

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, СПОРТУ ТА МОЛОДІ
УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

“Аналогова та цифрова електроніка”

для студентів за напрямком підготовки 6.050902

“Радіоелектронні апарати”

усіх форм навчання

Частина 1

2011

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Аналогова та цифрова електроніка" для студентів за напрямком підготовки 6.050902 "Радіоелектронні апарати" усіх форм навчання. Частина 1 / Уклад.: Полянський Г.О. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 66 с.

Укладач: Г.О. Полянський, к.т.н., доцент

Рецензент: Петріщев О.О., к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск: В.М. Крищук, зав. кафедри КТВР, к.т.н., професор

Затверджено на засіданні
кафедри КВР
від 14.11.11
протокол № 2

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1. Дослідження релаксаційних генераторів прямокутних імпульсів	5
1.1 Короткі теоретичні відомості.....	6
1.1.1 Мультивібратор.....	6
1.1.2 Мультивібратор на ОП.....	9
1.1.3 Мультивібратор на ТТЛ-ІС.....	11
1.2 Опис лабораторної установки.....	14
1.3 Підготовка до лабораторної роботи.....	15
1.4 Порядок виконання роботи.....	16
1.4.1 Дослідженню мультивібратора на дискретних елементах.....	16
1.4.2 Дослідження мультивібратора на ОП.....	17
1.4.3 Дослідження мультивібратора на ТТЛ-ІС.....	17
1.5 Контрольні запитання.....	19
1.6 Література.....	19
Лабораторна робота №2. Дослідження схем генераторів пилкоподібної напруги.....	20
2.1 Лабораторна установка.....	20
2.2 Підготовка до роботи.....	21
2.3 Порядок виконання роботи.....	21
2.4 Зміст звіту.....	23
2.5 Контрольні запитання.....	24
2.6 Короткі теоретичні відомості.....	25
2.7 Література.....	36
Лабораторна робота №3. Електронні ключі.....	37
3.1 Лабораторна установка.....	37
3.2 Підготовка до роботи.....	39
3.3 Порядок виконання роботи.....	40
3.4 Зміст звіту.....	43
3.5 Контрольні запитання.....	43
3.6 Короткі теоретичні відомості.....	44
3.6.1 Ключі напруг на біполярних транзисторах.....	45
3.6.1.1 Робота ключа в статистичному режимі.....	46
3.6.1.2 Робота ключа в динамічному режимі.....	46
3.6.1.3 Засоби збільшення швидкодії ключа.....	48
3.6.2 Ключ на МДП-транзисторах.....	49
3.6.2.1 Ключ на МДП-транзисторах резистивним навантаженням...50	50

3.6.3.2 Ключ на МДП-транзисторі з динамічним навантаженням....	51
3.6.3.3 Ключ на МДП-транзисторах з доповнюючими типами провідимості	51
3.6.4 Транзисторний перемикач струму (струмовий ключ).....	52
3.7 Література.....	53
Лабораторна робота №4. Характеристики і параметри інтегральних логічних елементів.....	54
4.1 Лабораторна установка.....	54
4.2 Підготовка до роботи.....	55
4.3 Порядок виконання роботи.....	56
4.4 Зміст звіту.....	59
4.5 Контрольні запитання.....	59
4.6 Короткі теоретичні відомості.....	60
4.6.1 Типи логічних інтегральних схем.....	60
4.6.1.1 Базовий логічний елемент транзисторно-транзисторної логіки	60
4.6.1.2 Елемент емітерно-зв'язаної логіки.....	62
4.6.1.3 Логічні елементи КМДП-типу.....	63
4.6.2 Основні характеристики і параметри логічних ІС.....	64
4.6.3 Умовні позначення інтегральних логічних елементів.....	66
4.7 Література.....	66
Частина 2.	

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ПРЯМОКУТНИХ ІМПУЛЬСІВ

Мета роботи – вивчити схеми побудови і принципи функціонування генераторів прямокутних імпульсів. Експериментально дослідити мультівібратори (МВ) побудовані на дискретних компонентах, операційних підсилювачах (ОП), інтегральних схемах (ТТЛ-ІС). Засвоїти методику виміру параметрів сигналів у колах імпульсних генераторів.

Студент повинен знати:

- призначення, основні параметри і характеристики релаксаційних генераторів;
- призначення всіх елементів, що входять до схеми та їх - вплив на параметри релаксаційних генераторів;
- вплив конструкції релаксаційного генератора на його параметри.

Студент повинен вміти:

- побудувати схеми релаксаційних генераторів на різній елементній базі;
- розрахувати параметри релаксаційних генераторів;
- проводити вимірювання параметрів генераторів (T , t_i , t_n , t_ϕ , f).

1.1 Короткі теоретичні відомості

1.1.1 Мультивібратор

Мультивібратор (МВ) - релаксаційний генератор імпульсів прямокутної форми, включений як підсилювальний пристрій із сильним позитивним зворотним зв'язком (ПЗЗ).

МВ використовуються в обчислювальній техніці та імпульсних пристроях для генерації прямокутних імпульсів. МВ бувають симетричні, якщо виконуються умови $R_{K1} = R_{K2}$; $R_{B1} = R_{B2}$; $C1 = C2$ та несиметричні. В симетричних МВ тривалість імпульсу (t_i) та паузи (t_n) рівні між собою, а тривалість періоду імпульсів $T = t_i + t_n \approx 1,41 \cdot R_B \cdot C$.

Розглянемо роботу симетричного МВ рис.1.1а, часова діаграма роботи якого наведена на рис. 1.1б.

Припустимо, що в момент часу t_0 відбувається чергове переключення мультивібратора, і транзистор VT1 попадає в режим насичення, а VT2 у режим відсічення. З цього моменту в схемі починає протікати два самостійних процеси, зв'язані з перезарядженням конденсаторів C1 та C2.

До моменту $t = t_0$ C2 цілком розряджений і після насичення VT1 починається заряд цього конденсатора по колу:

$$+En \rightarrow R_{K2} \rightarrow C2 \rightarrow B - EVT1 \rightarrow -En$$

Конденсатор зарядиться до напруги:

$$U_{C2} = En \cdot [1 - \exp(-t/R_{K2} \cdot C2)]$$

Тому що C2 через перехід Б-Е насиченого транзистора VT1 шунтує перехід К-Е транзистора VT2, то процес заряду C2 визначає швидкість зміни напруги на колекторі VT2. Тривалість фронту колекторної напруги U_{K2} визначається:

$$t_{\phi} = t_1 - t_2 = R_{K2} \cdot C2 \cdot \ln 10 \approx 2,3 R_{K2} \cdot C2$$

У t_0 струм бази VT1 складається з постійного струму резистора R_{B1} і струму заряду конденсатора C2. Тому після насичення струм бази VT1 більше необхідного для його насичення, і напруга на переході Б-Е VT1 має максимальне значення $-U_{BE1H}$. По мірі заряду C2, напруга U_m падає до величини, обумовленої тільки резистором R_{B1} .

Другий процес зв'язаний з розрядом зарядженого конденсатора C1 по колу:

$$-En \rightarrow E - KVT1 \rightarrow C1 \rightarrow R_{B2} \rightarrow +En.$$

Тому що VT1 насичений, то $U_{BE2} \approx U_{C1}$ і VT2 надійно закритий. Процес розряду C1 описується:

$$U_{C1} = E_n \cdot [2 \cdot \exp(-t/R_{B2} \cdot C2) - 1]$$

Цей процес закінчується в момент, коли $U_{C1} = 0$.

Час розряду C1:

$$t_2 - t_0 = 0,7 \cdot R_{B2} \cdot C1$$

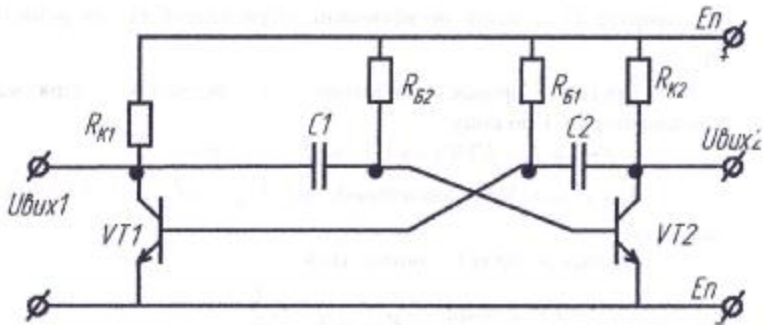
В момент часу t_2 відбувається чергове переключення транзисторів – VT1 закривається, VT2 відкривається. Далі процес піде аналогічно описаному.

До моменту $t = t_2$ C1 повністю розряджений і після насичення VT2 починається заряд цього конденсатора по колу:

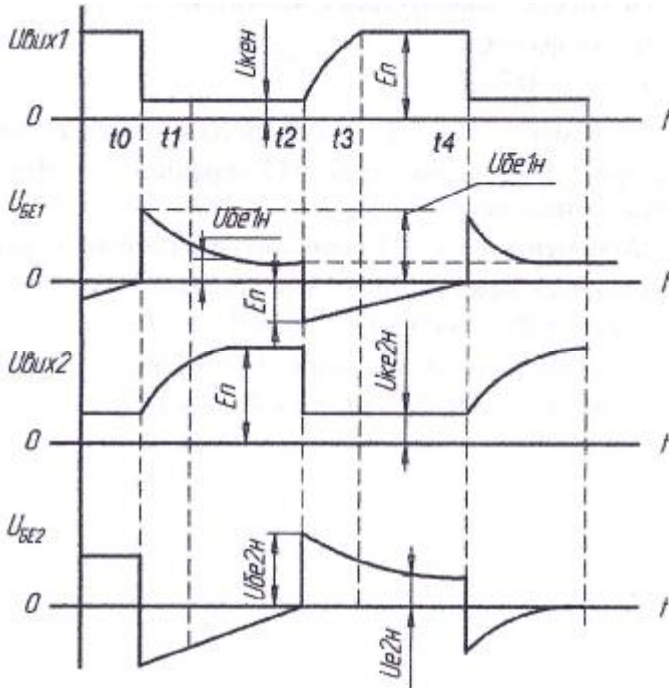
$$+ E_n \rightarrow R_{K1} \rightarrow C1 \rightarrow B - E_{VT2} \rightarrow -E_n$$

В цей час починається розряд C2 по колу:

$$- E_n \rightarrow K - E_{VT1} \rightarrow C2 \rightarrow R_{B1} \rightarrow +E_n.$$



а) схема симетричного мультівібратора



б) часова діаграма

Рисунок 1.1 – Мультивібратор

Таким чином час перебування схеми в квазістійкому стані визначається процесом розряду, а тривалість фронту колекторної напруги - процесами заряду конденсатора. Тривалість фронту колекторної напруги, дорівнює часу підготовки схеми до наступного переключення, завжди менше тривалості вихідного сигналу. Вихідний сигнал автоколебального мультивібратора близький до прямокутного, причому тривалість імпульсу t_1 і паузи t_n дорівнює між собою ($t_2 - t_0 = t_4 - t_2$). Частота вихідного сигналу симетричного мультивібратора не залежить від напруги джерела та визначається параметрами його елементів

$$f \approx 0,7/R_B \cdot C.$$

Для поліпшення переднього фронту вихідного сигналу необхідно виключити резистори R_k з кола заряду конденсаторів C . З цією метою в схему включають додатково діоди $VD1$, $VD2$ і резистори $R1$, $R2$. При цьому коло заряду конденсаторів:

$$E_n \rightarrow R1(R2) \rightarrow C2 \rightarrow B - EVT1(VT2) \rightarrow -E_n$$

Тобто колектори транзисторів $VT1(VT2)$ на час заряду конденсаторів $C1(C2)$ відключаються від них діодами $VD1(VD2)$.

1.1.2 Мультивібратор на ОП

Схема мультивібратора на ОП приведена на рис.2а, часові діаграми функціонування на рис.2б. У даному випадку ОП охоплений двома колами зворотного зв'язку: позитивним ПЗЗ $R1$, $R2$ і негативним НЗЗ R_{oc} , C . Глибина ПЗЗ більше глибини НЗЗ.

В момент часу t_0 на схему подана напруга живлення. Тому що ОП охоплений колом безінерційної ПЗЗ, а напруга на інвертуючому вході $U_{exH} = U_{CHЗЗ} = 0$, на виході ОП може встановитися кожна з максимально можливих напруг.

Припустимо, що $U_{вих} = U_{вихт}$ тоді вихідна напруга ОП буде:

$$U_{exOY} = U_{exH} - U_{exH} < 0,$$

тому що ПЗЗ установлює на неінвертуючому вході:

$$U_{exH} = U_{exт} \cdot R2/R1 + R2.$$

Конденсатор починає заряджатися з постійною часу $\tau_{зар} = R_{oc} \cdot C$. Напруга на інвертуючому вході ОП підвищується і супроводжується збільшенням вхідної напруги ОП, тобто стан схеми буде квазістійким.

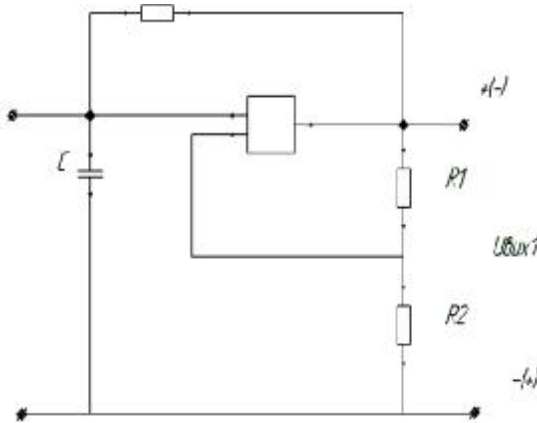
В момент t_1 напруга на інвертуючому вході ОП досягає значення:

$$U_{вихт} = U_{вихт} \cdot \frac{R2}{R1} + R2$$

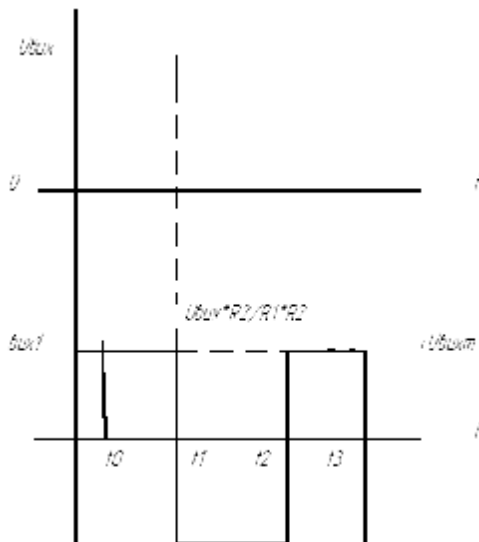
при цьому $U_{\text{вихОП}} = 0$, а вихідна напруга змінить свою полярність, зменшиться до $U_{\text{вих1}} = -U_{\text{вих2}}$. Конденсатор перезаряджається до напруги $-U_{\text{вих2}}$ з такою ж постійною часу.

Нові стани схеми також будуть квазістійкими. Зміна полярності $U_{\text{вих}}$ викликає перезарядження конденсатора. В результаті цього з часом вхідна напруга ОП $U_{\text{вихОП}}$ буде зменшуватися, і в момент t_2 , коли $U_{\text{вихОП}} = 0$, відбудеться чергове переключення схеми і процес повториться. Таким чином, на виході ОП формується змінна напруга $U_{\text{вих1}}$ прямокутної форми, а на конденсаторі С ($U_{\text{вих2}}$) формується пилоподібна напруга. Якщо $U_{\text{вих2}} = |-U_{\text{вих1}}|$ і $R1=R2$, то частота вихідного сигналу мультивібратора:

$$f \approx 0,76/RC$$



а) схема мультивібратора на ОП



б) часова діаграма

Рисунок 1.2 – Мультивібратор на ОП

1.1.3 Мультивібратор на ТТЛ-ІС

Схема мультивібратора приведена на рис.3а, часові діаграми функціонування на рис.1.36. Елементи DD1, DD2 охоплені позитивним зворотним зв'язком (конденсатори C1, C2). Відкритий стан елемента підтримується напругою E_n , що подається через резистори R1(R2), закритий стан – негативною напругою зарядженого конденсатора C1(C2).

Нехай при включенні напруги живлення E_n схема установиться в стан: DD1 закритий ($U_{\text{вих1}} = "1"$), DD2 відкритий ($U_{\text{вих2}} = "0"$). Конденсатор заряджається до напруги "1". Струм заряду протікає через вхідне коло відкритого елемента DD2, цей стан зберігається до того моменту часу поки C1 розрядиться до напруги "0", тобто відкривається DD1. Схема переключається в новий стан: напруга на виході DD1 зменшиться від рівня "1" до "0" і через C2 передається на вхід DD2 і закриває його.

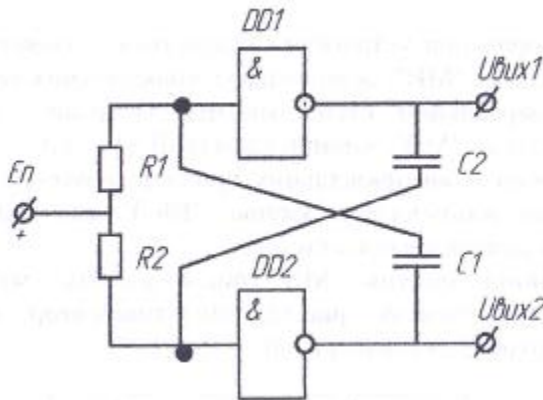
Процес закриття – відкриття підтримується ПЗЗ і протікає швидко, тривалість його визначається швидкодією логічних елементів.

Тривалість вихідного сигналу визначається часом розряду конденсаторі C1(C2) через резистори R1(R2):

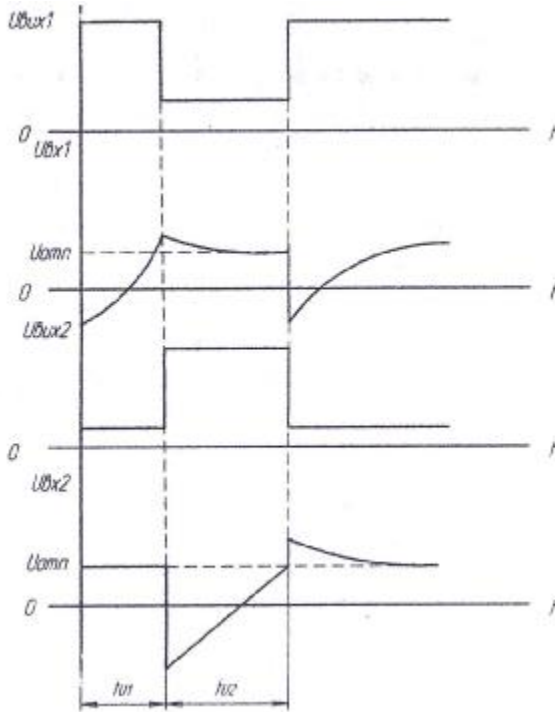
$$t_U = \tau \ln[(E_n + U') / (E_n - U_{om})]$$

де $\tau = RC$

Період коливань дорівнює сумі тривалості імпульсів на виході елементів DD1, DD2.



а) схема мультивибратора ТТЛ-ІС



б) часові діаграми

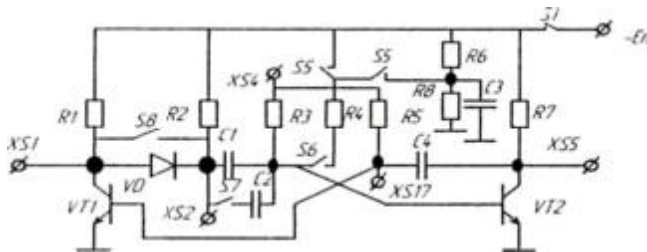
Рисунок 1.3- Мультивібратор на ТТЛ-ІС

1.2 Опис лабораторної установки

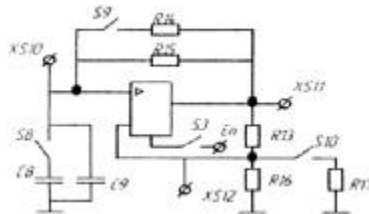
Лабораторна установка складається з: універсального станда, змінного модуля "МВ", осцилографа, коаксіальних кабелів.

Універсальний стенд містить з'єднувачі для підключення змінного модуля "МВ", кнопки комутації S1 - S10, гнізда XS1 - XS20 для підключення вимірювальних приладів, коаксіальні з'єднувачі для підключення осцилографа, кнопка "ВКЛ" для включення напруги харчування універсального станда.

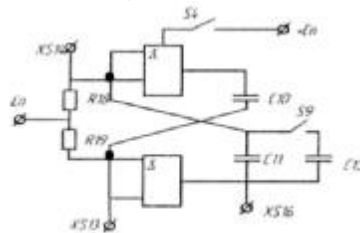
Змінний модуль "МВ" рис.1.4 містить: мультивібратор на дискретних елементах рис.4а, мультивібратор на ОП рис.1.4 б, мультивібратор на ТТЛ-ІС рис.1.4 в.



а) МВ на дискретних елементах.



б) МВ на ОП



в) МВ на ТТЛ-ІС

Рисунок 1.4 – Принципова схема змінного модуля «МВ»

1.3 Підготовка до лабораторної роботи

1.3.1 Користуючись даними методичними вказівками, рекомендованою літературою, вивчити схеми побудови і принципи функціонування мультівібраторів, побудованих на дискретних елементах, ОП та ТТЛ-ІС

1.3.2 Накреслити схеми досліджуваних мультівібраторів та часові діаграми роботи;

1.3.3 Відповісти на контрольні питання;

1.3.4 Підготувати протоколи експериментальних досліджень, аналогічних табл.1.1.

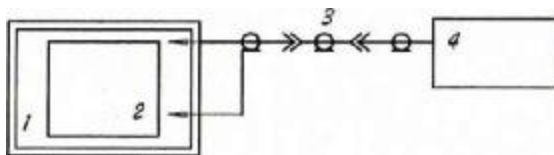
Таблиця 1.1 – Протоколи досліджень

№ п/п	Досліджувана схема	Параметри вихідних сигналів			
		Амплітуда, $U_{\text{вих}}$	Тривалості		
			періоду, T	імпульсу, τ_{II}	паузи, $\tau_{\text{п}}$
1	МВ на дискретних елементах				
2	МВ на ОП				
3	МВ на ТТЛ-ІС				

1.4 Порядок виконання роботи

Зібрати схему лабораторної установки відповідно до рис.1.5.

На універсальному стенді, осцилографі органи керування установити відповідно до табл.1.2.



1 - універсальний стенд, 2 - змінний модуль "МВ", 3 - кабелі, 4 - осцилограф.

Рисунок 1.5 - Схема лабораторної установки

Таблиця 1.2 – Встановлення органів керування

Органи керування обладнанням		Досліджувана схема		
		МВ на дискретних елементах	МВ на ОП	МВ на ТТЛ-ІС
Універсальний стенд	Напруга живлення	S1	S3	S4
	Гніздо вихідне	XS5	XS11	XS16
Осцилограф	Коеф. апроксимації	1 В/діл		
	Коеф. розгортки	5 мксек/діл		

1.4.1 Дослідженню мультівібратора на дискретних елементах

Включити напругу живлення універсального стенда кнопкою "ВКЛ",- кнопкою комутації S1 подати напругу живлення на мультівібратор. Вхід осцилографа з'єднати з виходом мультівібратора (гніздо XS5 або XS6).

Провести дослідження схем мультивібратора при положенні кнопок комутації у відповідності з табл.1.3.

На екрані осцилографа спостерігати осцилограми вихідних сигналів (гніздо XS5). Заміряти параметри вихідних сигналів і занести до протоколу вимірів табл.1.1. Накреслити осцилограми вихідних сигналів. Кнопку комутації S1 виключити.

1.4.2 Дослідження мультивібратора на ОП

Кнопкою комутації S3 подати напругу живлення на мультивібратор. Вхід осцилографа з'єднати з виходом мультивібратора (гніздо XS11).

Провести дослідження схем мультивібратора при положенні кнопок комутації у відповідності з табл.1.1.

На екрані осцилографа спостерігати осцилограми вихідних сигналів (гніздо XS11). Зміряти параметри вихідних сигналів і занести до протоколу вимірів табл.1.1. Накреслити осцилограми вихідних сигналів. Кнопку комутації S3 виключити.

1.4.3 Дослідження мультивібратора на ТТЛ-ІС

Кнопкою комутації S4 подати напругу живлення на мультивібратор. Вхід осцилографа з'єднати з виходом мультивібратора (гніздо XS16).

Провести дослідження схем мультивібратора при положенні кнопок комутації у відповідності з табл.1.3.

На екрані осцилографа спостерігати осцилограми вихідних сигналів (гніздо XS16). Зміряти параметри вихідних сигналів і занести до протоколу вимірів табл.1.1. Накреслити осцилограми вихідних сигналів. Виключити кнопку комутації S1 - S10, кнопку "ВКЛ" універсального стенда, осцилограф.

Таблиця 1.3 – Кнопки комутації

№ п/п	Досліджувана схема	Елементи в колах ОС	Включені кнопки комутації
1	МВ на дискретних елементах Схема 1 2 3 4	R3C1;R5C4; R3'C1 C2;R5C4 R4 R3,C1 C2;R5C4; R3 R4;C1;R5C4;	S1 S1,S7 S1,S7,S6 S1,S6
2	МВ на ОУ Схема 1 2 3 4	R13,R16;R15,C9; R13,R16 R17;R15,C9; R13,R16;R15,C9 C8; R13,R16;R14 R15,C9;	S3 S3,S10 S3,S8 S3,S9
3	МВ на ТТЛ-ИС Схема 1 2	C10,R19;C11,R18; C10,R19;C11 C12,R18;	S4 S4,S9

1.5 Контрольні запитання

- 1.5.1. Накреслити схеми мультівібраторів на дискретних елементах, ОП, ТТЛ-ІС і пояснити їх роботу.
- 1.5.2. Накреслити часові діаграми роботи МВ.
- 1.5.3. Записати і показати на схемах МВ кола заряду та розряду конденсаторів.
- 1.5.4. На які параметри МВ впливають діоди VD1, VD2, пояснити це явище.
- 1.5.5. Записати вирази для тривалості імпульсу і паузи
- 1.5.6. Навести співвідношення між постійними часу заряду і розряду конденсаторів.
- 1.5.7. Навести тривалість періоду проходження імпульсів у МВ.
- 1.5.8. Як впливає конденсатор на форму імпульсу на виході МВ.
- 1.5.9. Показати кола ПЗЗ і НЗЗ у схемі МВ на ОП
- 1.5.10. Як впливає конструкція МВ на параметри вихідних імпульсів.

1.6 Література

- 1.6.1. Завадский В.А. "Компьютерная электроника". - К.: ТОО БЕК, 1996.
- 1.6.2. Манаев Е,И. "Основы радиозлектроники". — М.: Радио и связь, 1985.
- 1.6.3. П. Хоровиц, У. Хилл "Искусство схемотехники". Часть I, II -М.: Мир. 1983.
- 1.6.4. Нестеренко Б.К. "Интегральные операционные усилители". Справочное пособие по применению. - М.: Энергоиздат, 1982.

Лабораторна робота №2

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ГЕНЕРАТОРІВ ПИЛКОПОДІБНОЇ НАПРУГИ

Мета роботи:

- вивчення принципів побудови генераторів пилкоподібної напруги (ГПН) і їх основних параметрів;
- експериментальне дослідження основних схем ГПН ;
- засвоєння методики змінювання параметрів вихідних сигналів ГПН.

2.1 Лабораторна установка

В лабораторну установку (рис. 2.1) входять: універсальний стенд 2 зі змінним модулем генератора пилкоподібної напруги (ГПН) 3, генератор прямокутних імпульсів (Г5-54) 1 і осцилограф (С1-55) 4. Універсальний стенд містить розніми для підключення до нього змінних досліджуваних модулів, кнопки комутації ланцюгів SI-S9, коаксіальні з'єднувачі і гнізда XS1-XS20 для підключення засобів вимірювань. Для з'єднання засобів вимірювань з універсальним стендом використовуються допоміжні засоби - кабелі радіочастотні і навантаження.

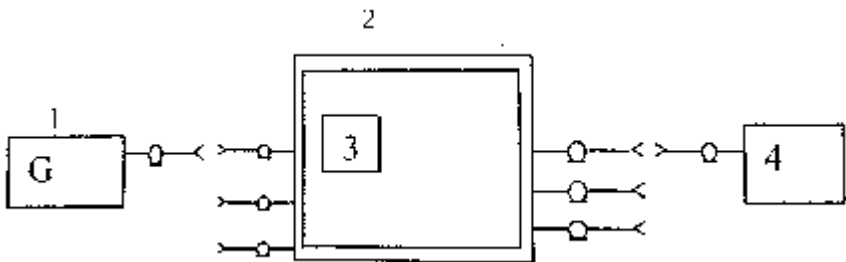


Рисунок 2.1 – Склад лабораторної установки

Змінний модуль ГПН, схема якого наведена на рис.6.5 містить три досліджуваних ГПН: з компенсуючою ЕРС (крайня ліва), з

параметричним стабілізатором струму (середня схема) і на основі операційного підсилювача.

Універсальний стенд дозволяє подавати живлення на досліджувану схему від джерел живлення, розташованих усередині стенда, за допомогою відповідних ключів, підключати генератор прямокутних імпульсів, підключати вхід осцилографа до відповідної ділянки схеми, змінювати параметри деяких елементів.

2.2 Підготовка до роботи

2.2.1 Користаючись даними методичними вказівками (розділ 2.6) і рекомендованою літературою, вивчити принцип роботи генераторів пилоподібної напруги (ГПН);

2.2.2 Вивчити способи визначення коефіцієнта насичення транзистора VT1, максимальної амплітуди і тривалості вхідного імпульсу;

2.2.3 Відповісти на контрольні питання;

2.2.4 Відповідно до завдання підготувати протокол результатів дослідження.

2.3 Порядок виконання роботи

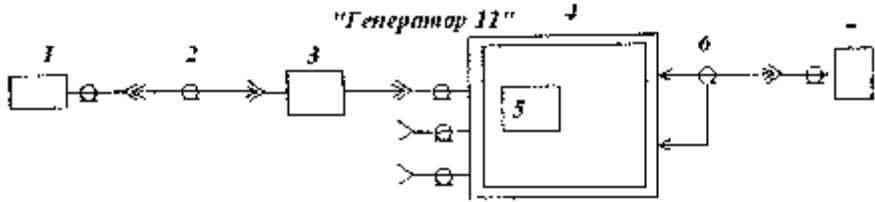
2.3.1 При дослідженні схеми ГПН з компенсуючою ЕРС необхідно виконати наступні операції відповідно до мал.2.2:

2.3.1.1 Коаксіальним кабелем підключити вихід генератора прямокутних імпульсів (Г5-54) до гнізда "Генератор-11" стенда й установити на виході генератора послідовність імпульсів з наступними параметрами:

частота проходження імпульсів	$f = 10 \text{ кГц}$,
тривалість імпульсів	$t_i = 20 \text{ мкс}$,
амплітуда імпульсів	$U_M = 5 \text{ В}$.

2.3.1.2 Вхід 1 осцилографа С1-55 коаксіальним кабелем підключити до виходу ГПН: гніздо XS5 - корпус (XS20).

2.3.1.3 Натисканням кнопки S1 подати живлення відповідно до рис 7. На базу транзистора VT1 подати керуючі імпульси.



1 - генератор Г5-54; 2,6 - сполучні кабелі; 3 - навантаження 500 Ом; 4 - стенд універсальний; 5 - модуль "ГПН"; 7 - осцилограф С1-55.

Рисунок 2.2-Схема установки для дослідження ГПН

2.3.1.4 За допомогою регуляторів: "Підсилення", "Тривалість розгортки" і "Синхронізація" осцилографа С1-55 встановити на його екрані стійке зображення вхідного сигналу, замалювати його осцилограму і визначити параметри генерованих імпульсів

2.3.1.5 Зняти і побудувати часові діаграми роботи формувача (контрольні гнізда XS1 - XS5) при відключеному резисторі R3 і конденсаторі C3, $f_{ген} = 1$ кГц, $U_M = 5$ В.

2.3.1.6 Дослідити вплив джерела позитивного зміщення якості вихідного сигналу.

2.3.2 При дослідженні схеми ГПН із параметричною стабілізацією струму необхідно відповідно до рис.2.2 виконати наступні операції:

2.3.2.1 Натисканням кнопки S2 подати живлення на досліджувану схему (S1 виключити).

2.3.2.2 Повторити операції п.2.3.1.4.

2.3.2.3 Визначити експериментально максимальні тривалості лінійних ділянок вихідного сигналу для можливих комбінацій опорів резисторів R7, R8 і ємностей конденсаторів C6, C7 при $f_{ген} = 1$ кГц і $U_M = 5$ В.

2.3.2.4 Зняти і побудувати часові діаграми роботи формувача (контрольні гнізда XS1, XS6, XS7) при розімкнутих перемикачах S4 - S6, $f_{ген} = 1$ кГц, $U_M = 5$ В.

2.3.2.5 Дослідити вплив опору навантаження R9 на параметри вихідного сигналу формувача.

2.3.3 При дослідженні принципу роботи самозбудного ГПН на основі операційного підсилювача (ОП) необхідно виконати наступні операції:

2.3.3.1 Зняти за допомогою осцилографа в режимі зовнішньої синхронізації тимчасові діаграми напруг у контрольних гніздах XS8 - XS10, S10 замкнути. По побудованих діаграмах визначити основні параметри пилкоподібного сигналу: частоту генерації $f_{ген}$, амплітуду U_m , тривалість лінійної ділянки троб і зворотного ходу тзвор (рис.6.1).

2.3.3.2 Дослідити вплив ємності накопичувального конденсатора на параметри генерованої пилкоподібної напруги (перемикач S8).

2.3.3.3 Дослідити вплив коефіцієнта передачі в ланцюзі ПЗЗ (позитивного зворотного зв'язку) на параметри пилкоподібного сигналу (перемикач S9).

2.3.3.4 Дослідити вплив емітерного опору транзистора VT5 (перемикач S7) на параметри пилкоподібного сигналу.

2.4 Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- мету роботи,
- схеми досліджуваних ГПН,
- результати досліджень-експериментальні і розрахункові ГПН,
- висновки з роботи

Звіт повинен бути оформлений у відповідності з вимогами .

2.5 Контрольні запитання

2.5.1 Поясніть принцип роботи формувача пилкоподібної напруги з компенсуючою ЕРС (з відсліджуючим зв'язком).

2.5.2 Як впливає підключення резистора R3 на коефіцієнт насичення транзистора VT1?

2.5.3 Покажіть ланцюг заряду і розряду конденсатора C2.

2.5.4 Роль діода VD2 у схемі формувача.

2.5.5 Поясніть вплив джерела позитивного зміщення на лінійність вихідного сигналу.

2.5.6 Чим обмежена тривалість лінійної ділянки вихідного сигналу?

2.5.7 Роль конденсатора C1 у схемі формувача.

2.5.8 Поясніть принцип роботи формувача пилкоподібної напруги на основі генератора стабільного струму.

2.5.9 Покажіть ланцюг заряду і розряду конденсатора C6.

2.5.10 Від чого залежить лінійність вихідного сигналу?

2.5.11 Поясніть вплив опору R8 на форму вихідного сигналу

2.5.12 Які обмеження накладаються на амплітуду вихідного сигналу?

2.5.13 Поясніть принцип роботи генератора пилкоподібної напруги на основі операційного підсилювача.

2.5.14 Поясніть призначення компонентів схеми ГПН.

2.5.15 У яких режимах знаходиться ОП на різних етапах періоду генерації коливань?

2.5.16 Яким вимогам повинний відповідати транзистор VT5?

2.6 Короткі теоретичні відомості

Генератори лінійно змінюваної напруги служать для створення розгортки електронно-променевих приладів, одержання часових затримок імпульсних сигналів, модуляції по тривалості і т.д. Знаходять застосування напруги, що змінюються по лінійному закону як при одній полярності, так і при обох полярностях.

Напруга пілкоподібної форми (рис.2.3) характеризується двома проміжками часу: часом робочого ходу троб, протягом якого напруга змінюється по лінійному закону, і часом зворотного ходу $t_{ЗВор}$, протягом якого напруга повертається до вихідного значення. Закон зміни напруги за час зворотного ходу променя несуттєвий, однак необхідне виконання умови троб » $t_{ЗВор}$.

За способом керування генератори пілкоподібної напруги поділяються на формувачі пілкоподібної напруги (ФПН), чекаючі ГПН і автоколивальні ГПН .

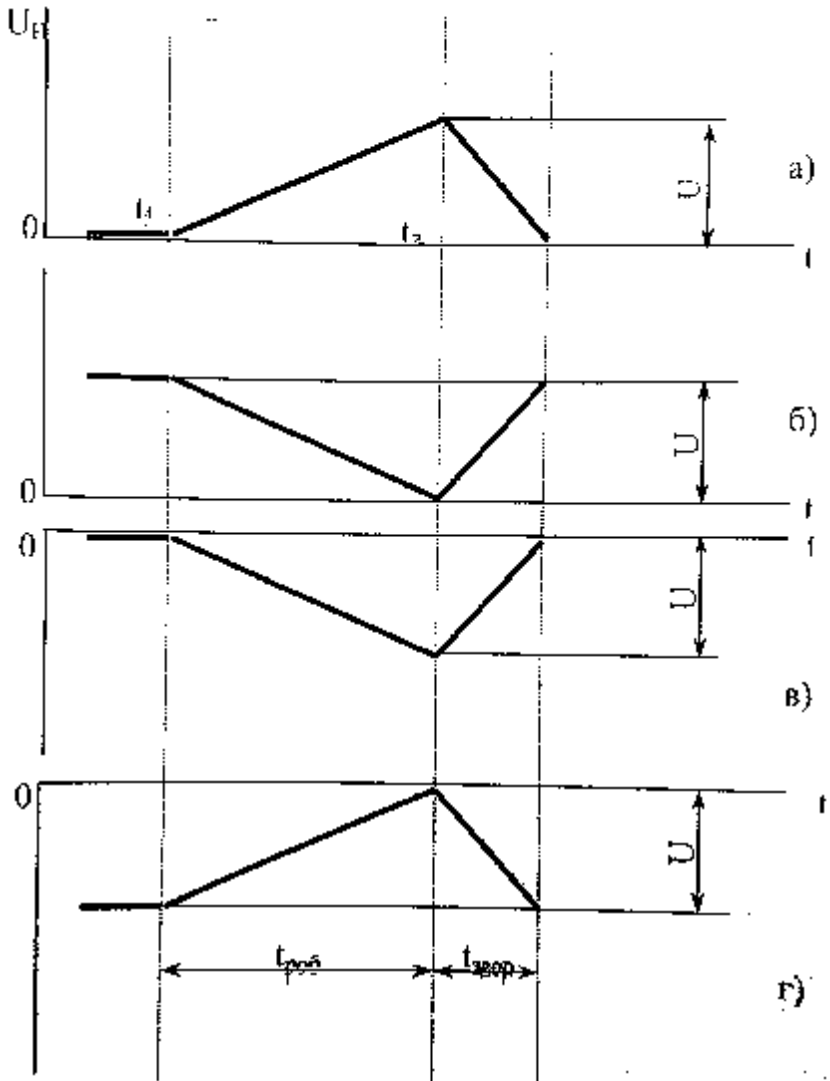
ФПН забезпечують одержання лінійнозмінювального в часі сигналу, тривалість і амплітуда якого залежать від тривалості керуючого сигналу.

Параметри вихідного сигналу що чекає ГПН не залежать від параметрів вхідного сигналу, котрий повинний забезпечити лише надійний запуск схеми. А частота проходження вихідних сигналів чекаючою ГПН визначаються частотою імпульсів .

Параметри вихідних сигналів (амплітуда, тривалість, лінійність, частота проходження) автоколивального ГПН визначається параметрами компонентів його власної схеми та напругами живлення пристрою.

Чекаючи і автоколивальні ГПН будуються на основі спускових релаксаційних схем з позитивним зворотним зв'язком.

Формування лінійно змінюваної в часі напруги найчастіше засноване на заряді (розряді) конденсатора стабільним струмом. Схемні розходження ГПН зв'язані з реалізацією генераторів стабільного струму (ГСС) і використанням активним компонентом (транзистори, тиристри, операційні підсилювачі).



а)позитивна наростаюча; б)позитивна спадаюча ; в)негативна наростаюча; г)негативна спадаюча

Рисунок 2.3 - Характер зміни напруги пилкоподібної форми

Принцип роботи генераторів пилкоподібної напруги полягає в наступному: для одержання лінійно змінюваної напруги в схемі і оператора необхідно забезпечити протягом часу троб заряд чи розряд деякого конденсатора великої ємності постійним струмом.

Напруга U_c на конденсаторі, ємність якого C постійна, визначається співвідношенням:

$$U_c = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + U_c(0)$$

Якщо струм заряду конденсатора постійний і дорівнює I_0 , то напруга на конденсаторі змінюється в часі по лінійному закону (прямий хід)

$$U_c = I_0 \cdot \frac{t}{C} + U_c(0)$$

Щоб оцінити ступінь лінійності напруги за час робочого ходу троб, вводять коефіцієнт нелінійності K_n :

$$K_n = \frac{U'(0) - U'(t)}{U'(0)}$$

де $U'(0)$, $U'(t)$ - швидкість зміни напруги в часі (похідні) відповідно на початку і наприкінці ділянки.

Формування лінійно змінюваної (пилкоподібної) напруги ґрунтується на чергуванні в часі процесу заряду і розряду конденсатора. Тому схема ГПН повинна містити ключ, що змінює практично стрибкоподібно схему заряду конденсатора на схему розряду, і ірринципова схема наведена на рис.2.4.

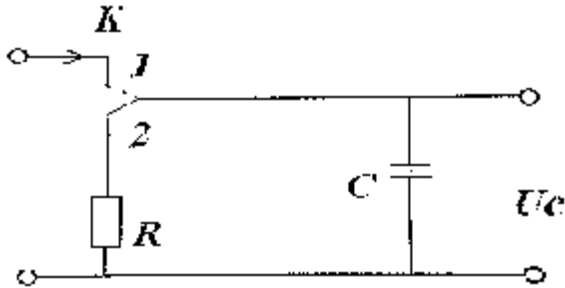


Рисунок 2.4 - Схема розряду і заряду конденсатора

У положенні К1 відбувається заряд конденсатора С струмом I_0 , у положенні К2 конденсатор розряджається через резистор R з малим опором струмом $I_p \gg I_0$, тому що в момент закінчення струмового імпульсу напруга на конденсаторі повинна в можливо в більш короткий відрізок часу прийняти вихідне значення, рівне U_0 (зворотний хід). Розряд конденсатора і підтримка на ньому напруги близькою до нуля, відбувається в паузах (рис.2.4) вхідного сигналу (послідовності прямокутних імпульсів), коли транзистор вхідного ланцюга знаходиться в режимі насичення.

Одна зі схем ГПН, у якій сталість I_0 забезпечується "компенсуючою ЕРС", наведена на рис.2.4.

Стабілізація струму конденсатора під час робочого ходу може здійснюватися також за допомогою зворотного зв'язку, що вводиться в схему так, щоб у зарядному ланцюзі конденсатора С2 створювалася компенсуюча напруга, $U_{\text{комп}}$, пропорційна зміні напруги на конденсаторі і яка складається з постійною напругою живлення.

Транзистор VT1 у схемі ГПН виконує функцію ключового елемента. Транзистор VT2, включений за схемою емітерного повторювача, здійснює зворотний зв'язок, забезпечуючи сталість потенціалів на резисторі R2 і тим самим сталість зарядного струму.

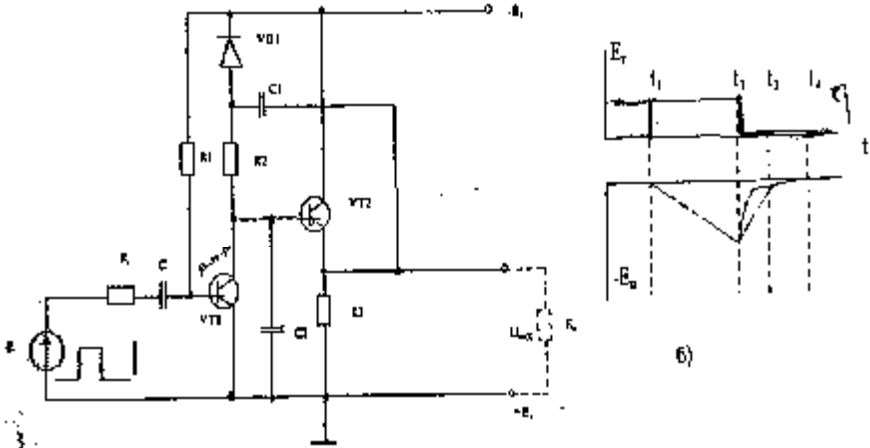


Рисунок 2.5 - Схема ГПН із компенсуючою ЕРС (а) і діаграми вхідної та вихідної напруг (б)

У вихідному стані транзистор VT1 насичений струмом бази, а напруга $U_{ек} VT1 \approx 0$

$$I_{д.VT1} \approx \frac{E_{\alpha}}{R1} > I_{д.і.ан}$$

Близька до нуля також напруга на конденсаторі C2 $U_{C2} \approx 0$ напруга $U_{вих} \approx 0$ (VT2 включений за схемою емітерного повторювача). Коефіцієнт підсилення по напрузі емітерного повторювача трохи менше 1. Тому що $U_{вх} VT2 = U_{C2} \approx 0$, то і $U_{вих} \approx 0$.

Конденсатор великої ємності C1 заряджений до напруги $U_{C1} E_{ж}$, а напруга на діоді VD: $U_{VD} \approx 0$.

При подачі на вхід схеми позитивного імпульсу напруги (рис.4) транзистор VT1 запирається (переходить у стан відсікання). Оскільки струм колектора VT1 у цьому випадку близький до нуля, то конденсатор C2 заряджається від $E_{ж}$ через відкритий у вихідному стані діод VD і резистор R2

$$I_{\text{свд}}^2 \approx \frac{E_{\text{св}}}{R2}$$

Зміна напруги ΔU_{C2} передається через емітерний повторювач, виконаний на транзисторі VT2, у точку m, і діод закривається (при $U_{C2} \gg 0$, $U_{\text{вих}} > 0$ діод VD запирається і відключає конденсатор C1 від джерела живлення $E_{\text{ж}}$). Після запирання діода VD процес заряду конденсатора C2 визначається напругою на конденсаторі C1, що при досить великій ємності C1 можна розглядати як джерело постійної напруги, і зарядний струм конденсатора C2 у ланцюзі визначається по формулі:

$$I_{\text{свд}}^2 \cdot R2 = \frac{U_{C1} + U_{\text{свд}} - U_{C2}}{R2}$$

Оскільки $C1 \gg C2$, то напруга $U_{C1} = \text{const}$, а $U_{\text{вих}} \approx U_{C2}$, то $I_{\text{закC2}} = \text{const}$. І ому U_{C2} збільшується по лінійному закону на протязі часового інтервалу, рівного тривалості вхідної замикаючої напруги. По закінченні вхідного імпульсу і відмиканні транзистора VT1 конденсатор C2 розряджається через транзистор VT1, що знаходиться в режимі насичення, тому що $U_{\text{б1}} \approx 0$, то $|U_{\text{к1}}| = |U_{C2}| > U_{\text{б1}}$. Конденсатор C2 досить швидко зарядиться через малий опір насиченого VT1 до $U_{C2} \approx 0$, так само зміниться і $U_{\text{вих}}$. Так формується зворотний хід.

Досліджуваний формувач лінійнозмінювальної напруги побудований на р-п-р біполярних транзисторах (БТ) VT1 і VT2 (рис.2.6). Підключення схеми до джерела живлення -5В і до генератору керуючих імпульсів виконується перемикачем S'1. Перемикачем S'7 до схеми може бути підключене джерело зміщення +5В, керуючі імпульси позитивної полярності від генератора Г5-54 надходять на досліджувану схему через високочастотний рознім «Генератор II». Стабілітрон VD1 забезпечує обмеження амплітуди вхідних сигналів.

Транзистор VT1 до надходження керуючого імпульса знаходиться в режимі насичення базовим струмом через резистор R1. Накопичувальний конденсатор C2 закорочений насиченим транзистором VT1, тому практично розряджений. На базі транзистора

VT2 емітерного повторювача встановлюється близький до нуля потенціал. У залежності від положення перемикача S7 транзистор VT2 виявляється або в режимі близькому до відсікання, або в активному режимі, якщо резистор R4 підключений до джерела позитивного зміщення +5В. У будь-якому випадку потенціал на виході формувача XS'5 близький до нуля і конденсатор великої ємності C1 заряджений до напруги колекторного живлення.

Позитивний вхідний імпульс запирає транзистор VT1, конденсатор C2 починає заряджатися через резистор R2. На верхній затискач резистора і діода VD2 з виходу формувача по слідкуючому зв'язку, C1 надходить компенсуюча напруга, завдяки якій на резисторі R2 підтримується постійна різниця потенціалів. Постійна різниця потенціалів обумовлює сталість струму через резистор R2, а отже і через конденсатор C2, на якому формується лінійнонаростаюче (по модулю) напруга.

Крутість наростаючої може бути зменшена підключенням додаткового конденсатора C3 перемикачем S4 чи підключенням паралельного резистора R3 перемикачем S5.

Поліпшення параметрів генераторів пилкоподібної напруги Якщо потрібно одержати коефіцієнт $K_H < 10\%$, використовують стру мостабілізуючі нелінійні елементи в ланцюзі заряду чи розряду вихідного конденсатора. Таким елементом є, наприклад, транзистор, включений за схемою з ЗБ. При заданому струмі емітера $I_e = \text{const}$ диференціальний опір колекторного переходу транзистора складає 10^6 Ом і більше. Таким чином, при зміні прикладеної до транзистора напруги $U_{к6} \ll U_{к3}$ струм через транзистор практично постійний, він досить у широкому діапазоні зміни напруги колектор - база практично не залежить від цієї напруги (див. вихідні характеристики біполярного транзистора, включеного за схемою з загальною базою - ЗБ).

Ця властивість використана в схемі ГПН, представленій на рис.2.6.

У вихідному стані комутуючий транзистор VT1 відкритий і насичений. Умова насичення транзистора має вигляд:

$$R_6 < R_k \beta$$

або

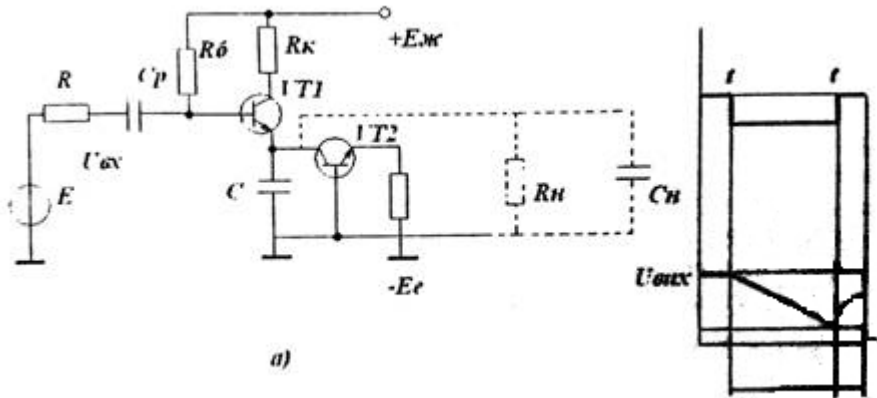


Рисунок 2.6 - Схема ГПН із параметричною стабілізацією струму (а) і часові діаграми вхідного і вихідного сигналу (б)

$$R_{\dot{a}} = \frac{R_{\dot{e}} \cdot b_{\min}}{S}$$

де S - величина ступеня насичення.

У колекторному ланцюзі струмостабілізуючого транзистора VT2, що знаходиться в активному режимі протікає струм

$$I_{\dot{E}2} = a_2 \cdot \dot{\gamma}_2 \approx \frac{E_{\dot{a}}}{R_{\dot{a}}}$$

Оскільки транзистори VT1 і VT2 з'єднані послідовно, то і через транзистор VT1 протікає струм

$$I_K = I_{K1} = I_{K2}$$

Таким чином, у вихідному стані схеми VT1 і VT2 знаходиться в активному режимі і конденсатор C заряджаються струмом колектора VT1 до деякого встановленого значення напруги U_{oc}

$$U_{oc}(0) = U_{\dot{a}\dot{u}\dot{o}}(0) = E_{\dot{E}} - I_{\dot{E}} \cdot R_R = E_{\dot{E}} - \frac{E_e \cdot R_{\dot{E}}}{R_e} = E'_{\dot{E}}$$

При досить малому R_K $U_{oc} \approx E_{ж}$.

При надходженні на вхід VT1 запираючого імпульсу VT1 запирається, напруга на колекторі VT2 різко зменшується, і С починає розряджатися практично постійним струмом колектора VT1

$$I_{\tilde{N}}(t) = I_{\tilde{E}2} = \frac{a \cdot E_{\tilde{a}}}{R_{\tilde{a}}}$$

Потім конденсатор С розряджається через транзистор VT2. Зміна струму розряду С за час дії вхідного імпульсу визначається зміною напруги на колекторі VT2 і вихідним опором транзистора, включеного за схемою з ЗБ:

$$\Delta^2_{\tilde{E}2} = \Delta I_{\tilde{N}} = \frac{\Delta U_{\tilde{E}A}}{R_{\tilde{a}\tilde{e}\tilde{d}\tilde{2}A}} = \frac{U_M}{r_K}$$

Амплітуду вихідної напруги можна визначити по формулі

$$U_{\max} = \frac{I_C}{C} t_i = \frac{a_2 \cdot E_a \cdot t_i}{R_{\tilde{Y}} \cdot \tilde{N}}$$

По закінченні вхідного імпульсу в момент часу t_2 транзистор VT1 швидко насичується (тут можна зневажити перехідними процесами при відмиканні транзистора VT1) і конденсатор заряджається з постійної часу

$$\tau_3 = (R_{\text{вих}2\tilde{b}} \parallel R_K) C \approx R_K C$$

Таким чином, $t_{\text{звор}} = (3..5)\tau_3 = (3..5)R_K C$.

Досліджуваний формувач лінійно змінюваної напруги побудований на р-п-р БТ VT3 і VT4 (рис.2.6). Підключення схеми до джерел живлення і генератора керуючих імпульсів здійснюється перемикачем S2.

Принцип дії формувача заснований на розряді накопичувального конденсатора С6 через ГСС, що виконаний на основі БТ VT3, включеного за схемою з загальною базою. Розрядний струм (струм ГСС) визначається джерелом позитивного зміщення і опором резистора R7 (R8) у ланцюзі емітера транзистора VT3. У вихідному стані накопичувальний конденсатор С6 (С7) заряджений через насичений транзистор VT4 до напруги близької до напруги колекторного живлення -5В.

Струм транзистора VT3 протікає через VT4. Вхідний імпульс позитивної полярності запирає транзистор VT4 і конденсатор С6 (С7) розряджається колекторним струмом транзистора VT3, що практично не залежить від напруги між його колектором і базою. По задньому фронту вхідного сигналу транзистор VT4 переходить в активний режим, потім - у насичений. При цьому відновлюється напруга на накопичувальному конденсаторі С6. Перемикачем S5 забезпечується зміна струму емітера і, отже, колектора транзистора VT3. Перемикач S4 дозволяє збільшити ємність накопичувального конденсатора і крутість лінійної ділянки. Перемикачем S6 підключається резистивне навантаження до виходу нормувача.

Досліджуваний генератор пилкоподібної напруги, побудований основі операційної о підсилювача DA, приведений на рис.2.7.

Підключення схеми здійснюється перемикачем S3. Схема працює в режимі самозбудження без зовнішнього запуску чи синхронізації.

Структурно даний ГПН являє собою мультівібратор на операційному підсилювачі (ОП), охоплений безінтегральним позитивним зворотним зв'язком (ПЗЗ) (R17...R19) і запізнювальним негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) з виходу ОП (XS9) на інвертуючий вхід (XS8). У ланцюзі НЗЗ включений конденсатор С8 (С9) з керованим ланцюгом перезаряду. При позитивному рівні потенціалу на виході ОУ конденсатор 38 перезаряджається через ГСТ на основі транзистора VT5 і напруга на ньому змінюється в часі по лінійному закону. Швидкий зворотний перезаряд конденсатора С8 відбувається через резистор R14 і діод VD4 при негативному рівні напруги на виході ОП. При цьому напруга на конденсаторі С8 змінюється по експонентному закону. Перемикачем S10 ГСС може бути включений чи виключений з ланцюга перезаряду накопичувального конденсатора С8 при негативному рівні напруги на виході ОП. Перемикачем S9 можна змінити коефіцієнт передачі по ланцюзі ПЗЗ і амплітуду пилкоподібного сигналу, що формується на конденсаторі С8 (контрольне гніздо XS8). На виході ОУ (XS9) формується періодичний сигнал прямокутної форми.

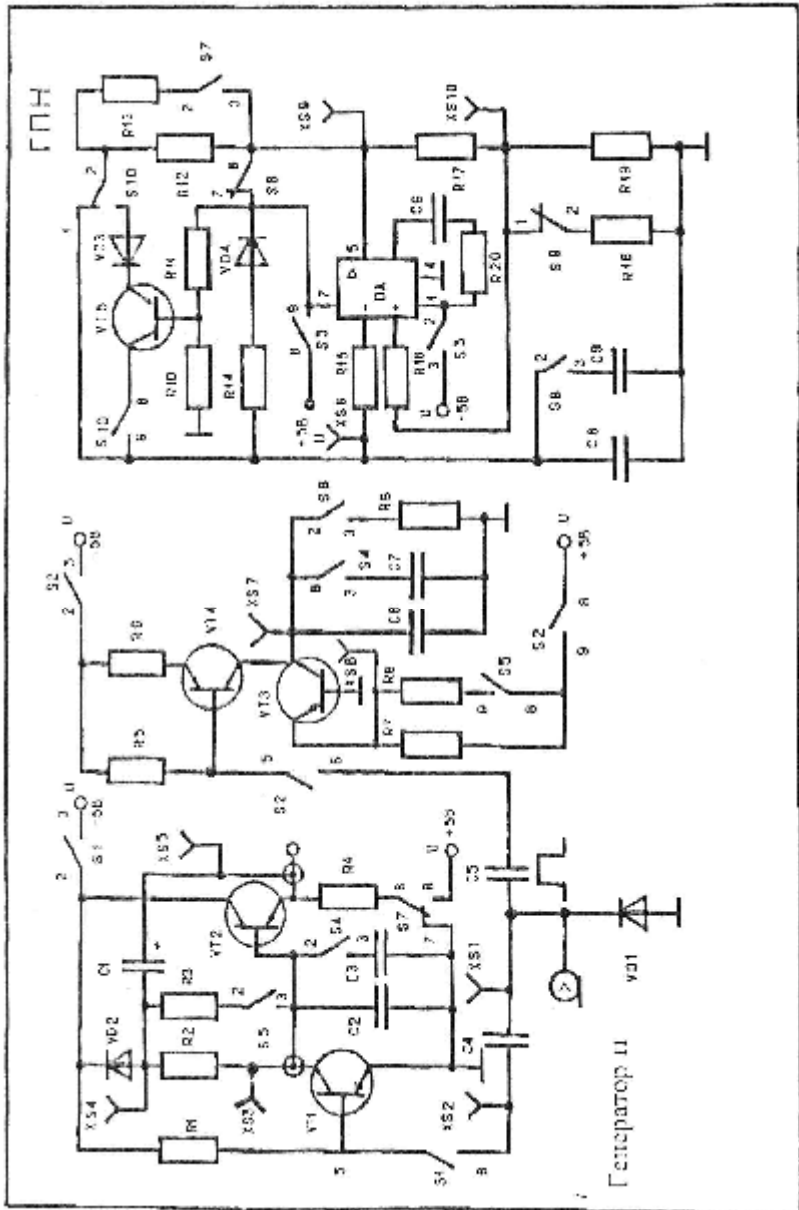


Рисунок 2.7 - Схема електрична принципова змінного модулі ГЦН

2.7 Література

- 2.7.1. Е.И. Манаев. Основи радіоелектроніки. Москва, Радіо і зв'язок, 1985
- 2.7.2. А. А Каяцкас. Основи радіоелектроніки. Москва. Вища школа, 1988
- 2.7.3. В. Т. Ерофеев. Імпульсні пристрої. Москва. Вища школа, 1989
- 2.7.4. В. Т. Фролкин, Л.Н. Попов. Імпульсні пристрої. Москва. Сов.радіо 1980.
- 2.7.5. И. П. Степаненко. Основи теорії транзисторів і транзисторних схем. Москва. Енергія, 1977
- 2.7.6. Ерофеев Ю.Н. Основи імпульсної техніки.- М.: Вища шк., 1979,-383с.
- 2.7.7. Гольденберг Л. М. Імпульсні цифрові пристрої. - М.: зв'язок, 1973, 1981
- 2.7.8. Перснухин Л. Н., Воробьева Н. В., Шиткевич Д. А. Розрахунок елементів цифрових пристроїв.- М.: Вища шк., 1982.-384с.

Лабораторна робота №3

ЕЛЕКТРОННІ КЛЮЧІ

Мета роботи - вивчити і дослідити статичні характеристики електронних ключей різноманітних видів.

3.1 Лабораторна установка

До лабораторної установки (рис.3.1) входять: універсальний стенд 2 з змінним модулем електронні ключі (ЕК) 3, генератор імпульсів 1 і осцилограф 4. Універсальний стенд містить рознім для підключення до нього змінних досліджуваних модулів, кнопки комутації локала S1-S9, коаксіальні з'єднувачі 1 гнізда XS1-XS20 для підключення засобів вимірювання з універсальним стендом використовуються допоміжні засоби - кабелі радіочастотні 1 навантаження.

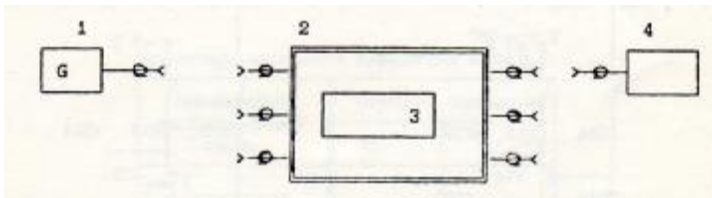


Рисунок 3.1 – Лабораторна установка

Змінний модуль ЕК. схема якого наведена на рис 3.2. містить: ключ напруги на біполярному транзисторі VT1, струмовий ключ на транзисторах VT2, VT3; ключ на польовому транзисторі VT4 з резистивним навантаженням та ключ на МДП-транзисторі VT6.

Ключ напруги на біполярному транзисторі може бути реалізований у двох модифікаціях: найпростішою схемою ключа та схемою з нелінійним оберненим зв'язком через діод VD1.

Вхідний сигнал від генератора імпульсів для усіх схем подається на рознімі XW1 універсального стенду, його наявність можливо проконтролювати осцилографом, підключивши останній за допомогою з'єднувального кабелю до рознімі XW2.

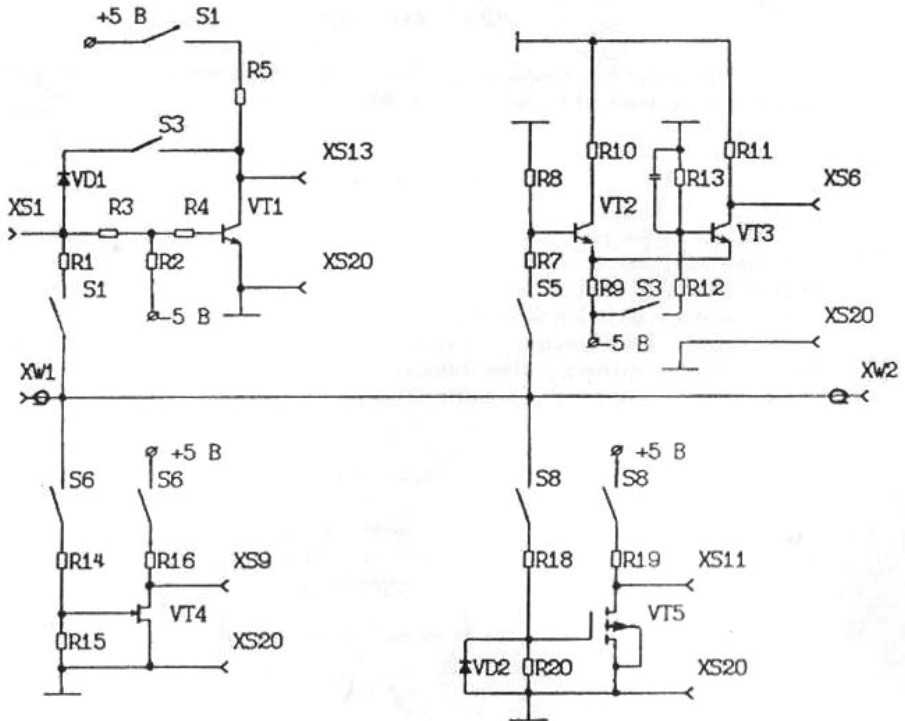


Рисунок 3.2 - Електрична схема змінного модуля "Електронні ключі"

3.2 Підготовка до роботи

3.2.1 Користуючись даними методичними вказівками (розділ 3.6) та рекомендованою літературою вивчити: роботу електронного ключа напруги у статичному та динамічному режимах [1.с.19-46]; роботу перемикача струму.

3.2.2 Дати відповідь на контрольні запитання.

3.2.3 Згідно з заданим варіантом (табл. 3.1) підготувати протокол результатів досліджень, подібний табл.3.2.

Таблиця 3.1 - Таблиця варіантів

№ вар.	Досліджувані схеми	ключів
1	Ключ на БТ	1 ключ на БТ з неленітним ОЗ
2	Ключ на БТ з неленітним ОЗ	1 ключ на МДП-транзисторі
3	Ключ на БТ	1 струмовий ключ
4	Ключ на польовому транзисторі	1 МДП-транзисторі
5	Ключ на польовому транзисторі	1 струмовий ключ
6	Ключ на МДП-транзисторі	1 струмовий ключ
7	Струмовий ключ	1 ключ на БТ з неленітним ОЗ

Таблиця 3.2 - Результати досліджень електронних ключів

Найменування досліджуваної схеми	Статичні параметри	
	$U_{п'}$	$U_{п''}$

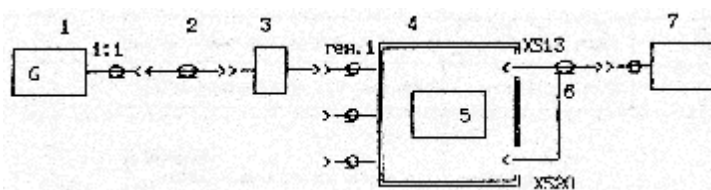
3.3 Порядок виконання роботи

3.3.1 При дослідженні ключа напруги на біполярному транзисторі зібрати схему згідно з рис. 3.3. На генераторі імпульсів, універсальному стенді і осцилографі органи керування встановити згідно з табл.3.3. Кнопкою "ВКЛ" відкрити постачання стенду. Натисненням кнопки S1 подати постачання на ключ і імпульси на його вхід. На екрані осцилографу отримати осцилограму сигналу на колекторі транзистору С гніздо XS13). Змінюючи амплітуду імпульсів генератора ручкою "АМШГ 1 спостерігаючи за осцилограмою сигналу на колекторі транзистора VT1. зафіксувати ручку "АМШГ генератора в положенні, відповідаючому моменту відпирання транзистора (рис.3.4а) і по відліковим приладам генератора імпульсів визначити значення амплітуди імпульсу U_n' , при якому транзистор залишається запертим.

Знову змінюючи амплітуду імпульсів генератора, зафіксувати ручку "АМШГ" в положенні, відповідаючому моменту досягнення транзистором режиму насичення (рис.3.4б) та по відліковому приладу генератора визначити значення амплітуди U_n'' .

Одержані результати занести до таблиці, подібної табл.3.2.

Перемикачем S1 підключити діод D1 і для нової схеми визначити параметри ключа і занести їх в таблицю.



1 - генератор Г5-54; 2,6- з'єднувальні кабелі; 3- навантаження 500 Ом;
4 - універсальний стенд; 5- модуль "ЕК"; 7 - осцилограф Сі.

Рисунок 3.3 - Схема установки для дослідження ключа напруги на біполярному транзисторі.

3.3.2 При дослідженні ключа на польовому транзисторі зібрати схему подібну рис.3.3, однак з'єднуючий кабель осцилографу 6 замість гнізда XS13 приєднати до гнізда XS9. На генераторі імпульсів, уні-

версальному стенді і осцилографі органи керування встановити в відповідності з табл.3.3. Кнопкою "ВКЛ" вімкнути постачання стенда. Натисненням кнопки S6 подати постачання на ключ 1 Імпульси на його вхід. На екрані осцилографу отримати осцилограму сигналу на рядку транзистора (гніздо XS9). Змінюючи амплітуду імпульсів генератора ручкою "АМПЛ" і спостерігаючи за осцилограмою сигналу на рядку транзистора VT4, зафіксувати ручку "АМПЛ" генератора в положенні, відповідаючому моменту запирання транзистора (рис.3.5а) і по відліковим пристроям генератора імпульсів визначити значення амплітуди імпульсів U_n , при якому транзистор залишається відкритим.

Знову змінюючи амплітуду імпульсів генератора зафіксувати ручку "АМПЛ" в положенні, відповідаючому моменту досягнення транзистором режиму відсікання (рис.3.3б) та по відліковому пристрою генератора визначити значення амплітуди U_n ".

Одержані результати занести до таблиці подібної табл.3.2.

Таблиця 3.3 - Модифікація схеми вимірювань при дослідженні ключів різноманітних видів

Вихідне положення органів керування		Досліджувальна схема ключа			
		напруги			струмового
		на БТ	на ПТ	на МЛТ	
ГБ-	Полярність	$\underline{\text{L}}$	$\overline{\text{U}}$	$\overline{\text{U}}$	$\overline{\text{U}}$
	Коеф-т послаблен.	$\times 0,1$	$\times 0,03$	$\times 0,03$	$\times 0,03/0,1$
	Частота, кГц	10	10	10	10
	Часовий зсув, мкс	0	0	0	0
	Тривалість, мкс	20	20	20	20
Амплітуда, В		Мінімальні показники індикатору			
Унів. стенд	Кнопки комутації S1- S10 в віджетному положенні				
	Споживання ключа	S1	S6	S8	S5
	Гніздо вих. сигналу	XS13	XS9	XS11	XS6
С1-	Коеф-т відхилення	1 В/дел			0,2 В/дел
	Коеф-т розгортки	20 мкс/дел			

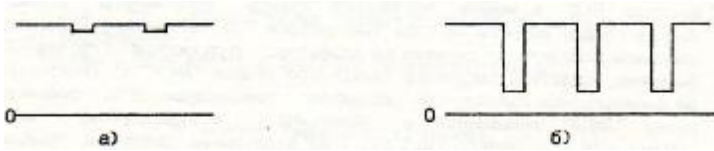


Рисунок 3.4 - Осцилограми сигналів

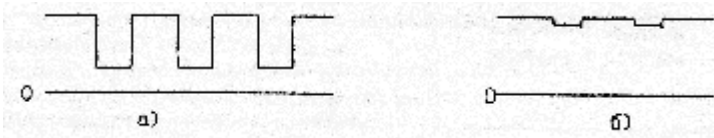


Рисунок 3.5 - Осцилограми сигналів

3.3.3 При дослідженні ключа на МДП-транзисторі зібрати схему подібно рис.3.3, однак з'єднуючий кабель осцилографу 6 замість гнізда XS13 приєднати до гнізда XS11. На генераторі імпульсів, універсальному стенді і осцилографі органи керування встановити в відповідності з табл.3.3. Кнопкою "ВКЛ" вимкнути постачання стенду. Натисненням кнопки S8 подати постачання на ключ і імпульси на його вхід. На екрані осцилографу одержати осцилограму сигналу на рядку транзистора (гніздо XS11). Змінюючи амплітуду імпульсів генератора ручкою "АМПЛ" і спостерігаючи за осцилограмою сигналу по рядку транзистора VT6, зафіксувати ручку "АМПЛ" генератора в положенні, відповідаючому моменту запирання транзистора (рис.3.5а) і по відліковим пристроям генератора Імпульсів визначити значення амплітуди імпульсу U_n' при якому транзистор залишається відкритим.

Знову змінюючи амплітуду імпульсів генератора, зафіксувати ручку "АМПЛ" в положенні, відповідаючому моменту досягнення транзистором режиму відсікання (рис.3.5б) і по відліковому пристрою генератора визначити значення амплітуди U_n'' .

3.3.4 При дослідженні струмового ключа зібрати схему подібно рис.3.3, однак з'єднуючий кабель осцилографу 6 замість гнізда XS13 приєднати до гнізда XS11. На генераторі імпульсів, універсальному стенді і осцилографі органи керування встановити в відповідності з табл.3.3. Кнопкою "ВКЛ" вимкнути постачання стенду. Натисненням кнопки S5 подати опірну напругу на базу транзистора VT3. На екрані осцилографу одержати осцилограму сигналу на колекторі транзистора

(гніздо XS6). Змінюючи амплітуду імпульсів генератора ручкою "АМПЛ" і спостерігаючи за осцилограмою сигналу на колекторі транзистора VT6, зафіксувати ручку "АМПЛ" генератора в положенні, відповідаючому моменту перемикання транзистора (рис.3.6 а) і по відліковим пристроям генератора імпульсів визначити значення амплітуди імпульсу U_n' , при якому транзистор ще не перемикається.

Знов змінюючи амплітуду імпульсів генератора зафіксувати ручку "АМПЛ" в положенні, відповідаючому моменту досягнення транзистором повного перемикання (рис.3.6 б) та по відліковому пристрою генератора визначити значення амплітуди U_n''

Одержані результати занести до таблиці подібної табл.3.2.

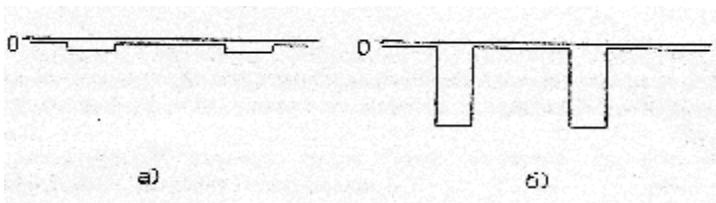


Рисунок 3.6 – Імпульси генератора

3.4 Зміст звіту

3.4.1 Мета роботи.

3.4.2 Схеми досліджених ключів.

3.4.3 Результати досліджень ключів в вигляді табл. 2.2.

3.4.4 Висновки по параметрам ключів різноманітних видів.

3.5 Контрольні запитання

3.5.1. Яке призначення ключових схем в схемотехніці обчислювальних систем?

3.5.2. Перелічити різноманітності електронних ключових схем.

3.5.3. Чому дорівнює напруга на виході ключа на біполярному транзисторі VT1 (рис.3.2) якщо транзистор знаходиться в режимі насичення?

3.5.4. Якими засобами можливо змінити час перемикання ключа на біполярному транзисторі?

3.5.5. Перелічити статичні параметри електронного ключа.

3.5.6. Яка з схем ключів є найменш споживаючою енергію? Аргументуйте відповідь.

3.5.7. Яка з схем ключів є найбільш споживаючою?

3.5.8. Яка з схем ключів є найбільш швидкодіючою?

3.5.9. Яка з схем ключів створює найменші перешкоди по колу постачання?

3.5.10. Яка з схем ключів є найбільш перешкодостійкою?

3.6 Короткі теоретичні відомості

Так як вся інформація, призначена для обробки в обчислювальних системах, зображується в вигляді сукупності двійкових кодів, для їх Фізичної реалізації використовуються електричні сигнали, приймаючі тільки два значення низький потенціал або високий, є імпульс або його немає, намагнічена ділянка магнітного матеріалу або розмагнічена, 0 або 1.

Найпростішим пристроєм, який дозволяє формувати два значення є ключ (рис.3.7), який може знаходитися або в замкнутому, або в розімкнутому становищі.

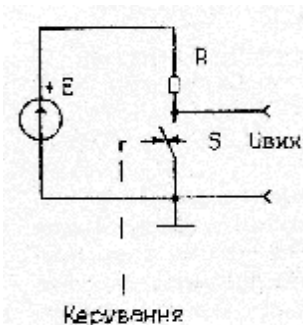


Рисунок 3.7 - Ключ

В замкнутому становищі ключ S (ключ увімкнений) опір ключа малий і напруга джерела E майже вся виділяється на резисторі, а на

виході схеми напруга $U_{вих}$ майже дорівнює нулю. В розімкнутому стані (ключ вимкнений) опір ключа набагато більше опору резистора R та напруга на виході схеми $U_{вих} = +E$. Отже, при комутації ключа на виході схеми здійснюється перепад напруги від $U_{вих} = 0$ до $U = +E$.

В залежності від виду елемента застосовуємого для комутації, ключові пристрої можуть бути механічними (ручний перемикач), електромеханічним (електромагнітне реле), електронні (діоди, транзистори), оптоелектронні.

В теперішній час найбільше поширення для побудовання елементів і вузлів ЕВМ здобути електронні ключі на транзисторах.

3.6.1 Ключі напруг на біполярних транзисторах

Схема найпростішого ключа на біполярному транзисторі типу $n-p-n$, включеним по схемі з загальним емітером, зображена на рис.3.8 а.

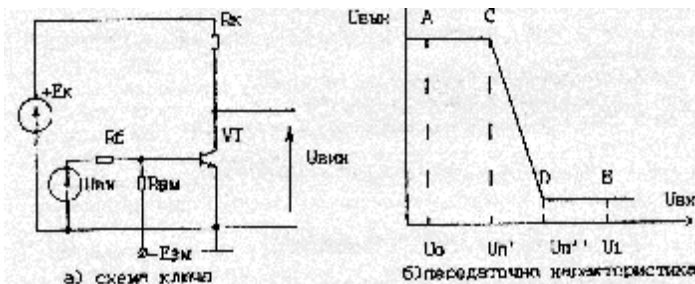


Рисунок 3.8 – Ключ на біполярному транзисторі типу $n-p-n$

Ключом керують, подавая на його вхід керуючу напругу $U_{вх}$. Вимкненому стану відповідає низький позитивний рівень вхідного сигналу $U_{вх} \approx 0$, при цьому транзистор запертий негативною напругою на базі від джерела зміщення $E_{эм}$ і вихідна напруга дорівнює $U_{вих} = +E_{к}$.

Увімкнуте положення забезпечується високим позитивним рівнем вхідного сигналу $U_{вх} = +E_{к}$, при цьому в базу транзистора входить струм від джерела вхідної напруги і транзистор відкритий, а вихідна напруга $U_{вих} = 0$.

Резистор R_6 обмежує струм бази. Резистор R_K обмежує струм колектора.

3.6.1.1 Робота ключа в статистичному режимі

Роботу ключа зручно описувати при допомозі передавальної характеристики (рис.3.8 б), яка являє собою залежність рівня вхідної напруги $U_{ВХ}$, від рівня вихідної напруги $U_{ВІХ}$.

Ділянка А-С відповідає розімкнутому положенню ключа. В цьому положенні при $U_{ВХ} < U_{п'}$, транзистор закритий, його опір великий (транзистор в області відсікання) і на виході спостерігається високий рівень вихідної напруги $U_{ВІХ} = +E_k$.

При досягненні вхідною напругою значення $U_{ВХ} = U_{п'}$, транзистор починає відкриватися, опір ключа зменшується. Ділянка С-Д відповідає знаходженню транзистора в активній області. При подальшому збільшенні вхідної напруги $U_{ВХ} > U_{п''}$ транзистор повністю відкритий і його опір малий (ключ замкнутий).

З характеристик ми бачимо, що для чіткого розрізнення увімкненого й вимкненого положення ключа слід так вибирати рівні вхідної напруги U_0 та U_1 , щоб транзистор знаходився або в режимі відсікання або в режимі насичення, навіть при наявності перешкод відповідного рівня.

Якщо при вимкненому транзисторі напруга $U_{ВХ} = U_0 + U_{пер}$ стане більш порога отпирання транзистора $U_{п'}$, транзистор відпирається та його функціонування порушиться. Подібне порушення може виникнути при увімкнутому транзисторі і наявності запираючих перешкод $U_{пер}$, якщо вхідна напруга $U_{ВХ} = U_1 - U_{пер}$ зменшиться до значення $U_{п''}$ і транзистор почне закриватися.

Значення $U_{пер}^+$ та $U_{пер}^-$ при обраних рівнях логічного нуля U_0 та логічної одиниці U_1 , вхідної напруги визначають статистичну перешкодоутриманість ключової схеми.

3.6.1.2 Робота ключа в динамічному режимі

Перехід ключа з положення "вимкнено" у положення "увімкнено" обернене не може виникати миттєво, навіть якщо на виході ключа подавати ідеально прямокутні імпульси.

Виникнення перехідних процесів пояснюється як інерційними якостями самого транзистора, так і наявністю паразитивних ємностей схеми, які заряджуються та розряджуються через резистори схеми за кінцевий час.

Еквівалентна схема, враховуюча інерційні якості ключа, і графіки перехідних процесів в різноманітних точках ключа зображено на рис. 3.9 а,б.

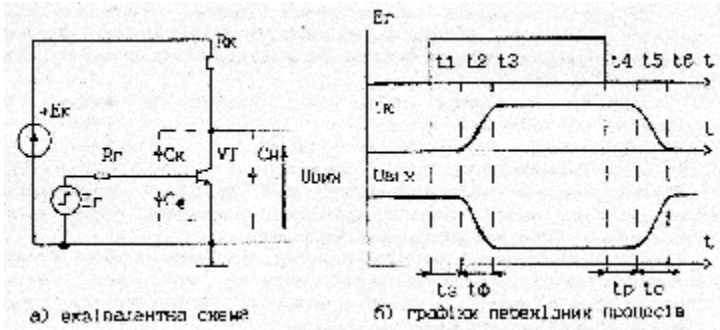


Рисунок 3.9 – Еквівалентна схема

В початковий момент $t=0$ напруга на виході від джерела E_k менше порога відпирання і транзистор знаходиться в області відсікання.

В момент $t=t_1$ на вході ключа подається позитивний імпульс, амплітуда якого більше порогового значення відпирання ключа U_n ". Цей імпульс викликає появлення струму в колі бази транзистору I_b , однак колекторний струм починає зростати з затримкою тільки в момент t_2 . Виникнення затримки при увімкненні ключа пояснюється зарядом бар'єрних ємностей транзистора C_k та C_n струмом бази через опір R_g .

Формулювання фронту вихідного сигналу $U_{вих}$ виникає в інтервалі t_2-t_3 , при цьому транзистор відкривається й переходить в активний режим. Колекторний струм збільшується по експонентційному закону з постійною часу.

$$\tau_{эн} = \tau_v + h_{21э} * R_n * (C_k + C_n) \quad (3.1)$$

Тривалість фронту t_f вихідного сигналу визначається інерційними якостями самого транзистора (параметр τ_v), бар'єрною

ємкістю його C_k і паразитною ємністю навантаження C_n . Інтервал часу t_1 - t_3 визначає час переключення ключа з стану логічного "0" в стан логічної "1" (t_{01}).

В момент t_3 колекторний перехід зміщується в прямому напрямку і транзистор переходить в режим насичення. Зростання колекторного струму завершується $i_k = E_k / R_k$, однак заряд в області бази продовжує зростати, прагнучи до стаціонарного значення $Q_{ст} = I_{б1}^* t_{в}$.

В момент часу t_4 для вхідного відпираючого імпульсу закінчується та виникає зворотній струм бази $I_{б2}$. Однак, колекторний струм і вихідна напруга ключа не змінюються за інтервал часу t_4 - t_5 виникає розосередження надлишкового заряду в області бази транзистора при вимиканні ключа.

Формування зрізу вихідного імпульсу починається в момент часу t_5 , якщо закінчується розосередження надлишкового заряду в базі та колекторний перехід зміщується в зворотному напрямку. Транзистор з режиму насичення переходить в активний режим. Колекторний струм починає зменшуватися по експонентційному закону з сталою часу, що визначається відношенням (1) і до моменту часу t_6 досягає нульового значення. Транзистор запирається. Інтервал часу t_4 - t_6 визначає час переключення ключа із стану логічної "1" у стан логічного "0" (t_{10}).

3.6.1.3 Засоби збільшення швидкодії ключа

Як впливає з виразу (3.1), одним із схемотехнічних засобів зменшення тривалості фронту та зрізу є зменшення опору резистора R_k , однак при цьому зростає потужність, що споживається ключем від джерела постачання.

Зменшити час розосередження можна, використовуючи схему ключа з нелінійним оберненим зв'язком, який не допускає перехід транзистора в режим насичення та усуває накопичення надлишкового заряду в області бази. Схеми ненасиченого ключа наведенні на рис.3.10 а,б.

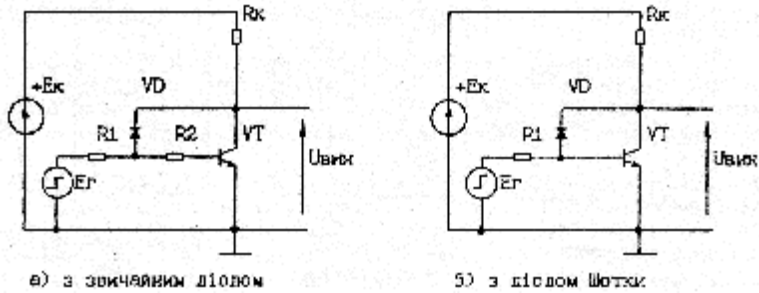


Рисунок 3.10 – Ненасичений ключ

Нелінійний обернений зв'язок здійснюється через діод VD. Стан діода (проводить або не проводить) визначається полярністю і значенням напруги на діоді $U_d = U_{R2} + U_{БК}$. До подачі відпираючого імпульсу діод запертий і обернений зв'язок не діє. При подачі великого вхідного $E_{г} = U_1$ вхідний струм спочатку проходить через резистори R1 та R2 в базу транзистора. У процесі відпирання транзистора напруга на колекторі зменшується і в той момент, коли напруга між колектором і базою $U_{КБ}$ досягне значення $U_{КБ} = I_{ВХ} \cdot R_2$, ДІОД відмикається і частина вхідного струму буде протікати через діод VD та транзистор на корпус в обхід бази. В наслідок чого струм бази зменшиться і транзистор не входить в насичення.

При виготовленні ключа по інтегральній технології в колі оберненого зв'язку використовують діоди Шоткі, які являють собою перехід "метал-полупровідник" і відрізняються від звичайних діодів з р-п переходом меншим падінням напруг на відкритому діоді, що дозволяє вилучити транзистор R2.

3.6.2 Ключ на МДП-транзисторах

Відомі три різновиди ключів на МДП-транзисторах: з резистивним навантаженням (рис.3.11а), з динамічним навантаженням (рис.3.11б) і на транзисторах з каналами протилежного типу провідності (рис.3.11в-комплементарні ключі). Два останніх типа використовуються в основному у складі інтегральних схем.

3.6.2.1 Ключ на МДП-транзисторах резистивним навантаженням

Схеми ключа на МДП-транзисторі з індукованим каналом n-типу зображено на рис. 3.11а.

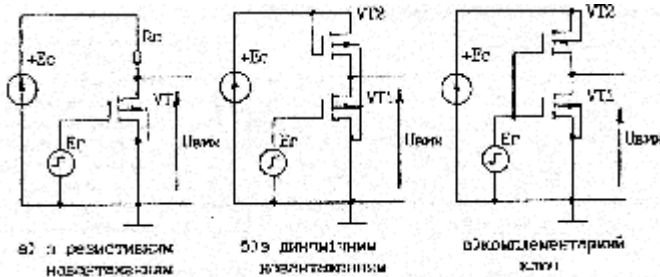


Рисунок 3.11 – Ключ на МДП-транзисторі з індукованим каналом n-типу

Ключ може знаходитися в двох положеннях "увімкнено" і "вимкнено", в залежності від рівня вхідного сигналу $U_{г}$, що подається безпосередньо на затвор транзистора. При подачі на вхід напруги $U_{г} = U_0 < U_n$ менш порогового, транзистор закритий і ключ вимкнутий.

Включений стан ключа забезпечують, подавая і підтримуючи на затворі високий позитивний рівень вхідного сигналу $U_{г} = U_1 > U_n$.

Режим закритого транзистора характеризується тим, що на затворі напруги $U_3 = U_0 < U_n$, канал транзистора збіднений носіями, тому транзистор не проводить і має великий внутрішній опір. Напруга на виході ключа $U_{вих} = +E_c$.

Режим відкритого транзистора характеризується тим, що на затворі напруги $U_3 = U_1 > U_n$, канал транзистора збогачений носіями і має малий опір $R_{від} = (30-300) \text{ Ом}$. Напруга на виході ключа $U_{вих} = E_c - e \cdot R_{від} / (R_c + R_{від})$. При $R_c \gg R_{від}$ $U_{вих} = 0$.

Динамічний режим роботи ключа на МДП-транзисторах, визначається як властивостями транзистора, так і зовнішньої схеми. Інерційність транзистора залежить від часу прольоту носіїв заряду вздовж каналу і часу перезаряду паразитних ємкостей затвір-втік, затвір-витік, підшарок-втік і підшарок-витік. Інерційність зовнішньої схеми посилюється наявністю ємкостей монтажу і навантаження. Частіше час прольоту значно менший часу перезарядки ємкостей.

Оскільки у вихідному положенні транзистор закритий, а сумарна напруга $U_{с0}$, тривалість фронту визначається часом, на протязі якого

відбувається процес розрядки ємності C_0 через паралельно з'єднані опори відкритого транзистора $ROTK$ та навантаження R_H .

$$t\phi = 2.2 * C_0 * ((R_H * ROTK) / (R_H + ROTK)) \quad (3.2)$$

Тривалість зрізу визначається часом заряду ємності C_0 через резистор в колі витока R при відкритому транзисторі:

$$t_c = 2.2 * C_0 * R_c \quad (3.3)$$

Оскільки струм витока МДП-транзисторів надто малий, а опір $ROTK$ та R_c великий, паразитні ємності перезаряджаються малим струмом, що знижує швидкодію ключей на МДП-транзисторах і є їх суттєвим недоліком.

3.6.3.2 Ключ на МДП-транзисторі з динамічним навантаженням

Схема такого ключа приведена на рис.3.11 б. Транзистор VT_2 , на затвор якого подається постійна напруга і який постійно відкритий, використовується як резистор навантаження для ключового транзистора VT_1 .

3.6.3.3 Ключ на МДП-транзисторах з доповнюючими типами провідимості

Схема такого ключа приведена на рис.3.11 в. В ній використовуються транзистори різних типів основний VT_1 , - з каналом типа n , навантажений - VT_2 , - з каналом типа p . Таку схему називають схемою з каналами доповнюючих типів провідимості або комплементарною схемою на МДП-транзисторах (КМДП-схемою).

При $U_{BX} = U_0$ VT_1 закритий між затвором та виті ком VT_2 діє велика від'ємна напруга $U_{zn} = U_0 - E_c$ і транзистор VT_2 відкритий. На виході ключа встановленими низький рівень напруги. При $U_{BX} = U_1$ транзистор VT_1 , відкритий. VT_2 - закритий. На виході схеми встановлений низький рівень напруги. Таким чином, в кожному сталому положенні один транзистор закритий, а другий - відкритий і схема практично не вживає струм. Струми в проміжки часу в схемі можуть виникати і то лише в короткі, в яких ключ перемикається з одного положення в друге, коли бувають привідкритими обидва транзистора. Наряду з малою вживаємою потужністю КМДП ключ і

більш високу швидкодію в порівнянні з іншими схемами на польових транзисторах. Це зумовлено тим, що ємкості схеми швидко перезаряджаються через малий опір того з транзисторів який в цю мить відкритий.

3.6.4 Транзисторний перемикач струму (струмовий ключ)

Схема перемикача струму, приведена на рис.3.12.

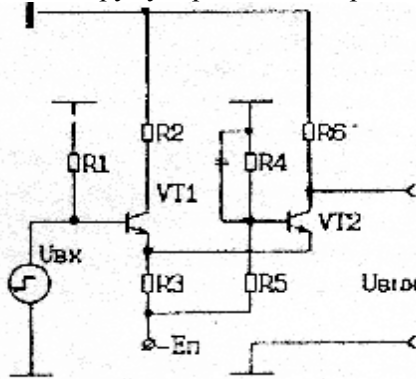


Рисунок 3.12 – Перемикач струму

Перемикач струму, побудований на транзисторах VT1, VT2 і резисторах R1-R6, являє собою диференціальний підсилювач, працюючий в режимі великого сигналу. Схема на резисторах R5, R6 і конденсаторі забезпечує перемикач опорною напругою $U_{оп}$, відносно якої відбувається перемикання.

При наявності на базі VT1 $U_о < U_{оп}$ транзистор VT1 закритий, а VT2-відкритий. Оскільки напруга на його базі вище, ніж на базі VT2.

При опорній напрузі $U_{оп} = 1.2$ В та падінні напруги на переході емітер-база відкритого транзистора, яка дорівнює $U_{бе} = 0.7$ В, напруга в емітерному вузлі складе $U_е > U_{оп} - U_{бе} = 1.9$ В. При вхідній від'ємній напрузі на базі VT1 $U_{вх} < 0 < U_3$ транзистор VT1 закритий і струм протікаючий через резистор R3, протікає через транзистор VT2 і резистор R6. На колекторі VT2 формується низький рівень напруги, значення якого дорівнює $U_{внх} = E_п - I * (R_3 * R_6)$.

При постачанні на базу VT1 високого від'ємного рівня напруги $U_1 > U_{оп}$ відкривається транзистор VT1 та увесь струм протікаючий

через резистор R_3 перемикає в колі транзистора VT_1 та резистора R_2 . В емітерному вузлі встановлюється напруга $U_e = U_{vx} + U_{be}$, яка запирає транзистор VT_2 , оскільки U_{be} VT_2 дорівнює $U_{оп} - U_e$ і менше напруги відпирання транзистору. На колекторі VT_2 встановлюється високий рівень напруги $U_1 > E_n$.

Оскільки на виході схеми рівні сигналу не співпадають з рівнями вхідного сигналу, для передачі вихідного сигналу на підсилюючий ключ необхідні додаткові схеми сопряження рівнів.

В наслідок того, то амплітуда логічного сигналу в струмовому ключі менш, ніж в ключі напруги, транзистори працюють в активному і не входять в область насичення, транзистор VT_2 увімкнений по схемі з загальною базою, струмові перемикачі є найбільш швидкодіючими схемами.

3.7 Література

3.7.1. Калабеков Б. А., Мамзев І. А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы. - М. .Радио и связь. 1987.- 400с.

Лабораторна робота №4

ХАРАКТЕРИСТИКИ І ПАРАМЕТРИ ІНТЕГРАЛЬНИХ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета роботи: вивчити основних типів логічних інтегральних схем (ІС) потенційного типу і ознайомитися з їх параметрами.

4.1 Лабораторна установка

У лабораторну установку (рис.4.1) входять: універсальний стенд 2 із змінним модулем «логічні елементи» (ЛЕ) 3, генератор імпульсів 1 і осцилограф 4. Універсальний стенд містить роз'єми для підключення до нього змінних досліджуваних модулів, кнопки комутації ланцюгів S1-s9, коаксіальні з'єднувачі XW і гнізда Xs1-xs20 для підключення засобів вимірів. Для з'єднання засобів вимірів з універсальним стендом використовуються допоміжні засоби – кабелі радіочастотні і навантаження.

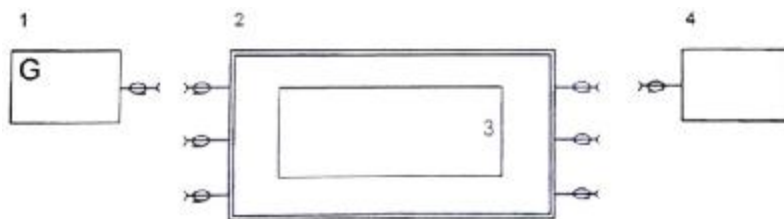


Рисунок 4.1 - Склад лабораторної установки

Вхідний сигнал від генератора імпульсів для всіх схем подається на роз'єм Xw1 універсального стенду. Його наявність можна проконтролювати осцилографом, підключивши останній за допомогою сполучного кабелю до гнізда Xs2.

Змінний модуль ЛЕ, схема якого приведена на малюнку 4.2, містить чотири ЛЕ, що підлягають дослідженню: Dd1, Dd2, Dd3, Dd4. Підключення ЛЕ до джерела живлення $U_{ip}=+5$ В, шині вхідного сигналу, що подається на гніздо G1(Xw1), і загальній вихідній шині, пов'язаній з вихідним роз'ємом «Осцилограф 2», здійснюється

перемикачами лабораторного стенду: Dd1 – S1, Dd2 – S2, Dd3 – S3, Dd4 – S4.

Примітка: Щоб уникнути перевантаження ЛЕ і виходу їх з буд не допускається одночасно підключати до джерела живлення і сигнальним шинам два і більш ЛЕ. Перш, ніж підключити до джерела живлення чергової ЛЕ, необхідно переконатися, що все ЛЕ відключені.

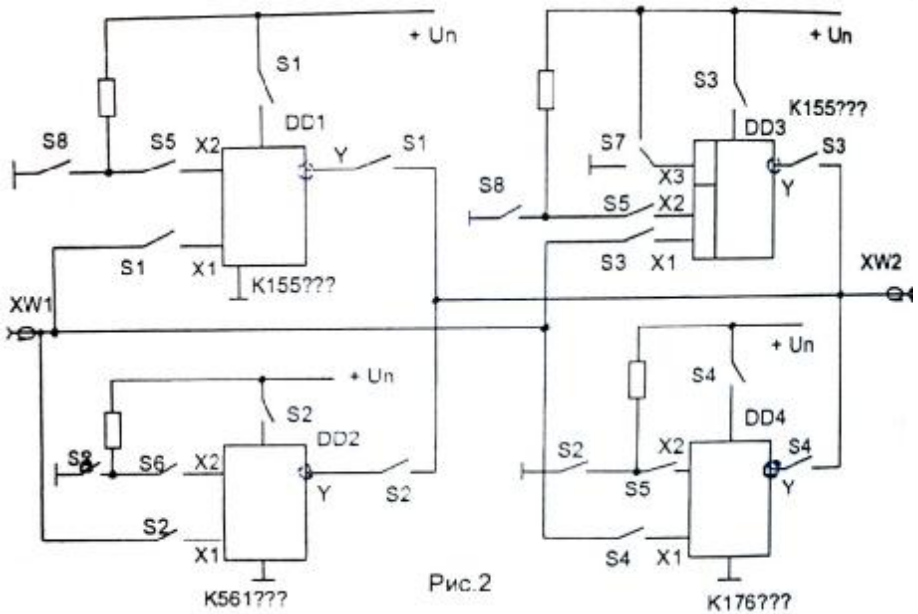


Рисунок 4.2 - Електрична схема змінного модуля «Логічні елементи»

4.2 Підготовка до роботи

4.2.1. Користуючись розділом 4.6 даних методичних вказівок і рекомендованою літературою слідую: вивчити принципи роботи логічних елементів (ЛЕ), виконаних за технологією ТТЛ, а також КМДП-технології; скласти таблиці істинності ЛЕ 2І-НЕ, 2ІЛІ-НЕ, 2І-2І/ІЛІ-НЕ; відповісти на контрольні питання.

4.2.2. Відповідно до заданого варіанту (табл.4.1) підготувати протокол результатів дослідження, аналогічний таб.4.4.

4.3 Порядок виконання роботи

4.3.1 Зібрати схему відповідно до рис.4.4. На генераторі імпульсів органи управління встановити в наступні положення: частота дотримання – 10 кГц; часове зрушення – 0 мкс; тривалість імпульсів – 20 мкс; полярність - ?; амплітуду імпульсів – 30В X 0,1. На універсальному стенді відключити всі кнопки комутації S1 - S10. На осцилографі коефіцієнт відхилення по вертикалі встановити рівним 1 В/дел і коефіцієнт розгортки – 20 мкс/дел. Кнопкою «ВКЛ» включити живлення стенду.

4.3.2 При дослідженні логіки роботи ЛЕ Dd1 натискувати кнопку S1 (при цьому подається живлення на ЛЕ, імпульси на його вхід X1 і вихідний сигнал на роз'єм Xw2). Підключити осцилограф до гнізда Xs1, і на екрані осцилографа отримати осцилограму вхідного сигналу X1.

Підключити осцилограф до гнізда Xs4 універсального стенду і отримати осцилограму вихідного сигналу ЛЕ, відповідний значенню сигналу X2= «1». Замалювати осцилограму сигналу Y. Натискувати кнопки S5 і S8 і знову замалювати осцилограму сигналу Y, відповідного значенню вхідного сигналу X2 = «0». На підставі отриманих осцилограм скласти таблицю істинності ЛЕ, по якій визначити виконувану їм логічну функцію.

Таблиця 4.1 – Таблиця варіантів

№ вар.	Досліджувані ЛЕ
1	DD1 і DD2
2	DD3 і DD4
3	DD1 і DD3
4	DD2 і DD3
5	DD1 і DD4
6	DD2 і DD4
7	DD3

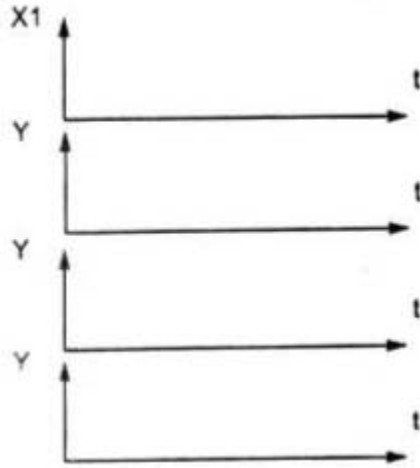
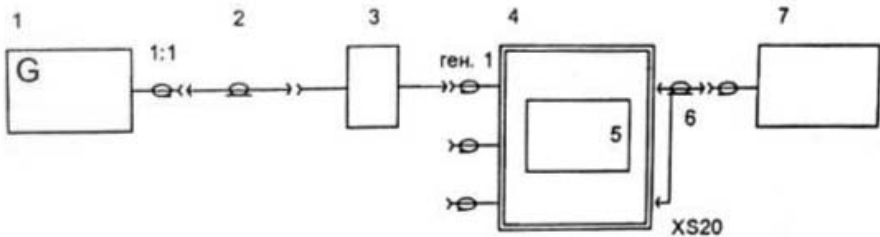


Рисунок 4.3 – Осцилограми сигналів



1 – генератор Г5-54; 2, 6 – з'єднувальний кабель; 3 – нагрузка 500 Ом; 4 – стенд універсальний; 5 – модуль „ЛЕ”; 7 – осцилограф С1

Рисунок 4.4 – Схема установки для дослідження логічних елементів

4.3.3 При дослідженні логіки роботи ЛЕ Dd2 натискувати кнопку S2(при цьому подається живлення на ЛЕ, імпульси на його вхід X1 і вихідний сигнал на роз'єм Xw2). Підключити осцилограф до гнізда Xs1, і на екрані осцилографа отримати осцилограму вхідного сигналу X1. Замалювати осцилограму сигналу X1.

Підключити осцилограф до гнізда Xs4 універсального стенду і отримати осцилограму вихідного сигналу ЛЕ, відповідну значенню сигналу X2= “0”. Замалювати осцилограму сигналу Y. Натискувати

кнопки S6 і S8 і знову замалювати осцилограму сигналу Y, відповідного значенню вхідного сигналу $X2 = "1"$ і $X2 = "0"$. На підставі отриманих осцилограм скласти таблицю істинності ЛЕ, по якій визначити виконувану їм логічну функцію.

4.3.4 При дослідженні логіки роботи ЛЕ Dd3 натискувати кнопку S3(при цьому подається живлення на ЛЕ, імпульси на його вхід X1 і вхідний сигнал на роз'єм Xw2). Підключити осцилограф до гнізда Xs1, і на екрані осцилографа отримати осцилограму вхідного сигналу X1. Замалювати осцилограму сигналу X1.

Підключити осцилограф до гнізда Xs4 універсального стенду і отримати осцилограму вихідного сигналу ЛЕ, відповідну значенням сигналів $X2 = "1"$, $X3 = "1"$. Замалювати осцилограму сигналу Y. Натискувати кнопки S5 і S2 і знову замалювати осцилограму сигналу Y, відповідного значенням вхідних сигналів $X2 = "1"$, $X3 = "0"$.

На підставі отриманих осцилограм скласти таблицю істинності ЛЕ Dd3, по якій визначити виконувану їм логічну функцію.

4.3.5 При дослідженні логіки роботи ЛЕ Dd4 натискувати кнопку S4(при цьому подається живлення на ЛЕ, імпульси на його вхід X1 і вихідний сигнал на роз'єм XW 2). Підключити осцилограф до гнізда Xs1, і на екрані осцилографа отримати осцилограму вхідного сигналу X1.

Замалювати осцилограму вхідного сигналу X1.

Підключити осцилограф до гнізда Xs4 універсального стенду і отримати осцилограму вихідного сигналу ЛЕ, відповідну значенню сигналу $X2 = "0"$. Замалювати осцилограму сигналу Y. Натискувати кнопки S5 і знову замалювати осцилограму сигналу Y, відповідну значенню вихідного сигналу $X2 = "1"$. На підставі отриманих осцилограм скласти таблицю істинності ЛЕ, по якій визначити виконувану ним функцію.

4.4 Зміст звіту

4.4.1. Мета роботи.

4.4.2. Осцилограми вхідного і вихідного сигналів у вигляді рис.4.3.

4.4.3. Таблиця істинності досліджених логічних елементів.

4.4.4. Умовні зображення досліджених ЛЕ.

4.4.5. Довідкові параметри для базового ЛЕ даній серії.

4.4.6. Виводи по роботі, що містять порівняльну характеристику параметрів ЛЕ, виготовлених за різною технологією і схемотехнікою.

4.5 Контрольні запитання

4.5.1. Що розуміють під логічним елементом?

4.5.2. Що розуміють під логічними інтегральними схемами (ІС)

4.5.3. Що розуміють під серією ІС?

4.5.4. Перерахуєте основні види логічних ІС.

4.5.5. Поясніть принцип роботи ЛЕ за його принциповою схемою: для ТТЛ схем; ЕСЛ схем; КМДП схем.

4.5.6. Перерахуєте статичні параметри ІС і назвіть їх значення по видах ІС.

4.5.7. Перерахуєте динамічні параметри ІС і назвіть їх значення по видах ІС

4.6 Короткі теоретичні відомості

4.6.1 Типи логічних інтегральних схем

Комбінаційними логічними елементами (ЛЕ) називаються функціональні вузли електронної техніки, що реалізують функції алгебри логіки так, що стан їх виходів однозначно визначається комбінацією вхідних сигналів і не залежить від попереднього стану даного елемента.

Окремі ІС, об'єднані за типом технології виготовлення, конструктивному оформленню, електричним параметрам і що використовують однаковий спосіб представлення інформації, утворюють **серію ІС**.

Залежно від типа компонентів, на яких реалізується логічні функції, розрізняють наступних **типів ІС**:

- з транзисторною логікою і безпосередніми зв'язками (НСТЛ);
- с транзисторно-транзисторною логікою (ТТЛ);
- с транзисторно-транзисторною логікою с діодами Шотки (ТТЛШ);
- с емітерно-связанною логікою (ЕСЛ);
- з інжекційною інтегральною логікою (ІІЛ);
- НСТЛ схеми на МДП – транзисторах n-типа (nМДП);
- НСТЛ схеми на МДП – транзисторах p-типа (pМДП)
- НСТЛ схеми на МДП – транзисторах доповнюючих видів провідності (КМДП).

4.6.1.1 Базовий логічний елемент транзисторно-транзисторної логіки

Схема базового логічного елемента ТТЛ і його умовне позначення представлена на рис.4.5.

Якщо на будь-який з входів А, В, З поданий сигнал низького рівня ($<0,4$ В), через резистор R1 і емітер транзистора Vt1 потече струм, внаслідок чого на базі транзистора Vt2 встановиться потенціал низького рівня і транзистори Vt2, Vt4 закриються, а транзистор Vt3 – відкриється. На виході елемента (колектор Vt4) з'явиться сигнал високого рівня ($>2,4$ В).

Якщо прийняти, що напруга $U < 0,4$ В відповідає логічному «0», а напруга $U > 2,4$ В – логічною «1» (позитивна логіка), то можна сказати,

що схема на рис.4.5 реалізує бульову функцію І-НЕ для сигналів високого рівня.

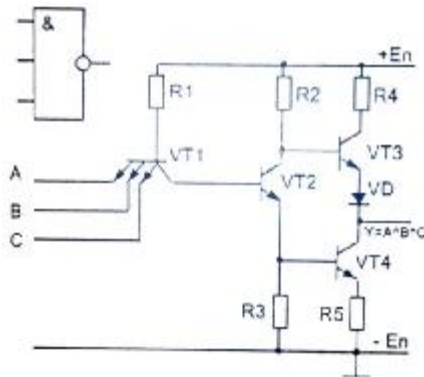


Рисунок 4.5 – Схема базового логічного елементу ТТЛ

Оскільки в схемі рис.4.5 у будь-який момент часу відкритий або транзистор $Vt3$, або транзистор $Vt4$, а опір резистора $R4$ мало, це забезпечує малий час перезаряду паразитних ємностей на виході схеми, і, отже, забезпечує високу швидкодію. Проте, у момент перемикавання з одного стану в інше, коли відкривається транзистор $Vt3$ і закривається транзистор $Vt4$ (і навпаки), обидва транзистори опиняються в стані, що приводить до виникнення кидка струму в ланцюзі джерела живлення. Кидки струму не лише створюють перешкоди, але і збільшують потужність, що розсіюється елементом, особливо при роботі на високих частотах перемикавання.

Оскільки транзистори ТТЛ – схема з провідному стані знаходяться в області насичення, швидкодія схеми обмежена часом розмоктування носіїв в базах транзисторів. Цей недолік здоланий з ТТЛ – схемах з діодами Шотки (ТТЛШ).

Схема ІС типа ТТЛШ аналогічна схемі ІС типа ТТЛ за винятком того, що в схемі використані транзистори, до переходів база-колектор яких підключені діоди Шотки, що виключають насичення транзисторів.

4.6.1.2 Елемент емітерно-зв'язаної логіки

Типова схема логічного елементу ЕСЛ – типа і його умовне зображення показана на рис.4.6.

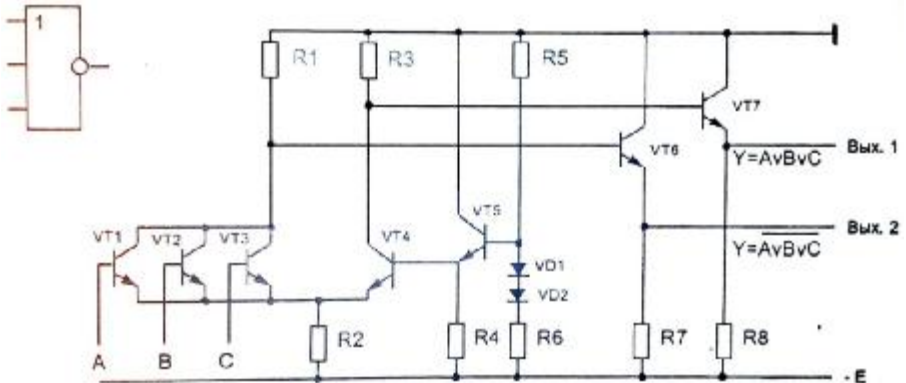


Рисунок 4.6 - Типова схема логічного елементу ЕСЛ

Транзистори $Vt1-vt3$ сприймають входні сигнали і спільно з транзистором $Vt4$ утворюють диференційований підсилювач. Диференційований підсилювач працює як перемикач струму, що постійно протікає через резистор $R2$.

Коли на всіх входах A, B, C , діє низька напруга $U \approx -1,6$ В, відкритий транзистор $Vt4$, оскільки транзистор $Vt5$ і його базовий ланцюг створюють на базі транзистора $Vt4$ рівень опорної напруги $U_{оп} \approx -1,2$ Ст В в результаті цього транзистор $Vt7$ буде закритий, а $Vt6$ – відкритий.

Якщо на будь-який з входів подати сигнал високого рівня $U \approx 0,8$ В, відкриється відповідний цьому входу транзистор, який відведе струм через резистор $R2$ від транзистора $Vt4$ на себе, унаслідок чого транзистори $Vt4$ і $Vt6$ закриються, а $Vt7$ – відкриється. Таким чином, схема на мал. 6 виконує функцію АБО по входу 1 і функції І по виходу 2 при позитивній логіці (логічна «1» - $U \approx 0,8$ В, логічний «0» - $U \leq -1,6$ В).

Оскільки транзистори в цій схемі працюють в активній області і не входять в насичення, схема має високу швидкодію. Транзистори

Vt6, Vt7 є емітерними повторітелями і забезпечують великий вихідний струм, а також мають низький вихідний опір, завдяки чому швидкодія елемента мало змінюється за наявності паразитних ємностей на виході.

4.6.1.3 Логічні елементи КМДП-типу

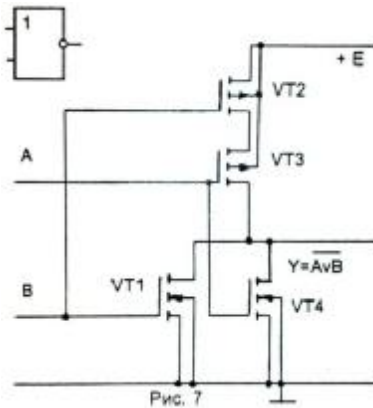


Рисунок 4.7 - Схема логічного елемента на МДП-транзисторах доповнюючих типів провідності

Схема логічного елемента на МДП-транзисторах доповнюючих типів провідності (структурах комплементу) і його умовне зображення показані на рис.4.7. Для з'ясування принципу роботи даної схеми необхідно пам'ятати, що транзистор з каналом р-тіпа відкривається, коли потенціал затвора відносно витoku стає негативним, а транзистор з каналом n-тіпа відкривається, коли потенціал затвора відносно витoku стає позитивним.

Вихідна напруга в даній схемі буде низькою в тих випадках, коли або на вході А, або на вході В присутній потенціал високого рівня і будуть відкриті або транзистор Vt1 або Vt4 або обидва ці транзистора.

Якщо на обох входах А і В присутній потенціал низького рівня, будуть відкриті транзистори Vt2 і Vt3 і вихідна напруга буде високою.

Отже, для позитивної логіки дана схема реалізує бульову функцію ІЛИ-НЕ.

Оскільки схема даного типу має низький вихідний опір як в стані логічного «0» (відкритий Vt1 або Vt4), так і в змозі логічно «1» (відкритий Vt2 і Vt3), швидкодія системи вища, ніж в звичайних схемах на n-МДП або на р-МДП-транзисторах. Крім того, дуже мала потужність, що розсіюється схемою. Проте, ці схеми, подібно TTL схемам, можуть мати в циклі перемикання стадію, коли виникає кризний струм через прочинені транзистори р- і n-тіпа.

4.6.2 Основні характеристики і параметри логічних ІС

Технічні можливості цифрових ІС оцінюються по наступних параметрах: рівням логічного «0» і логічною «1», перешкодостійкості, швидкодії, розсіюваній потужності, коефіцієнту об'єднання по входу, коефіцієнту розгалуження по виходу и др.

Коефіцієнт об'єднання по входу ($K_{об}$) - це число входів ЛЕ, по яких реалізується логічна функція (число аналогічних схем, які можуть бути підключені на вхід даного елемента).

Коефіцієнт розгалуження по виходу ($K_{разв}$) - максимальне число входів базового елемента даної серії ІС, які можна одночасно підключити до виходу даного елемента без порушення його працездатності.

Рівень логічної «1» («0») - значення напруга, відповідне логічною «1» (логічному «0») з врахуванням полярності.

Перешкодостійкість – здатність елемента правильно функціонувати в умовах перешкод. Визначається найбільшим значенням сигналу перешкоди, при якому ще відбувається помилкове спрацювання ЛЕ.

У загальному випадку розрізняють статичну і динамічну перешкодостійкість. Статична перешкодостійкість визначається як що допускається, необмежене по тривалість, відхилення напруги вхідного сигналу від номінального рівня, при якому рівень вихідного сигналу залишається незмінним. *Динамічна перешкодостійкість* залежить т тривалості, амплітуди і форми сигналу перешкоди, від рівня статичної перешкодостійкості і швидкості перемикання ЛЕ. *Динамічна перешкодостійкість* характеризується критичною тривалістю імпульсу перешкоди, при якій амплітуда перешкоди відповідає рівню статичної перешкодостійкості ЛЕ.

Швидкодія характеризується середньою затримкою поширення сигналу, яка є інтервалом часу між зміною станів вхідного і вихідного сигналів, і визначається як напівсума затримок перемикання по фронту і спаду вихідного сигналу відносно фронту і спаду вхідного сигналу.

Потужність, що розсіюється елементом, визначається твором значення напруги, що живить ЛЕ, на середнє значення струму, споживаного ЛЕ. У загальному випадку розрізняють статичну і динамічну розсіювану потужність. Потужність, споживана ЛЕ в статичному режимі, визначається як напівсума потужностей, споживаних ЛЕ в стані логічного «0» і логічною «1». Динамічна потужність визначається значенням статичної потужності і частотного перемикання логічного елемента.

Таблиця 4.2 – Значення параметрів логічних елементів різних типів

Параметр	Вид ЛЕ і серії ІС					
	ТТЛ	ТТЛШ		ЭСЛ	КМДП	
	K155 (SN74)	K555 (SN74LS)	KP1531 (SN74F)	K1500 (F100K)	K176 (CD4000A)	K561 (CD4000B)
Рівень лог. «1»,В	2.4	2.7	2.7	-0.88	8.2	4.99
Рівень лог. «0»,В	0.4	0.5	0.5	-1.81	0.3	0.01
Рассеив. потуж, мВт/л.э	10	2.4	4.0	50	0.01	0.01
Час перекл., нс	20	7.0	3.0	1.5	500	200

Таблиця 4.3 - Порівняння логічних елементів різних типів

Тип схеми	Быстродействие	Рассеив. мощность	К _{разв}	Помехоустой.	Порождение помех
ТТЛ	3	3	3	2	4
ТТЛШ	2	3	3	2	4
ЭСЛ	1	5	3	2	1
КМДП	5	2	2	1	2
ИИЛ	4	1	1	2	2

Примітка. Най-краще значення параметра; 5-найгірше значення.

4.6.3 Умовні позначення інтегральних логічних елементів

Все интегральные схемы имеют условное буквенно-цифровое обозначение вида



Например, 1 531 ЛА 7.

Позначення логічних елементів по функціональному призначенню відповідно до ГОСТ 18682-73 представлено в табл.4.4.

Таблица 4.4 - Позначення логічних елементів по функціональному призначенню

Функциональное назначение ЛЭ	Условное обозначение
И-НЕ	ЛА
И-НЕ/ИЛИ-НЕ	ЛБ
ИЛИ-НЕ	ЛЕ
И	ЛИ
ИЛИ	ЛЛ
И-ИЛИ-НЕ	ЛР
И-ИЛИ	ЛС

4.7 Література

4.7.1. Калабеков Б.А., Мамзев И.А. «Цифровые устройства и микропроцессорные системы.-М.:Радио и связь, 1987.-400с.