - t_{\kappa} = 36,6 \cdot 10^3 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6} \ln\left(1 + \frac{1,03}{6 + 400 \cdot 10^{-6} \cdot 36,6 \cdot 10^3}\right) = 89 \text{ мкс} \quad (2.47)$$

Отже період коливань  $T$ , мкс визначається за формулою:

$$T = t_{\text{и}} + 89 \quad (2.48)$$

$$T = 10 + 89 = 99 \text{ мкс} \quad (2.49)$$

Зворотній викид напруги  $\Delta U_{\kappa}$ , В визначається за формулою:

$$\Delta U_{\kappa} \approx 0,75 t_{\text{и}} \frac{R_{\text{е}}}{L_{\mu}} E_{\kappa} \quad (2.50)$$

де  $R_{\text{е}}$  – опір емітера, Ом.

Опір емітера  $R_{\text{е}}$ , Ом визначається за формулою:

$$R_{\text{е}} = \frac{R_{\text{н}} R_{\delta}}{n^2 R_{\text{н}} + R_{\delta}} \quad (2.51)$$

$$R_e = \frac{1200 \cdot 36,6 \cdot 10^3}{0,3^2 \cdot 1200 + 36,6 \cdot 10^3} = 1197 \text{ Ом} \quad (2.52)$$

$$\Delta U_K \approx 0,75 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \frac{1197}{2,7 \cdot 10^{-3}} \approx 3,325 \text{ В} \quad (2.53)$$

Щоб зменшити амплітуду викиду, в первинну обмотку трансформатора включаємо ланцюг  $R_{ш}$ , Д.

Визначимо допустиме значення викиду:

$$U_{BE_{max}} \geq n(E_K + \Delta U_{K_{доп}}) \quad (2.54)$$

$$\Delta U_{K_{доп}} = \frac{U_{BE_{max}}}{n} - E_K \quad (2.55)$$

$$\Delta U_{K_{доп}} = \frac{4}{0,3} - 6 = 7,3 \text{ В} \quad (2.56)$$

Тому необхідно, щоб еквівалентний опір не перевищував:

$$R_e \leq \frac{\Delta U_{K_{доп}} L_\mu}{0,75 t_n E_K} \quad (2.57)$$

$$R_e \approx \frac{7,3 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3}}{0,75 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 6} \approx 438 \text{ Ом} \quad (2.58)$$

Так як  $R'_H \gg R_e$  та  $R'_G \gg R_e$ , то приймаємо  $R_{ш} + R_d = 438 \text{ Ом}$ . Обираємо діод, у якого допустимий струм

$$I_{п,доп} \geq I_\mu = \frac{E_K}{L_\mu} t_n \quad (2.59)$$

$$I_\mu = \frac{6}{2,7 \cdot 10^{-3}} \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 222 \text{ мА}. \quad (2.60)$$

Цьому значенню прямого струму відповідає діод АД112А, у якого

$$I_{доп.мах} = 300 \text{ мА}, U_{обр} = 50 \text{ В}, R_{д,пр} \approx 170 \text{ Ом}, R_{ш} = 268 \text{ Ом}$$

## РОЗДІЛ 3

### ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ПРЯМОКУТНИХ І СИНУСОЇДАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

#### 3.1 Застосування блокінг - генератора

Блокінг-генератори дуже широко застосовується в імпульсній і цифровій техніці, в якості потужних генераторів імпульсів прямокутної форми, тривалість яких лежить від долей мікросекунд до декількох мікросекунд в транзисторних схемах і від сотих долей, до декількох десятків мікросекунд в лампових схемах.

Блокінг-генератори у автоколивальному та чекаючому режимах широко застосовувались, наприклад, в схемах керування тиристорами, де вони забезпечували геннерування коротких імпульсів необхідної потужності і електричне розділення кіл керування і силового за рахунок трансформатора

Двотактний блокінг-генератор застосовують для перетворення постійної напруги у змінну з частотою від декількох десятків герц до десятків кілогерц. Потужність навантаження може сягати від десятків міліват (наприклад, у лампі спалаху фотоапарату) до декількох сот ват.

Відомі і інші області їх застосування: ділення частоти імпульсів, запам'ятовування інформації, перетворення низької постійної напруги в більш високою та інше [18].

Майже у всіх сферах діяльності людини використовуються засоби електроніки.

Зараз електронні пристрої та системи керують виробничими процесами, обробляють результати досліджень, допомагають управляти космічними кораблями, передбачають погоду, перекладають з однієї мови на іншу, допомагають ставляти діагнози захворювань і вибирати спосіб лікування

### 3.2 Застосування генераторів в науково – дослідницькій роботі

Універсальний генератор сигналів Rigol DG5102 що зображений на рис.3.1 використовує технологію прямого цифрового синтезу (DDS technology), що забезпечує стабільний, високоточний та "чистий" синусоїдальний сигнал з мінімальними спотвореннями.

Максимальна частота синусоїдального сигналу 100 МГц.



Рис.3.1 - Універсальний генератор сигналів Rigol DG5102 [19]

Універсальний генератор сигналів Rigol DG5102 використовує технологію прямого цифрового синтезу (DDS technology), що забезпечує стабільний, високоточний та "чистий" синусоїдальний сигнал з мінімальними спотвореннями.

Двоканальний генератор сигналів Rigol DG5102 простий у використанні: має інтуїтивний користувацький інтерфейс та зручними органами керування з візуальними підказками.

Вбудовані функції модуляції AM, FM, PM і FSK значно розширюють сферу використання генератора. [19]

За допомогою генератора Rigol DG5102 можна імітувати сигнали від датчиків, моделювати електронні схеми, що дозволяє використовувати його для налаштування та випробування різного обладнання, а також в сервісних роботах і дослідженнях.

Особливості:

- РК-дисплей 4,3;

- максимальна частота синусоїдального сигналу 100 МГц;
- частота дискретизації 1 Гвиб/с;
- роздільна здатність 14 біт;
- можливість підключення цифрового модулю на 16+2 канали, зовнішнього підсилювача потужності і підтримка стрибкоподібної частоти (в комплектацію не входять).

Універсальний генератор сигналів Rigol DG5102 може видавати такі форми сигналу:

- синусоїдальна (Sine);
- імпульсна (Pulse);
- прямокутна (Square);
- пилкоподібна (Ramp);
- шум (Noise);
- кардіальний синус (Sinc);
- зростання за експоненціальним законом (Exponential rise);
- спадання за експоненціальним законом (Exponential fall);
- кардіотонічний (ECG);
- функція Гаусса (Gauss);
- гаверсинус (Haversine);
- функція Лоренца (Lorentz);
- двотональний (Dual tones);
- постійний струм (DC).

Можливість редагування форми довільного сигналу:

- універсальні режими модуляції амплітудна (AM);
- частотна (FM);
- фазова (PM);
- FSK;
- ASK;
- PSK;
- PWM.

На рис.3.2 зображено зовнішній вигляд екрану універсального генератора сигналів Rigol DG5102.



Рис.3.2. – Налаштування та вибір функцій на екрані універсального генератора сигналів Rigol DG5102 [20]

Можливість підключення різноманітних пристроїв на вході та виході, зовнішнього модулюючого джерела, зовнішнього лічильника (10 МГц), зовнішнього введення і виведення пускових імпульсів, виведення форми сигналу, виведення синхронного сигналу, 1 ГБ флеш-пам'яті, подвійний USB-хост, USB-device, LAN та GPIB-інтерфейс (IEEE-488.2), підтримка технології "PictBridge" і дистанційний контроль посередництвом мережі 10/100M Ethernet, відповідність стандартам обладнання LXI-C (Версія 1.2), ПЗ для редагування форм сигналів. [21]

## ВИСНОВКИ

Генератори низької частоти (ГНЧ) використовують для отримання незатухаючих періодичних коливань електричного струму в діапазоні частот від часток Гц до десятків кГц.

На практиці для зміни частоти генерації подібних пристроїв часто використовують перемикаються набори конденсаторів або резисторів, а у входних ланцюгах застосовують польові транзистори.

Основною характеристикою роботи автогенераторів є стабільність частоти коливань.

Зміна частоти коливань обумовлена нестабільністю напруги живлення, а також зовнішніми чинниками (температурою, тиском).

Блокінг-генератор – це однокаскадний генератор релаксаційних коливань з трансформаторним додатнім зворотнім зв'язком, призначений для генерування потужних прямокутних імпульсів з дуже великою щільністю (від одиниці до десятків тисяч).

Тривалість імпульсів лежить в дуже широких межах – від однієї до декількох сотень мікросекунд

Запуск блокінг-генератора відбувається відкриттям його транзистора, тобто потрібно замкнути петлю додатнього зворотнього зв'язку і запустити процес регенерації. Джерело запускаючих імпульсів може бути підключено до різних кіл блокінг-генератора

В другому розділі було розраховано транзистор, коефіцієнт трансформації, конденсатор, постійний заряд індуктивності та намагнічування конденсатора, також розраховано максимальне значення колекторного струму та спад напруги на конденсаторі.

Генератори прямокутних і синусоїдальних сигналів застосовуються в науково – дослідницькій роботі, в медицині та в різних галузях промисловості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. MAX038. High-Frequency Waveform Generator [Електронний ресурс] // Datasheet. Rev. 2a; 9/96. Maxim corp. 16 p. Режим доступу: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX038.pdf>, вільний. Загл. з екрану.
2. Дьяконов В. П. Генерация и генераторы сигналов / В. П. Дьяконов. М. : ДМК Пресс, 2009. 384 с. ISBN 978-5-94074-493-1.
3. Матыкина А. Универсальный функциональный генератор / А. Матыкин // Радио. 1998. №5. С. 34–36.
4. Ноткин Л. Р. Функциональные генераторы и их применение / Л. Р. Ноткин. – М. : Радио и связь, 2003. 184 с.
5. Электронный портал Радиокот. Простой аналоговый функциональный генератор (0,1 Гц – 8 МГц) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://radiokot.ru/circuit/analog/generator/06>.
6. Электронный портал Радиоловитель. Собираем генератор сигналов. Часть 1 [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://radio-stv.ru/generator-signalov-funktsionalnyi-g>.
6. Чинков В.Н. Цифрові засоби вимірюваної техніки військового призначення: підручник / В.Н.Чинков. Х.: ХУПС, 2007. Ч. 1. 244 с.
7. Толстикова В.Ф. Аналоговые методы и средства измерений электрических и магнитных величин: учебное пособие / В.Ф. Толстикова. Х., 2001. Ч. 1. 300 с.
8. Горлач А.А. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике / А.А. Горлач, М.Я. Минц, В.Н. Чинков. К., 2005. 156 с.
9. Новицкий П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками / П.В. Новицкий, В.Г. Кнорринг, В.С. Гутников. Л.: Энергия, 2000. 424 с.
10. Лебедев О.Н. Микросхемы памяти. ЦАП и АЦП: справочник / О.Н. Лебедев, А.И.К. Марцинкявичюс, А.К. Багданский. 2-е изд., стереотип. М.: Кубка, 2006. 384 с.
11. Бочаров Л.Н. Розрахунок електронних виробів на транзисторах (2008) ст. 132 – 139.



12. Arbitrary Waveform Generators. AWG5000Series (AWG5014, AWG5012, AWG5001, AWG5002. Tektronix, 76W\_20381.pdf.

13. Characterization of IQ Modulators Counts On Flexible Signal Generator Simuls. Application Note. Tektronix, 75W\_20744\_0.pdf.

14. Arbitrary/Function Generators provide versatile stimulus in RF Applications. Tektronix, 75W\_21197\_0.pdf.

15. Direct Synthesis Comes to the Art of Serial Measurements. Tektronix, 76W\_19777.pdf.

16. Ultra Wide Bandwidth Technology and Test Software. Tektronix, 76W\_20475\_0.pdf.

17. Джонатан Мис (Tektronix, Inc.). Измерение параметров сверхширокополосных сигналов: проблемы и решения. Контрольно - измерительные приборы и системы, 2007, № 3.

18. Кристоф Раушер. Основы спектрального анализа. М.: Rohde&Schwarz, Горячая линия Телепорт. 2006.

19. Юрген Остермайер (R&S). Прецизионные сигналы для тестирования аэронавигационных приемников. Контрольно- измерительные приборы и системы, 2007, № 4.

20. Эндрю Уилсон (Agilent Technologies). Большой шаг в измерении джиттера. Контрольно - измерительные приборы и системы, 2006, № 5.

21. Анализатор сигналов FSUP компании ROHDE&SCHWARZ. Контрольно - измерительные приборы и системы, 2006, № 6