

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Фізико-математичний факультет**

Кафедра фізики та методики її навчання

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри

_____ Слюсаренко М.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Протокол № _____

« ____ » _____ 2021 р.

Реєстраційний номер № _____

« ____ » _____ 2021 р.

РОЗРОБКА ТА СТВОРЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ІМПУЛЬСІВ

Кваліфікаційна робота студентки
групи ФМм-16
ступінь вищої освіти _____ магістр _____
спеціальності
0.14.08 Середня освіта (Фізика)
Грицай Яни Валеріївни

Керівник: доктор фізико–математичних
наук, професор Балабай Р. М.

Оцінка:
Національна шкала _____
Шкала ECTS _____ Кількість балів _____
Голова ЕК _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Члени ЕК _____

(підпис) (прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ	6
1.1 Електричний імпульс. Форми та параметри імпульсних сигналів.....	6
1.2 Призначення лічильників імпульсів, компараторів, тригера Шмітта, мультивібратора та одновібратора	9
Висновки до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2. ТИПИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ІМПУЛЬСІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ РОБОТИ	17
2.1 Принцип роботи лічильників імпульсів. Тригери	17
2.2 Таблиці переходів тригерів	24
Висновки до розділу 2	27
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ЛІЧИЛЬНИКА ІМПУЛЬСІВ	28
3.1. Опис обладнання стенда	28
3.1.1 Опис навчального набору ЕСФЕ-2.....	28
3.1.2 Опис і технічні параметри мікросхеми K155TM2	31
3.1.3 Опис цифрового осцилографа S8-46/2	33
3.1.4 Опис генератора прямокутних імпульсів JDS6600-15M	36
3.2 Структурна схема лабораторного стенду для дослідження лічильника імпульсів, побудованого на інтегральній схемі K155TM2	39
Висновки до розділу 3	47

РОЗДІЛ 4. ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯК ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ В РОЗВИТОК STEM-ОСВІТИ УЧНІВ СТАРШОЇ ШКОЛИ	49
Висновки до розділу 4	60
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Під час розвитку електроніки виник такий клас електронної техніки, як цифрова. Дана технологія призначена для формування, передавання та обробки електричних імпульсних сигналів. Крім того, однією з її функцій є реєстрування перепадів напруги та струму, а також управління інформацією та її зберігання.

Цифрові пристрої займають домінуюче положення в багатьох галузях науки і техніки, оскільки джерела живлення набагато менше споживають енергії, мають більш високу точність, менший вплив на зміну зовнішніх умов і більш стійкі до перешкод. До цифрових технологій входять наступні пристрої: лічильники, тригери, регістри, комбінаційні пристрої, програмовані логічні інтегральні схеми, комп'ютери та інше обладнання. Темпи розвитку комп'ютерної техніки постійно зростають. Так, зараз основна тенденція – це збільшення на ринку інформаційних технологій частки вбудованих систем, проектування яких неможливе без ґрунтовного знання принципів роботи цифрових пристроїв та уміння працювати з ними.

Вивчення цифрових пристроїв є однією з головних задач при підготовці спеціалістів у галузі STEM-наук. Метою дослідження цифрових пристроїв під час навчання у ЗВО є формування у студентів знань з основних принципів обробки інформації, представленої у цифровому вигляді; набуття ними навичок з проектування цифрових пристроїв з використанням сучасної елементної бази та сучасних комп'ютерних технологій; набуття навичок самостійного одержання інженерних знань та використання їх на практиці.

Мета наукової праці – вивчення принципу роботи і дослідження імпульсних пристроїв на операційних підсилювачах на прикладі лічильника імпульсів.

Для досягнення окресленої мети були поставлені наступні **завдання**:

1. Визначити поняття електричного імпульсу, форм імпульсних сигналів та їх параметрів.

2. Пояснити призначення лічильників імпульсів, компараторів, тригерів Шмітта, мультівібраторів.

3. Розглянути особливості роботи та типи лічильників імпульсів.

4. Розробити лабораторний стенд для дослідження принципів роботи лічильника імпульсів.

5. Формувати результати дослідження для можливості їх впровадження в розвиток STEM-освіти учнів старшої школи для отримання ними більш технічно складних навичок.

Об'єкт дослідження – лічильники імпульсів.

Предмет дослідження – мікросхеми тригера серії K155TM2.

Структура роботи. Магістерська праця складається зі вступу, чотирьох розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних джерел, який нараховує 22 позиції. Повний обсяг наукової роботи – 64 сторінки.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ

1.1 Електричний імпульс. Форми та параметри імпульсних сигналів

Електричним імпульсом називають короткочасне стрибкоподібне відхилення напруги або сили струму від початкового значення протягом короткого кінцевого проміжку часу [8].

Розрізняють два види електричних імпульсів: радіо- та відеоімпульси. Радіоімпульси представляють собою обмежені в часі, переривчасті сплески високочастотних або надвисокочастотних коливань, огинаюча яких має форму відоімпульсу (рис. 1.1, д).

Відеоімпульси – поодинокі коливання електричної напруги або струму (переважно однієї полярності), що мають постійну складову і не містять високочастотних коливань. Розрізняють однополярні (відхилення тільки в одну сторону від нульового потенціалу) і двохполярні відеоімпульси [22].

Важливою характеристикою імпульсів є їх форма, яку можна візуально спостерігати, наприклад, на екрані осцилографа – приладу, призначеного для дослідження (спостереження, запису, вимірювання) амплітудних і часових параметрів електричного сигналу, що подається на його вхід [2].

Зазвичай форма імпульсу (рис. 1.1) складається з: початкового підйому (фронт), відносно плоскої вершини (не для всіх форм) та спаду – кінцевий спад напруги. Існує кілька видів стандартних форм електричного імпульсу, що мають відносно простий математичний опис, і широко використовуються в техніці. До них належать [8]:

1. Прямокутний імпульс (рис. 1.1, а) – найбільш поширений тип, має визначену полярність та робочий рівень. Частіш за все полярність імпульсу позитивна;
2. Пилкоподібний імпульс (рис. 1.2, в);

3. Трикутний імпульс (рис. 1.2, б);
4. Трапецеїдальний імпульс (рис. 1.1, б);
5. Експонентний імпульс (рис. 1.1, в);
6. Колоколоподібний імпульс (рис. 1.1, г);
7. Радіоімпульс (рис. 1.1, д);
8. Імпульси, що представляють собою напівхвилі або інші фрагменти синусоїди.

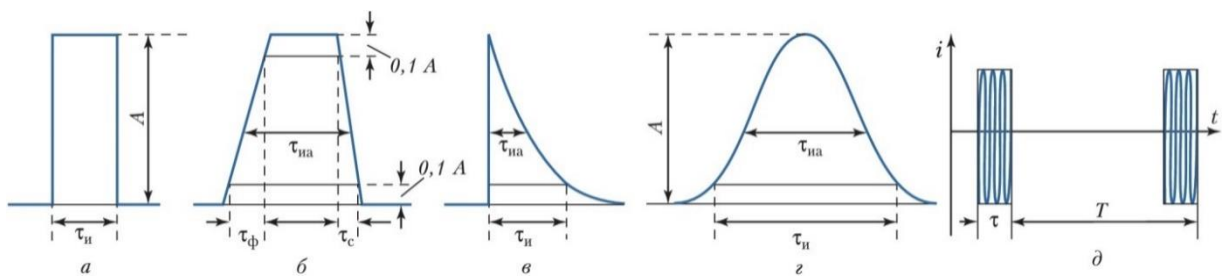


Рис. 1.1 Електричні імпульси різної форми: а – прямокутний; б – трапецеїдальний; в – експонентний; г – колоколоподібний; д – радіоімпульс; A – амплітуда; τ_i – тривалість імпульсу; τ_{ia} – тривалість імпульсу на рівні $0,5 A$; τ_ϕ – тривалість фронту; τ_c – тривалість спаду; i – струм; T – період; t – час

Крім імпульсів стандартної, простої форми іноді, в особливих випадках, використовуються імпульси спеціальної форми, що описуються складною функцією, існують також складні імпульси, форма яких має в значній мірі випадковий характер, наприклад, імпульси відеосигналу.

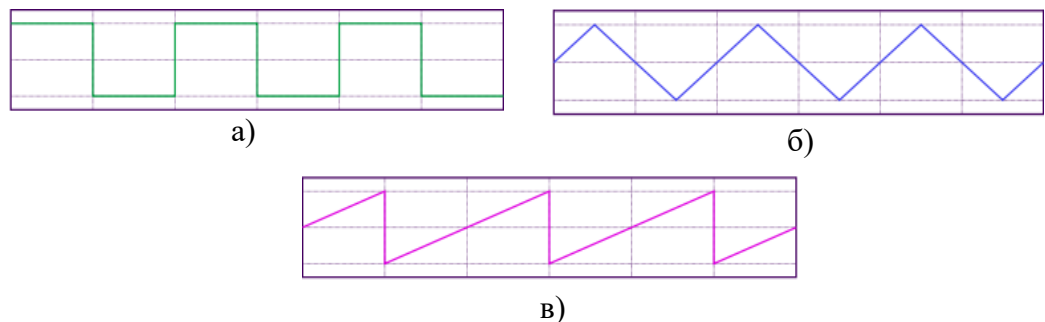


Рис. 1.2 Електричні імпульси прямокутної (а), трикутної (б) та пилкоподібної (в) форми

Реальний відеоімпульс може мати досить складну форму (рис. 1.3), яка характеризується амплітудою A , тривалістю τ_i (відраховується на заздалегідь обумовленому рівні, наприклад $0,1 A$ або $0,5 A$), тривалістю фронту τ_ϕ і спаду τ_c (відраховуються між рівнями $0,1 A$ і $0,9 A$), скосом вершини ΔA (виражається у відсотках від A).

Тривалість пилкоподібних і трикутних імпульсів визначається по основі (від початку зміни напруги до кінця). Для інших типів імпульсів тривалість прийнято брати на рівні напруги 50% від амплітуди, для колоколоподібних імпульсів іноді використовується рівень 10%, тривалість штучно синтезованих колоколоподібних імпульсів (з чітко вираженою основою) і півхвиль синусоїди часто вимірюється по основі [22].

Для різних типів імпульсів також вводять додаткові параметри, що уточнюють форму або характеризують ступінь її відхилення від ідеальної. Наприклад, для опису неідеальних прямокутних імпульсів використовуються такі параметри, як, тривалості фронту і зрізу (спаду) (для ідеального прямокутного імпульсу вони дорівнюють нулю), нерівномірність вершини, а також розмір викидів напруги після фронту і зрізу, що виникають в результаті перехідних паразитних процесів.

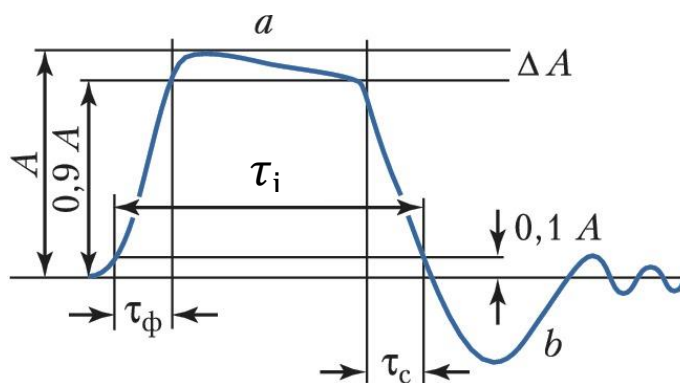


Рис. 1.3 Відеоімпульс і його основні характеристики: A – амплітуда; a – вершина; ΔA – скіс вершини; b – хвіст; τ_ϕ – тривалість фронту; τ_i – тривалість імпульсу; τ_c – тривалість спаду.

Найбільш широко використовуються прямокутні відеоімпульси, на основі яких формуються синхронізуючі, керуючі та інформаційні сигнали в обчислювальній техніці, радіолокації, телебаченні, цифрових системах передачі та обробки інформації та ін.

Пилкоподібні і експоненціальні відеоімпульси застосовуються, наприклад, в системах розгортки телевізорів, радіолокаційних індикаторів, осцилографів, а також при формуванні складних радіолокаційних сигналів з внутрішньоімпульсною частотною модуляцією. Тривалість відеоімпульсів становить від часток секунди до десятих часток наносекунди [2].

Іноді імпульси використовуються або виникають не поодиноці, а групами, які називаються серіями імпульсів або імпульсними посилками, в тому випадку, коли вони формуються навмисно для передачі будь-куди. Імпульсна послідовність може нести будь-яку інформацію одиничного характеру або служити в якості ідентифікатора. Інформаційні послідовності прямокутних імпульсів, в яких значущими величинами є кількість імпульсів, їх тимчасове розташування або тривалості імпульсів називаються кодово-імпульсними посилками або, в деяких областях техніки, кадрами, фреймами.

Імпульсною послідовністю називається досить тривала послідовність імпульсів, що служить для передачі безперервно мінливої інформації, для синхронізації або для інших цілей, а також генеруються ненавмисно [20].

1.2 Призначення лічильників імпульсів, компараторів, тригера Шмітта, мультівібратора та одновібратора

Операційний підсилювач – це інтегральна схема, яка може підсилювати слабкі електричні сигнали. Вона має два вхідних і один вихідний штифт. Основна роль операційного підсилювача полягає в посиленні та виведенні різниці напруг між двома вхідними контактами. Він використовується не окремо,

а призначений для підключення до інших схем для виконання різноманітних операцій.

Назва «лічильники» використовується до будь-яких послідовнісних цифрових пристроїв із замкнутим циклом діаграми станів. У загальному плані лічильниками імпульсів називаються цифрові пристрої, призначені для [19]:

1. підрахунку кількості імпульсів, що подаються з вимірювальних датчиків на їх інформаційні входи або синхровходи;
2. фіксації кількості імпульсів та перерахунку їх в потрібні одиниці вимірювання (штуки, кілограми, метри, літри і т.д.), шляхом множення на заданий множник;
3. підрахунку сумарної виробітки за певний період (день, добу, зміну, тиждень, місяць і т.д.);
4. управління виконавчими механізмами дискретними виходами – одним або декількома. В якості дискретного виходу в лічильниках використовується наприклад реле (механізм, який при впливі на нього зовнішніх фізичних явищ стрибкоподібно приймає кінцеве число значень вихідної величини [12]) або оптопара (перетворює електричний сигнал в світло, передає по оптичному каналу і в подальшому перетворює назад в електричний сигнал [3]).

В якості датчиків електронних лічильних імпульсів найчастіше застосовується механічний переривник, індуктивний датчик (безконтактний) або енкодер.

Як пристрої цифрової схемотехніки, лічильники характеризуються наступними основними параметрами. Статичний параметр – коефіцієнт перерахування (модуль перерахування) M – характеризує максимальну кількість імпульсів, яка може бути подана на лічильник, щоб привести його до початкового стану. Динамічні параметри лічильників характеризують їх швидкодію. Основний динамічний параметр – час установа вихідного коду ($t_{уст}$): це інтервал часу з моменту подачі вхідного імпульсу до моменту

встановлення коду на виходах лічильника. Другий важливий динамічний параметр – дозволяюча спроможність лічильника (t_{cd}), яка визначається як мінімальний інтервал часу між двома вхідними імпульсами. Величина (f_{max}) називається максимальною частотою роботи лічильника [5].

$$f_{max} = t_{cd}^{-1} \quad (1.1)$$

Оскільки скінченні автомати можуть бути синхронними і асинхронними, то і, відповідно, ті групи автоматів, які спеціально призначені для підрахунку кількості імпульсів, можуть також бути синхронними і асинхронними [19].

В залежності від напрямку руху (режиму роботи), лічильники імпульсів розділяють на [21]:

1. Підсумовуючі лічильники (з приходом чергового рахункового імпульсу результат збільшується на одиницю).
2. Віднімальні лічильники (вихідний двійковий код зменшується на одиницю з приходом кожного рахункового вхідного імпульсу).
3. Реверсивні (може відбуватися як сумування, так і віднімання результату).

Компаратор – це прилад, який порівнює дві напруги (або струми) і видає цифровий сигнал, видаючи більше значення. Він приймає дві вхідні напруги, потім порівнює їх і дає диференціальну вихідну напругу або високого, або низького рівня сигналу. Компаратор використовується для визначення, коли довільний змінний вхідний сигнал досягає опорного рівня або визначеного порогового рівня [1].

Компаратор, як правило, побудований на диференціальному підсилювачі з високим коефіцієнтом посилення.

Основне призначення компараторів – оцифрування аналогових сигналів. За допомогою компараторів здійснюється зв'язок між безперервними сигналами, наприклад, напруги і логічними змінними цифрових пристроїв. Застосовуються в різних електронних пристроях, АЦП і ЦАП, пристроях сигналізації, допускового контролю.

На компараторах можна збирати різні пристрої, такі як терморегулятори, стабілізатори, різні пристрої автоматики – використовуючи для зміни вхідного сигналу різні датчики, такі як, терморезистори, фоторезистори, індикатори вологості і т.д.

Вихідні каскади компараторів розраховані таким чином, щоб їх вихідна напруга відповідало б вхідному логічному рівню багатьох цифрових мікросхем, тому їх ще можуть називати формувачами [8].

Тригер Шмітта – двохпозиційний релейний (перемикаючий) елемент який забезпечує гістерезис або два різних порогових рівня напруги для зростаючого та спадаючого фронту імпульсів.

Гістерезис – явище, яке полягає в тому, що фізична величина, що характеризує стан тіла, неоднозначно залежить від фізичної величини, що характеризує зовнішні умови [10].

Тригери Шмітта використовуються для відновлення дворівневого цифрового сигналу, спотвореного в лініях зв'язку перешкодами.

Так, наприклад, якщо у нас є такий шумний вхідний сигнал, який має 2 імпульси. Пристрій, що має лише одну задану точку або поріг, може отримати неправильний вхід, і він може зареєструвати більше двох імпульсів (Рис. 1.4). І якщо ми використовуємо тригер Шмітта для одного і того самого вхідного сигналу, ми отримаємо правильний вхід двох імпульсів через два різних порогових значення. Отже, це основна функція тригера Шмітта – перетворювати шумові квадратні хвилі, синусоїди або повільні входи в чисті квадратні хвилі [11].

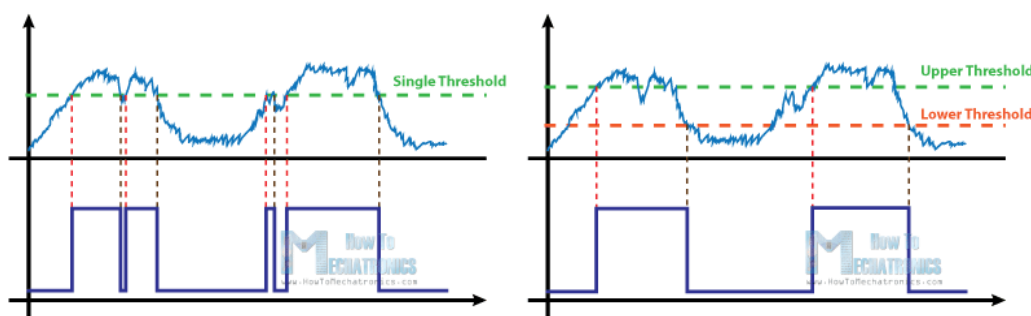


Рис.1.4 Принцип роботи тригера Шмітта

Мультивібратором називається електронний пристрій, що видає несинусоїдальну форму хвилі на виході. Сформовані несинусоїдальні форми хвиль – це, в основному, квадратні, прямокутні, трикутні або пилоподібні хвилі. Це двоступеневий підсилювач з дистанційним керуванням, який працює у двох режимах.

Мультивібратор має можливість зберігати двійкове число, рахувати імпульси і в той же час підтримується синхронізація між арифметичними операціями у цифровій системі [5].

Мультивібратори поділяють на три типи:

1. Нестабільний або вільнопрацюючий – безперервно генерує коливання. Стан змінюється самостійно через деякий заздалегідь визначений інтервал часу t , отже, не потребує запуску імпульсу;

2. Моностабільний – один зі станів є стабільним, але інший стан нестійкий (перехідний). Мультивібратор на деякий час, визначається параметрами його компонентів, переходить в нестійкий стан під дією запускаючого імпульсу. Потім повертається до стійкого стану до приходу чергового запускаючого імпульсу;

3. Бістабільний – мультивібратор стійкий в будь-якому з двох станів і може бути переключений з одного стану в інший подачею зовнішніх імпульсів.

Моностабільний мультивібратор також називають одновібратором. Це пристрої, що виконують функцію формування імпульсів певної тривалості, що задається зовнішніми резисторами і конденсаторами, які задають час. Одновібратори застосовуються для перетворення форми імпульсів в розширниках імпульсів.

Залежно від поставленого завдання і використовуваної схемотехніки, одновібратор може виконувати функцію як вкорочувальну, так і подовжуючу (розширювальну) по відношенню до тривалості сигналу, що надходить на вхід [16].

Головне застосування одновібраторов – як таймера, який формує сигнал певної тривалості незалежно від роботи всієї іншої схеми. Моностабільні мультивібратори використовуються в таких додатках, як телевізійні схеми та схеми системи управління.

Висновки до розділу 1

Електричним імпульсом називають короткочасне стрибкоподібне відхилення напруги або сили струму від початкового значення протягом короткого кінцевого проміжку часу. Розрізняють радіоімпульси (обмежені в часі, переривчасті сплески високочастотних або надвисокочастотних коливань) та відеоімпульси (поодинокі коливання електричної напруги або струму, що мають постійну складову і не містять високочастотних коливань).

Зазвичай форма імпульсу складається з: початкового підйому (фронту), відносно плоскої вершини (не для всіх форм) та спаду – кінцевий спад напруги. Існує кілька видів стандартних форм електричного імпульсу: прямокутний, пилкоподібний, трикутний, трапецеїдальний, експонентний та колоколоподібний імпульс.

Реальний відеоімпульс може мати досить складну форму, яка характеризується амплітудою, загальною тривалістю, тривалістю фронту і спаду та скосом вершини.

Операційний підсилювач – це інтегральна схема, яка може підсилювати слабкі електричні сигнали. Його основна роль полягає в посиленні та виведенні різниці напруг між двома вхідними контактами.

Лічильниками імпульсів називаються цифрові пристрої, призначені для підрахунку і фіксації кількості імпульсів, перерахунку їх в потрібні одиниці вимірювання, підрахунку сумарної виробітки за певний період, управління виконавчими механізмами дискретними виходами.

В залежності від напрямку руху (режиму роботи), лічильники імпульсів розділяють на: підсумовуючі, віднімальні та реверсивні.

Компаратор – це прилад, який порівнює дві напруги (або струми) і видає цифровий сигнал, видаючи більше значення. Використовується для визначення, коли довільний змінний вхідний сигнал досягає опорного або визначеного порогового рівня.

Тригер Шмітта – елемент, який забезпечує гістерезис або два різних порогових рівня напруги для зростаючого та спадаючого фронту імпульсів. Використовуються для відновлення дворівневого цифрового сигналу, спотвореного в лініях зв'язку перешкодами. Основна функція тригера Шмітта – перетворювати шумові квадратні хвилі, синусоїди або повільні входи в чисті квадратні хвилі.

Мультивібратором називається електронний пристрій, що видає несинусоїдальну форму хвилі на виході. Він має можливість зберігати двійкове число, рахувати імпульси і в той же час підтримується синхронізація між арифметичними операціями у цифровій системі. Мультивібратори поділяють на три типи: нестабільний, моно стабільний та бістабільний.

Моностабільний мультивібратор також називають одновібратором. Це пристрої, що виконують функцію формування імпульсів певної тривалості, що задається зовнішніми резисторами і конденсаторами, які задають час. Одновібратори застосовуються для перетворення форми імпульсів в розширниках імпульсів.

РОЗДІЛ 2. ТИПИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ІМПУЛЬСІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ РОБОТИ

2.1 Принцип роботи лічильників імпульсів. Тригери

Однією з найпоширеніших операцій в інформаційно-обчислювальній техніці та цифровій вимірювальній техніці є запис кількості імпульсів – підрахунок їх кількості. Цю операцію реалізує лічильник імпульсів. Лічильник надає інформацію про кількість імпульсів у вигляді двійкового коду (завдяки структурному принципу).

Лічильники бувають прості (підсумовуючі, у яких код збільшується на одиницю після надходження на вхід кожного імпульсу; віднімаючі, у яких код відповідно зменшується після надходження на вхід кожного імпульсу) і реверсивні (суміщають властивості підсумовуючих і віднімаючих - можуть працювати в тому або іншому режимі за зовнішньою командою).

Як правило, лічильники будують на основі тригерів [13].

Тригер – пристрій, що володіє двома стійкими станами і здатний переходити з одного стану в інший під впливом зовнішнього керуючого сигналу, що перевищує граничне значення. За відсутності зовнішніх впливів тригер може, як завгодно, довго перебувати в одному зі стійких станів. Тригери можуть виконувати функції перемикачів на їх основі будують лічильники, розподільники та інші пристрої [17].

Схема симетричного тригера зображена на рис. 2.1. Тригер являє собою двокаскадний підсилювач з додатнім зворотним зв'язком, виконаний на біполярних транзисторах VT1 і VT2, увімкнених за схемою з СЕ.

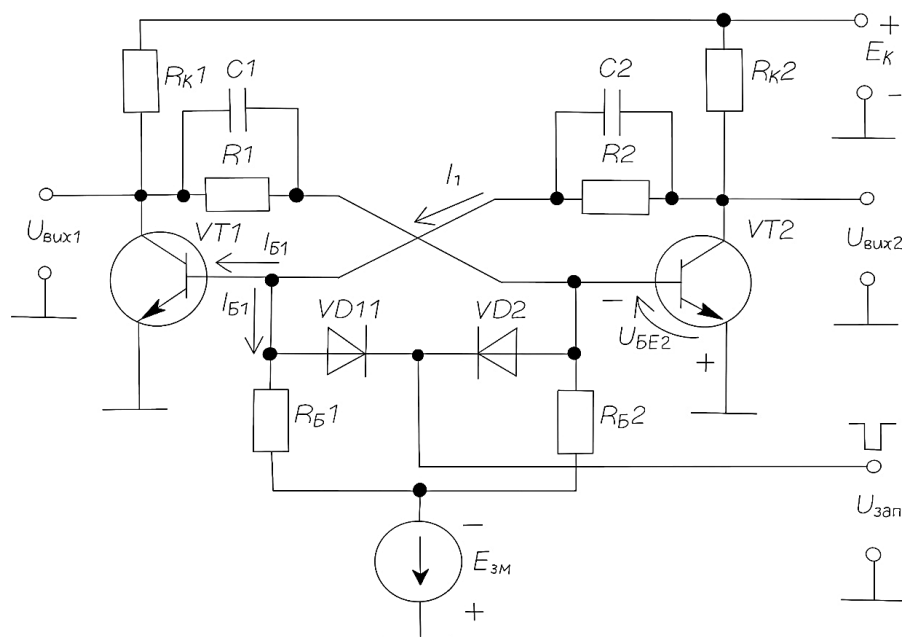


Рис. 2.1 Симетричний тригер на біполярних транзисторах

Додатній зворотний зв'язок забезпечується ланцюжками R_1, C_1 та R_2, C_2 , які з'єднують колектор одного транзистора з базою іншого.

E_{3M} призначена для утримання у закритому стані одного з транзисторів схеми.

Коло, до якого входять діоди $VD1$ і $VD2$, призначене для запуску тригера при подачі напруги $U_{3ап}$. Тригер є симетричним, бо

$$R_{K1} = R_{K2} = R_K; R_1 = R_2 = R; C_1 = C_2 = C; R_{B1} = R_{B2} = R_B.$$

Він має два сталих стани:

- 1) $VT1$ відкритий $VT2$ закритий, при цьому $U_{вих1} = 0, U_{вих2} = 1$;
- 2) $VT1$ закритий, $VT2$ відкритий, $U_{вих1} = 1, U_{вих2} = 0$.

Після підключення до джерела живлення тригер також може перебувати в будь-якому стані, а за відсутності зовнішнього керуючого сигналу він може підтримувати стабільний стан за потреби (але тільки за наявності енергонезалежної пам'яті).

Розглянемо умови, коли $VT1$ відкритий, а $VT2$ закритий:

$$I_{Б1} = I_1 - I_{Б1}; I_{Б1} = \frac{E_K}{R_K + R} - \frac{E_{3M}}{R_B} \quad (2.1)$$

Щоб транзистор VT1 знаходився у насиченому стані, необхідно забезпечити:

$$I_{\text{б1}} \geq I_{\text{бн}} = \frac{I_{\text{бн}}}{\beta} = \frac{E_K}{R_K \beta} \quad (2.2)$$

тобто

$$\frac{E_K}{R_K + R} - \frac{E_{\text{зм}}}{R_B} \geq \frac{E_K}{R_K \beta} \quad (2.3)$$

Вираз (2.3) є визначальним для забезпечення насиченого стану VT1.

Маємо

$$U_{\text{BE2}} = E_{\text{зм}} - U_{R_{\text{Б2}}}; \quad U_{R_{\text{Б2}}} = \frac{E_{\text{зм}} R_B}{R_B + R}; \quad U_{\text{BE2}} = E_{\text{зм}} - \frac{E_{\text{зм}} R_B}{R_B + R} < 0 \quad (2.4)$$

Розглянемо роботу тригера при наявності пускової напруги. Припустимо, що ланцюг знаходиться в першому стаціонарному стані рівноваги. У цей час діод VD1 рухається вперед під дією позитивної напруги U_{BE1} , а діод VD2 замикається під дією напруги U_{BE2} . Якщо подати негативний запускаючий імпульс, він увійде в базу VT1 через діод VD1, який вимкнеться (у нас буде $I_1 = 0$). Напруга на колекторі VT1 зросте і досягне бази VT2 через R_1 та прискорювальний конденсатор C_1 ввімкне його.

У результаті – схема перейде до другого сталого стану.

Тепер, коли діод VD1 вимкнений напругою U_{BE1} , наступний негативний пусковий імпульс буде діяти на базу VT2 через діод VD2 і вимкне VT2, переводячи тригер в перший стійкий стан.

Отже, кожен тригерний імпульс змінює стан тригера на протилежний стан. Цей тип запуску називається лічильним запуском, а тригер — типом Т. Його роботу ілюструє часова діаграма, показана на рис. 2.2. Видно, що період вихідного імпульсу $T_{\text{вих}}$ вдвічі перевищує період початку $T_{\text{зап}}$ (тому такий вид тригерів ще називають тригерним дільником на два) [13].

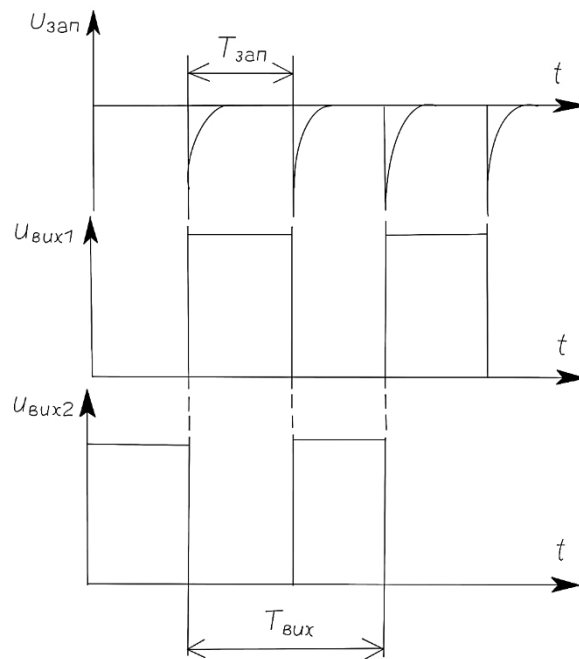


Рис. 2.2 Часові діаграми роботи лічильного тригера

Крім початку підрахунку, існує окремий запуск, якого можна досягти двома способами:

- 1) два різних генератора подають імпульси однакової полярності на базу кожного транзистора в різні моменти часу;
- 2) подача імпульсу змінної полярності на базу одного з транзисторів.

У загальному виробництві тригер складається з логічних елементів, таких як АБО-НІ, І-НІ. Зазвичай мікросхема містить 1 ÷ 4 тригера із загальною схемою живлення, а іноді і загальною ланцюгом синхронізації або управління.

Зазвичай тригер складається з логічного керуючого пристрою та самого тригера як елемента зберігання. Існує велика кількість різноманітних тригерних схем з різними функціями.

Узагальнена структура схема тригера зображена на рис. 2.3.

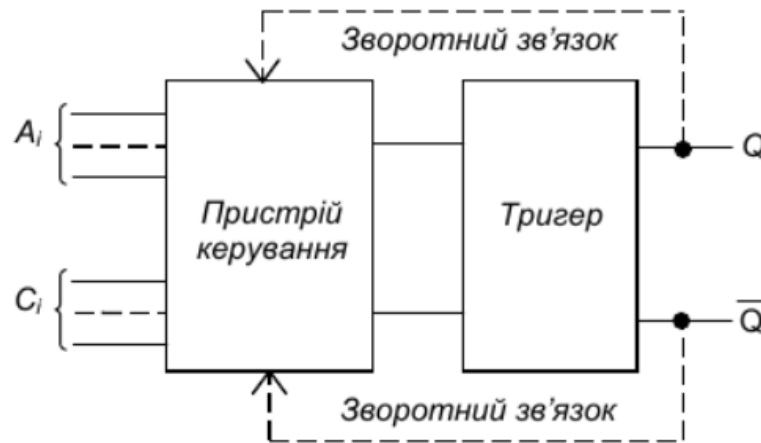


Рис. 2.3 Структурна схема тригера

Пристрій керування призначений для перетворення сигналів, що надходять до входів A_i придатний для керування тригером, що виконує функцію елемента пам'яті.

Тригер має два виходи: Q – прямий (одиничний), \bar{Q} – інверсний (нульовий). Входи A_i – інформаційний, а входи C_i – синхронізуючий [13].

Найбільш загальними класифікаційними ознаками є функціональний спосіб і спосіб керування. Можна зазначити такі функціональні типи тригерів, які найчастіше зустрічаються на практиці:

- з роздільною установкою «0» та «1» (RS-тригери). Тут S (Set – установка) – вхід для роздільної установки тригера в стан «1» ($Q = 1, \bar{Q} = 0$); R (Reset – скид) – вхід для роздільної установки тригера в стан «0» ($Q = 0, \bar{Q} = 1$).

- з лічильним входом (Т-тригери). Тут Т (Toggle – релаксатор) – лічильний вхід тригера.

- універсальні з роздільною установкою станів «0» і «1» (JK-тригери). Позначається J (Jerk – раптове включення) – вхід для роздільної установки тригера в стан «1», К (Kill – раптове відключення) – вхід для установки тригера в стан «0».

- з прийомом інформації по одному входу (D-тригери). Тут D (Delay – затримка) – інформаційний вхід для установки тригера в стан «0» або «1».

– універсальні з керованим прийомом інформації по одному входу (DV-тригери). Позначається V (Valve – клапан, вентиль) – керуючий вхід для дозволу прийому інформаційних або тактових сигналів.

Класифікація за способом запису інформації характеризує тимчасову діаграму роботи тригерів, тобто визначає хід процесу запису інформації в тригер [14].

За цією класифікацією тригери поділяються на асинхронні, які змінюють свій стан відразу після отримання сигналу на певному інформаційному вході, і синхронні (годинники), які взаємодіють не тільки при наявності сигналів на інформаційних входах, а тільки після отримання синхронізуючого сигналу на певний вхід синхронізації.

Використовують логічні функції для опису роботи тригера або частіше за допомогою таблиць переходів, щоб чітко описати роботу тригера. У таблиці наведені всі можливі комбінації сигналів (t^i) на інформаційних входах у даний момент і стан, у який перейде тригер під дією цих сигналів в наступний момент часу (t^{i+1}). Крім того, наступний момент часу у асинхронного тригера настає одразу після зміни комбінації сигналів на інформаційних входах, а синхронного – після отримання тактового сигналу (зазвичай імпульс) на відповідний вхід синхронізації.

Стани тригера в таблицях переходів зазвичай вказують так:

- 0 – тригер має сигнал на виході $Q = 0$ (нульовий стан) незалежно від сигналів на входах;
- 1 – тригер має сигнал на виході $Q = 1$ (одиничний стан) незалежно від сигналів на входах;
- Q_i – стан тригера не змінюється при зміні сигналів на входах;
- \bar{Q}_i – стан тригера змінюється на протилежний при зміні сигналів на входах;

– X – невизначений стан тригера, коли він після зміни сигналів на входах рівноможливо може опинитися в нульовому ($Q = 0$) або в одиничному ($Q = 1$) стані [13].

З найпростішої конфігурації тригерного пристрою, одного інформаційного входу і двох виходів, можна отримати 25 функціональних типів тригерів. Якщо є два входи, буде 625. На практиці використовується 6-8 видів [13].

Найпоширенішими є RS-тригер, D-тригер, T-тригер та JK-тригер.

Умовні позначення двовходових асинхронних RS-тригерів з прямими (такими, що реагують на наявність 1) і інверсними (такими, що реагують на наявність 0) входами наведено на рис. 2.4.

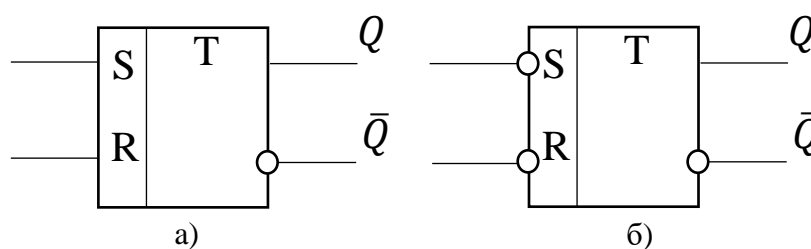


Рис. 2.4 Умовні позначення RS-тригера з прямими (а) й інверсними (б) входами

Свою назву RS-тригер одержав від перших літер англійських слів *to set* – встановлювати (S) та *to reset* – відновлювати (R).

S – інформаційний вхід, призначений для установаження тригера в одиничний стан ($Q = 1$), а R – вхід, призначений для повернення тригера у нульовий стан ($Q = 0$).

2.2 Таблиці переходів тригерів

Роботу тригерів описують відповідні таблиці переходів, наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Таблиці переходів RS-тригерів

а) з прямими входами

t^i		t^{i+1}
S	R	Q
1	0	1
0	1	0
0	0	Q^i
1	1	X

б) з інверсними входами

t^i		t^{i+1}
S	R	Q
1	0	0
0	1	1
1	1	Q^i
0	0	X

Схеми таких RS-тригерів, побудованих на елементах І-НІ та АБО-Ні зображені на рис. 2.5.

Схема і умовне позначення синхронного RS-тригера з прямими входами, побудованого на елементах І-НІ, наведені на рис. 2.6.

Слід зазначити, що тактовими входами є потенційні прямі, як у цьому випадку (тригер змінює свій стан при подачі сигналу 1 на вхід С), інверсний (тригер змінює стан при появі сигналу 0), або імпульсний, а також прямий і інверсний (коли тригер змінює свій стан при зміні сигналу на тактовому вході з 0 до 1 або з 1 до 0 відповідно).

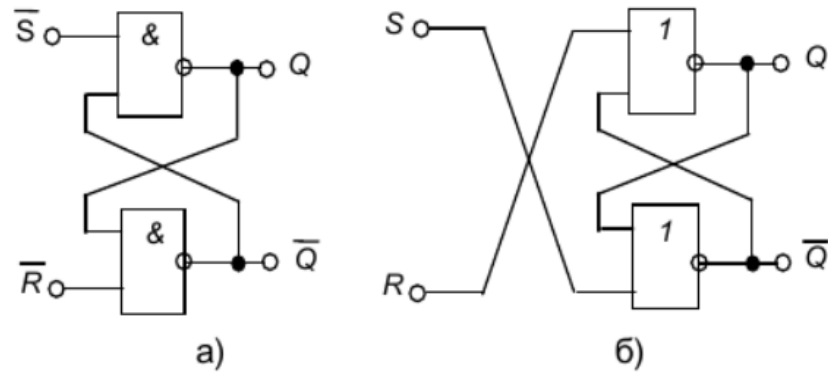


Рис. 2.5 RS-тригер з інверсними входами на елементах І-НІ (а) та з прямими входами на елементах АБО-НІ (б)

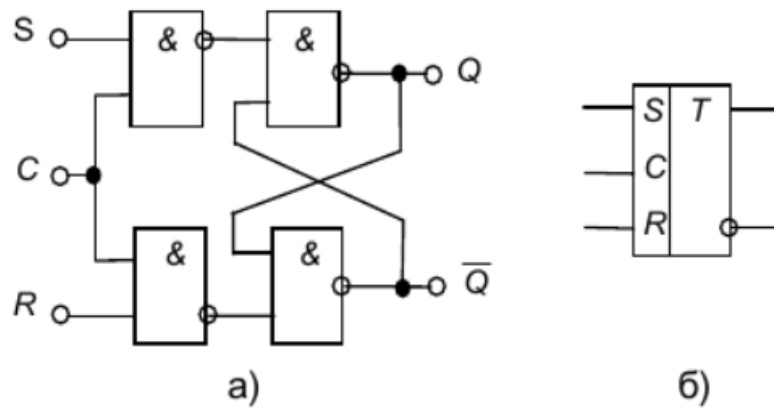


Рис. 2.6 Синхронний RS-тригер

При цифровій техніці широке застосування знаходять D-тригери.

D-тригер – це тригер, який зберігає інформацію, що надійшла на його вхід. Має два входи: D – інформаційний та C – тактовий (синхронізуючий). Інформація, яка надходить на вхід D, запам'ятовується лише при надходженні синхронізуючого імпульсу на вхід C, тобто із затримкою на час надходження останнього. Тому D-тригер, ще називають тригером затримки.

Умовне позначення D-тригера з прямим імпульсним входом синхронізації та таблиця переходів наведені на рис. 2.7, а часові діаграми його роботи – на рис. 2.8 [13].

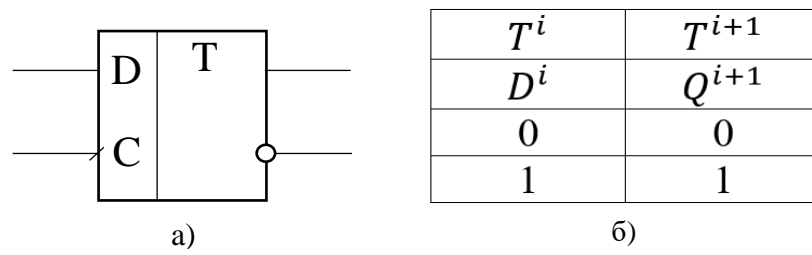


Рис. 2.7 Умовне позначення (а) і таблиця переходів (б) D-тригера

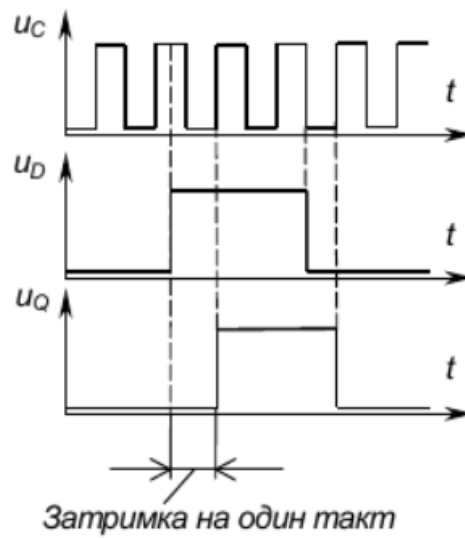


Рис. 2.8 Часові діаграми роботи D-тригера

Схема включення D-тригера для роботи в режимі лічильного тригера наведена на рис. 2.9.

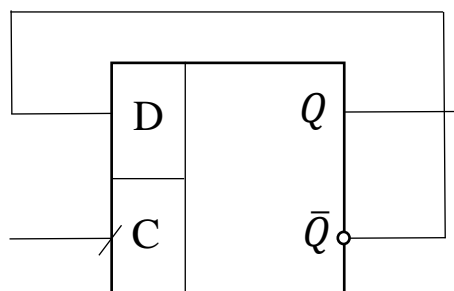


Рис. 2.9 D-тригер, працюючий в режимі лічильного тригера

Висновки до розділу 2

Однією з найпоширеніших операцій в інформаційно-обчислювальній техніці та цифровій техніці є запис кількості імпульсів, тобто підрахунок їх кількості. Цю операцію виконують лічильники імпульсів. Як правило їх будують на основі тригерів.

Тригер – це пристрій, що володіє двома стійкими станами та здатний переходити із одного стану в інший під впливом зовнішнього керуючого сигналу. Існує велика кількість різноманітних тригерних схем з різними функціями. Найпоширенішими є RS-тригер, D-тригер, T-тригер та JK-тригер.

Усі тригери являють собою простий цифровий автомат, що містить елемент пам'яті та керуючу логіку. Стани тригерів визначаються значеннями виходів: інверсний \bar{Q} та прямий Q . При подачі імпульсу на виході буде відображатись логічний «0» або «1». Зміна значень вихідних станів забезпечується зміною значень вхідних керуючих сигналів, що позначаються на схемах латинськими буквами (R,S,D,T,J,K та інші).

За способом запису інформації тригери поділяють на асинхронні (змінюють свій стан відразу після отримання сигналу на певному інформаційному вході) та синхронні (запис інформації відбувається під дією інформаційних сигналів).

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ЛІЧИЛЬНИКА ІМПУЛЬСІВ

3.1. Опис обладнання стенда

3.1.1 Опис навчального набору ЕСФЕ-2

Навчальний набір (рис. 3.1) призначено для системного експериментального дослідження та вивчення фізичних основ і елементної бази радіоелектроніки в загальноосвітніх ліцеях, гімназіях та вищих навчальних закладах.

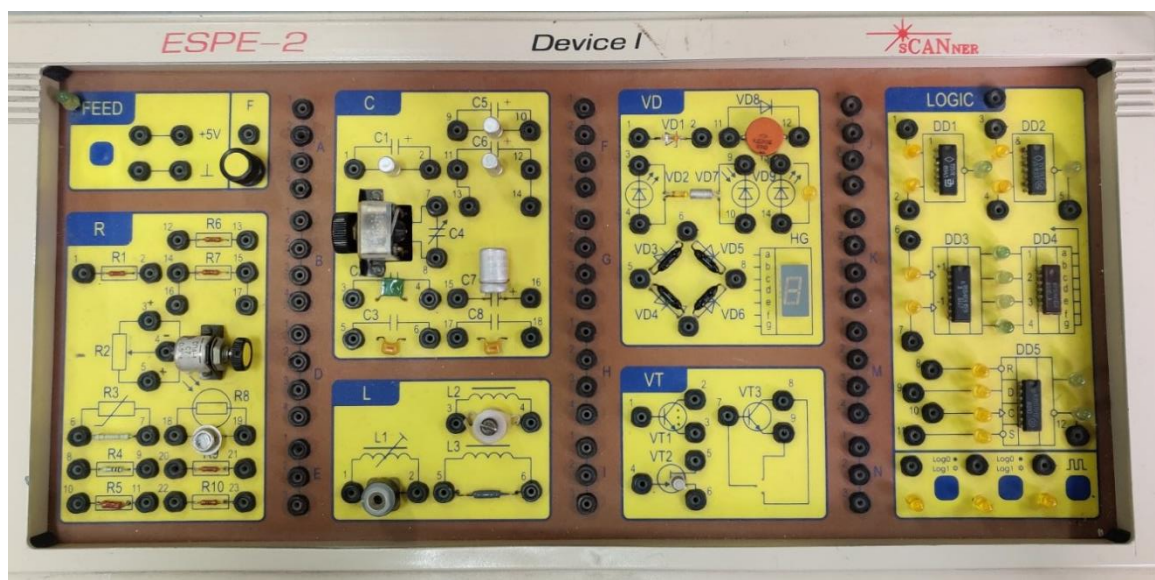


Рис. 3.1 Навчальний набір ЕСФЕ-2

Прилади виконані у вигляді самостійних фізичних моделей, які у сукупності забезпечують проведення учбового процесу як по звичайній, так і поглибленій програмі курсу фізики.

Кожний з них містить окремі електрорадіоелементи, вузли та пристрої, що дає змогу поглиблено розглянути відповідні основні явища і закони фізики, а також наслідки, які випливають з них і мають прикладне значення. Набір забезпечує учням простий доступ до арсеналу сучасної радіоелектронної та

обчислюваної техніки, дає змогу доповнити теоретичні знання експериментальними даними з такого розділу фізики як «Електродинаміка».

Технічні характеристики:

- живлення приладів, що входять в набір, здійснюється від блока живлення, який вмикається в мережу (220 ± 22) В, 50 Гц;

- споживна від електромережі потужність – не більше 2 ВА;

- час готовності до роботи – не більше 30 с;

- набір забезпечує режим роботи за циклом; 4 години неперервної роботи та перерва на 10 хвилин;

- габаритні розміри приладу, що входять до набору – не більше $210 \times 430 \times 40$ мм;

- маса кожного з приладів – не більше 1,2 кг;

- середній строк служби – 10 років.

Навчальний набір складається з приладів, блока живлення, комплекту з'єднувальних перемичок, сервісного устаткування.

Навчальні прилади, що входять до набору, мають однаковий корпус, на задній стінці якого розташований роз'єднувач кабелю блока живлення. Підключення приладів до живлення відбувається за допомогою кнопок, розміщених безпосередньо на панелі приладу.

З'єднання окремих елементів і модулів, підключення їх до живлення у відповідності з принциповими схемами демонстраційних дослідів та лабораторних робіт відбувається за допомогою з'єднувальних перемичок і гнізд, які розташовані на полях приладів.

Сигнали, що надходять на вхід та формуються на виході модулів кожного приладу, досліджуються за допомогою контрольно-виміральної апаратури і можуть демонструватись на електронних чи лазерних дисплеях.

У корпусі приладу замкнена панель, на якій міститься такі позиційно і функціонально відокремлені поля: напруги живлення (має позначення FEED),

ємностей (C), індуктивностей (L), резисторів (R), діодів (VD), транзисторів (VT), логічних елементів (LOGIC).

На полях стаціонарно встановлені елементи, відмінні за своїм призначенням, принципом дії та номіналом. Гнізда з буквеними позначками, що розташовані групами поміж полями, і з'єднувальні перемички використовуються для підключення елементів до живлення, сигналів, вимірювальної апаратури, а також для поєднання між собою окремих елементів у різноманітні ланцюги.

Умовні позначення з реальними елементами та гніздами (з нумерацією) для підключення до них.

На полі логіки «LOGIC» представлені елементи, що реалізують основні функції алгебри логіки «І-НІ», «АБО-НІ», а також логічні пристрої, які використовуються в обчислювальній техніці.

Унаочнення логічних рівнів забезпечено завдяки індикаторам: вхідні сигнали – за допомогою світлодіодів жовтого світла, вихідні – світлодіодів зеленого світла. Живлення на поле подається через гніздо живлення, розміщене в правому верхньому кутку [9].

На полі встановлені цифрові інтегральні мікросхеми, що виконують такі функції:

- «2АБО-НІ», мікросхема К155ЛЕ1 – DD1 (гніздо 1,2);
- «2І-НІ», мікросхема К155ЛА3 – DD2 (3,4,5);
- двоїчно-десятеричний реверсивний лічильник, мікросхема КМ155ИЕ6 – DD3 (6,7);
- дешифратор для семисегментного цифрового індикатора, мікросхема КР514ИД2 – DD4;
- D-тригер, мікросхема К155ТМ2 – DD5 (8,9,10,11,12).

Мікросхеми DD5, DD6 та індикатор НГ, що знаходяться на полі діодів, разом складають закінчений модуль підрахунку та індикації.

В нижній частині поля відокремлена зона формування логічних сигналів. Наявність напруги високого рівня, що відповідає логічній «1», унаочнюється за

допомогою світлодіода жовтого світла. При низькому рівні напруги, що відповідає логічному «0», світлодіод не світиться.

На відповідних гніздах лівою та середньою кнопками встановлюється по чергово постійні рівні логічних «1» та «0». При натиснутій правій кнопці вмикається імпульсний генератор, який формує чергування логічних «1» та «0» на відповідному гнізді [9].

3.1.2 Опис і технічні параметри мікросхеми K155TM2

Мікросхема K155TM2 (рис. 3.2) містить два незалежні D-тригери, що мають загальний ланцюг живлення. Тригери спрацьовують за позитивним фронтом тактового сигналу. Умовне графічне позначення входів та виходів тригера представлена на рис. 3.3.



Рис. 3.2 Загальний вигляд мікросхеми K155TM2

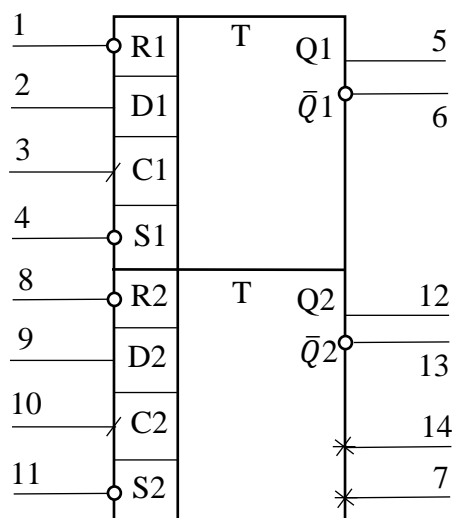


Рис. 3.3 Умовне графічне позначення входів та виходів тригера

Позначення: 1 – інверсний вхід установки «0» R1; 2 – вхід D1; 3 – вхід синхронізації C1; 4 – інверсний вхід установки «1» S1; 5 – вихід Q1; 6 – вихід інверсний $\bar{Q}1$; 8 – інверсний вхід установки «0» R2; 9 – вхід D2; 10 – вхід синхронізації C2; 11 – інверсний вхід установки «1» S2; 12 – вихід Q2; 13 – вихід інверсний $\bar{Q}2$; 7 – спільний – земля; 14 – напруга живлення [13].

Технічні характеристики мікросхеми K155TM2:

- Номінальна напруга живлення: $5V \pm 5\%$;
- Вихідна напруга низького рівня: $\leq 4V$;
- Вихідна напруга високого рівня: $\geq 2,4V$;
- Вхідна напруга низького рівня:
по входам 2,4,9,11: $\leq -1,6mA$;
по входам 1,3,8,10: $\leq -3,2mA$;
- Вхідна напруга високого рівня:
по входам 2, 9: $\leq 0,04mA$;
по входам 4,3,10,11: $\leq 0,08mA$;
- Вхідний пробивний струм: $\leq 1mA$;
- Струм короткого замикання: $-18 \dots -55mA$;

- Струм споживання: ≤ 30 мА;
- Споживана статична потужність на один тригер: $\leq 78,75$ мВт;
- Час затримки розповсюдження при включенні: ≤ 40 нс;
- Час затримки розповсюдження при виключенні: ≤ 25 нс;
- Тактова частота: ≤ 15 МГц.

3.1.3 Опис цифрового осцилографа S8-46/2

Осцилограф – це електровимірювальний прилад, який графічно відображає електричні сигнали і показує, як вони змінюються з плином часу. Потім відображену форму хвилі можна проаналізувати та визначити амплітуду, частоту, час наростання, тривалість фронту, спотворення сигналу та інше. Спочатку розрахунки цих значень вимагали вимірювання форми хвилі вручну за шкалами, вбудованими в екран приладу. Але сучасні цифрові прилади можуть обчислювати та відображати дані величини безпосередньо відразу на екрані (рис. 3.4).



Рис. 3.4 Цифровий осцилограф S8-46/2

Осцилографи працюють діапазоні частот до 100 МГц для S8-46/1, до 200 МГц для S8-46/2, до 60 МГц для S8-46/3 з максимальною частотною дискретизацією 1 Гвибірок/с та еквівалентною частотою 25 Гвибірок/с [18].

Робочі умови експлуатації осцилографів:

- 1) температура навколишнього повітря: від +5 оС до +40 оС;
- 2) відносна вологість: до 80 % при 25 оС;
- 3) атмосферний тиск: 70–106,7 кПа.

Осцилографи мають блокову конструкцію і складаються з наступних складових частин: основного модуля; атенюатора каналу CH1 (Атт 1); атенюатора каналу CH2 (Атт 2); аналогово-цифрового перетворювача 1 (АЦП 1); аналогово-цифрового перетворювача 2 (АЦП 2); блок синхронізації; пристрої перетворення; пристрої управління яскравістю; пристрої формування зображення; блоку управління розгортками; РКІ; блок живлення (БП); внутрішнього генератора; пристрої керування; CH1 – входу каналу 1; CH2 – входу каналу 2; TRIGGER – вход зовнішньої синхронізації.

Міжблочні з'єднання здійснюються за допомогою кабелів та джгутів.

Досліджувані сигнали подаються на входи атенюаторів 1 і 2. В атенюаторах формуються сигнали синхронізації, що надходять на схему синхронізації, а також сигнали, що надходять на входи двох АЦП. АЦП перетворюють аналогові сигнали в цифровий код, який обробляється у пристрої перетворення.

Блок синхронізації отримує сигнал від Атт. 1 (Атт 2) або зі входу TRIGGER і формує імпульси запуску для перетворення пристрою.

Модуль ЖКІ служить для відображення сигналу у видиме зображення.

Пристрій керування здійснює вибір режимів роботи осцилографів. Внутрішній генератор призначений для формування прямокутних імпульсів та перевірки працездатності осцилографів [18].

Осцилографи забезпечують такі додаткові режими роботи:

- зберігання в пам'яті сигналів;
- обробка сигналу, записаного в пам'яті;
- усереднення періодичних сигналів;
- додавання та віднімання по двох каналах;

- спектральний аналіз сигналів.

Власне програмне забезпечення для аналізу сигналів осцилографа може забезпечити багато корисних функцій у часовій області (наприклад, час наростання, ширину імпульсу, амплітуду), частотний спектр, гістограму та статистику, діаграму стабільності та велику кількість параметрів, важливих для інженерів у галузі професійної сфери, такі як телекомунікації, аналіз дисків та силова електроніка [7].

Осцилографи забезпечують такі види вимірювань параметрів сигналів:

- вимірювання напруги між двома курсорами, встановленими оператором;
- вимірювання тимчасового інтервалу між двох курсорів, встановлених оператором;
- автоматичний вимір амплітудно-часових параметрів імпульсів (тривалості фронту та зрізу, амплітуди та викиду).

Осцилографи мають можливість керування за інтерфейсом USB.

Захист від несанкціонованого доступу здійснюється на підприємстві-виробнику за допомогою спеціальних пломб на задній панелі корпусу приладу.

Отже, переваги осцилографа:

- 1) яскравий та кольоровий дисплей, що сильно полегшує роботу з приладом;
- 2) прості одноразові збірки в пам'яті без проблем, пов'язаних з ЕПТ типом зберігання;
- 3) універсальні тригери;
- 4) Вхідний сигнал не просто перетворюється на рядок на екрані, він доступний як вибіркові дані, які можна зберігати або додатково обробляти (тобто за допомогою засобів вимірювання та аналізу, які постачаються з осцилографом);
- 5) Універсальні функції вимірювання та аналізу полегшують збір усіх відповідних властивостей сигналу;

6) Виявлення піку для пошуку конкретних подій у налаштуваннях тривалої часової бази на цифрових осцилографіях з малою пам'яттю (менш актуальне, оскільки нові осцилографи тепер мають велику пам'ять, яка підтримує досить високу частоту дискретизації навіть при дуже довгих налаштуваннях часової бази);

7) Легке панорамування та масштабування;

8) Дистанційне управління через USB, Ethernet або GPIB.

3.1.4 Опис генератора прямокутних імпульсів JDS6600-15M

JDS6600-15M – низькочастотний генератор довільних форм сигналів (смуга 15МГц, 2 канали), виробництва компанії Juntek. Генератор виконаний за технологією прямого цифрового синтезу (DDS) і забезпечує високі часові та амплітудні характеристики сигналів, що генеруються (рис. 3.5).



Рис. 3.5 Низькочастотний генератор сигналів JDS6600-15M

Оснащений 14-бітовим ЦАП зі швидкістю вибірки 266 МВ/с і пам'яттю 2048 пікселів (на осцилограму), є вбудований частотомір до 100 МГц з функцією рахунку імпульсів. Вбудована пам'ять розрахована на 98 форм довільних форм сигналів, є попередньо встановлені форми: синусоїдальна, прямокутна, трикутна, імпульсна, полоподібна, шумова, Partia Sine, CMOS, DC level, Half –

Wave, Pos-Ladder, Noise, Exponential Rise, Exponential Fall, Tone, Sinc Pulse, Lorentz Pulse і т.д [6].

Серія DDS-генераторів Juntek JDS6600-15M складається з 5-ти однотипних моделей, що відрізняються тільки максимальною частотою генерації.

Генератор Juntek JDS6600-15M має наступні технічні характеристики:

- Яскравий дисплей 2.4" TFT, роздільна здатність 320x240, що дозволяє одночасно спостерігати параметри каналів CH1 та CH2;
- DDS-технологія цифрового синтезу, що забезпечує генерацію стабільного сигналу з низьким рівнем спотворень;
- Два повністю незалежні вихідні канали, синхронізація зовнішнім сигналом і регульований фазовий зсув;
- Максимальна вихідна частота (синусоїдальний сигнал) до 15 МГц;
- Роздільна здатність: 0,01 мкГц;
- Вбудований частотомір: до 100 МГц;
- Частота дискретизації: 266 МВ/с, роздільна здатність по амплітуді 14 біт;
- Об'єм пам'яті: 2048 пікселів;
- Можливість збереження до 98 груп функцій/сигналів довільної форми: 34 групи встановлених сигналів і 64 груп сигналу користувача;
- Попередньо встановлені функції: синус, прямокутник, імпульс, пила, напівхвиля, повна хвиля, експонента, зворотна експонента, мультитон, ЕКГ, трапеція, білий шум (Гаусса) та ін.;
- Функція частотоміра зі смугою до 100 МГц, що дозволяє вимірювати частоту сигналу, період, позитивну та негативну тривалість імпульсу;
- Висока точність установки частоти до $20E-6$, дискретність установки 1,0 мкГц;
- Швидкість імпульсного сигналу для кожного каналу може бути встановлена незалежно від 0,1% до 99,9% з дискретністю 0,1%;

- Висока роздільна здатність по амплітуді, дискретність установки амплітуди 1 мВ, діапазон вихідного сигналу становить від 0 до 20 В (подвійна амплітуда);

- Генератори даної серії забезпечують лінійне та логарифмічне свипування з періодом розгортки від 0,01 до 999,9 с;

- Є можливість зміщення вихідного сигналу за рівнем в діапазоні від -9,99 до 9,99 з роздільною здатністю 0,01;

- Функція редагування форм сигналів: користувач може створювати або редагувати форму сигналу на ПК, а потім записати в пам'ять генератора;

- Генерація імпульсних послідовностей: від 1 до 1048575 довільних імпульсів;

- Можливість зберігати в пам'яті 100 груп установок, встановлених користувачем;

- Система захисту від короткого замикання: всі вихідні канали витримують коротке замикання до 60 с;

- USB інтерфейс забезпечує підключення приладу до персонального комп'ютера для керування та передачі даних;

Генератор постачається в стандартній комплектації: генератор 1 шт; кабель USB – 1 шт; кабель живлення – 1 шт; кабель із BNC роз'ємом – 1 шт.; кабель з BNC роз'ємом та "крокодилами" – 2 шт.; посібник користувача; гарантійний талон.

На передній панелі генератора Juntek JDS6600-15M розташовані кнопка вкл/викл, екран, ряд сірих кнопок праворуч від нього для керування параметрами сигналу, вибору режимів вимірювань та модуляції, кнопка WAVE вибору виду сигналу, що генерується, MOD активації режиму модуляції, SYS системних установок, MEAS вибору режиму вимірювань, стрілки вибору розряду значення частоти і т.д., кнопка ОК та включення/вимкнення двох каналів, кнопки включення/вимкнення кожного каналу.

На зворотній стороні генератора - TTL конектор, роз'єми USB та живлення, наклейка з найменуванням моделі та модифікації 15М (15МГц), вентиляційні отвори.

Умови експлуатації приладу: температура 0 – 40 °С, вологість – не більше 80 % [6].

3.2 Структурна схема лабораторного стенду для дослідження лічильника імпульсів, побудованого на інтегральній схемі К155ТМ2

У розділі 2 зазначено про найрозповсюджені тригери. Найпростішим у цьому сімействі вважається RS-тригер, але більше широке застосування в пристроях електроніки отримав D-тригер. За змістом дії він, як і RS-тригер, також є пристроєм з двома стійкими станами на виході, але має більш складну логіку роботи вхідних сигналів.

Розглянемо принцип роботи D-тригер на структурній електричній схемі (рис. 3.6).

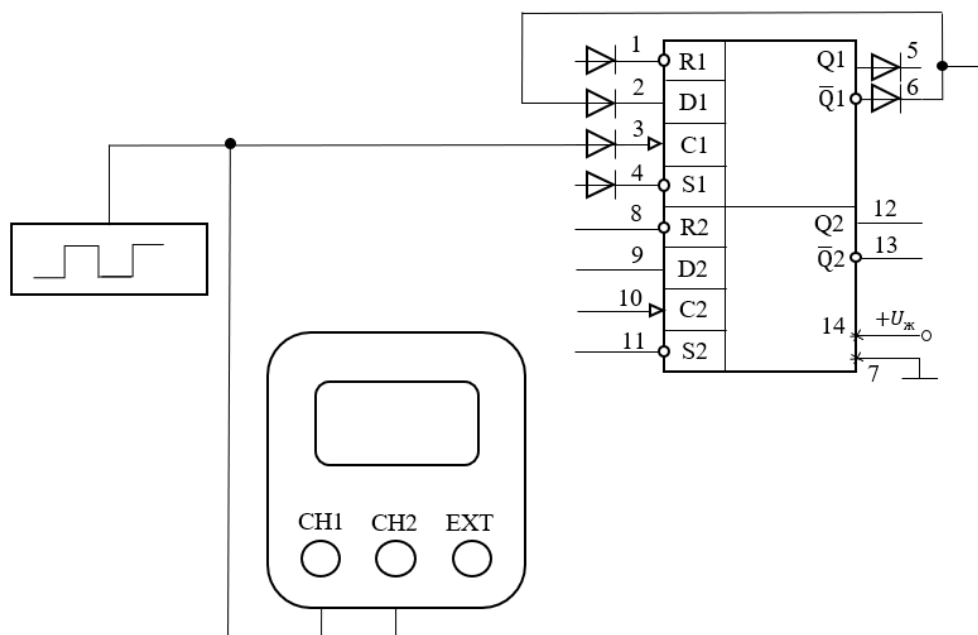


Рис. 3.6 Електрична структурна схема лабораторного стенду для дослідження лічильника імпульсів, побудованого на інтегральній схемі К155ТМ2

Загальний вигляд стенду представлений на рис. 3.7 та рис. 3.8.

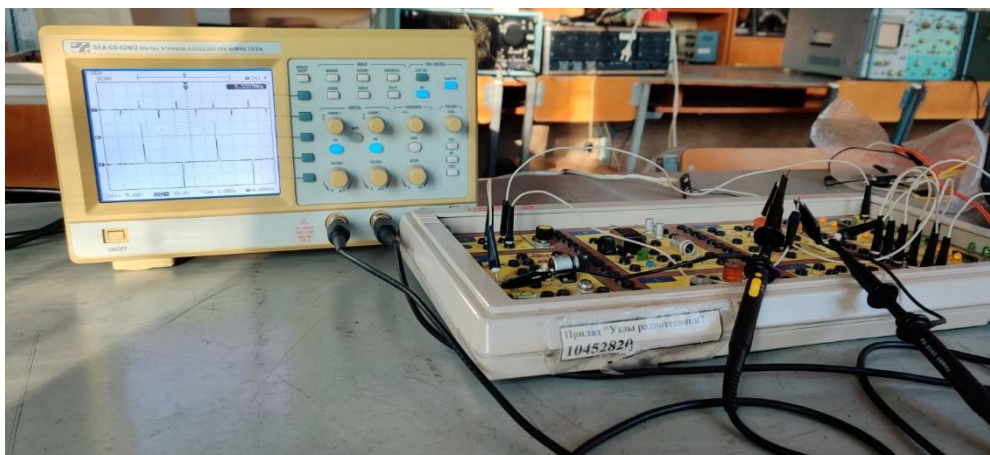


Рис. 3.7 Загальний вигляд стенду зі сторони



Рис. 3.8 Загальний вигляд стенду зверху

Підключення схеми відбувається на навчальному наборі ЕСФЕ-2 (див. пункт 3.1.1). Мікросхема живиться через гніздо живлення, яке розміщене в правому верхньому кутку (FEED), з постійною напругою 5В. В нижній частині поля відокремлена зона формування логічних сигналів, який подається на вивід С1, що являється інверсним входом установки «1».

Оскільки одним із основних призначень D – тригера є його використання у рахунковому режимі (тобто у режимі дільника частоти входних імпульсів на

два). Для того, щоб він працював, як лічильник імпульсів, достатньо на вхід D1 подати сигнал з його власного інверсного виходу $\bar{Q}1$.

Осцилограф підключаємо до генератора імпульсів та інверсного виходу $\bar{Q}1$, для отримання графіку зміни імпульсів (рис. 3.9).

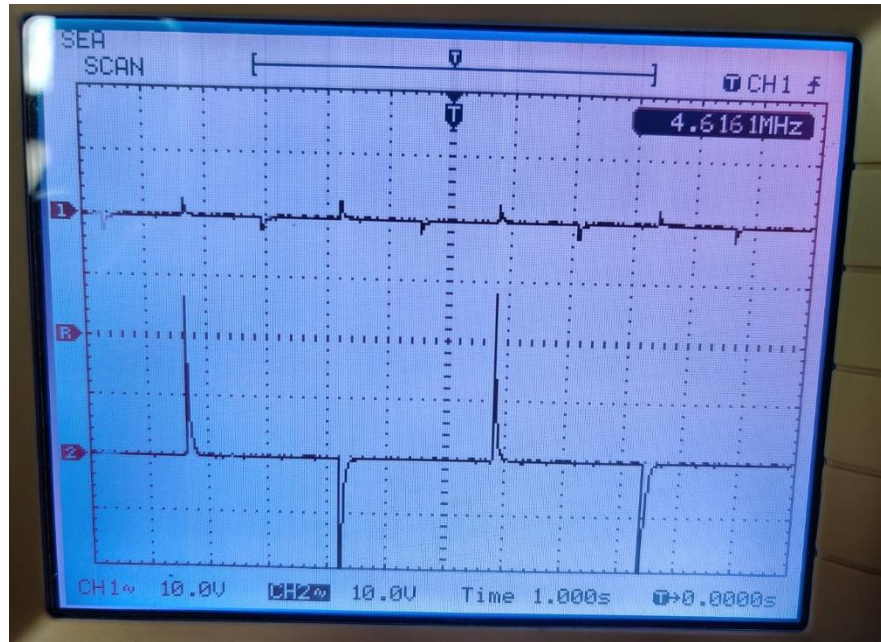
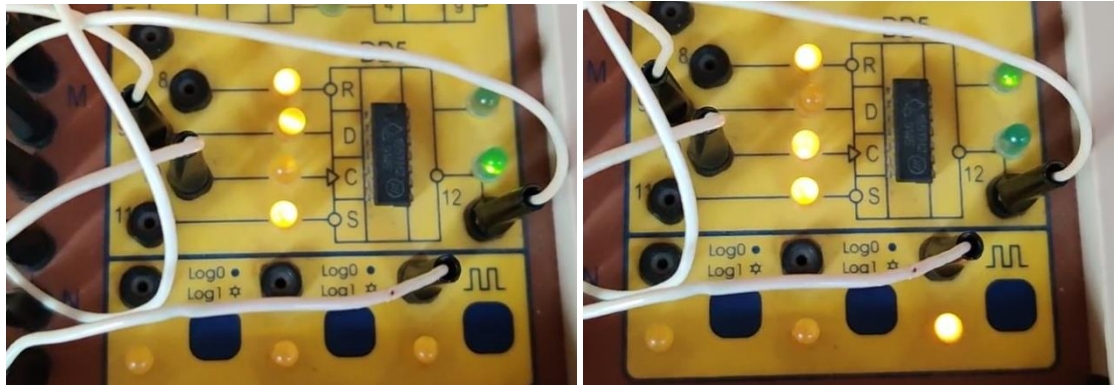


Рис. 3.9 Графік зміни імпульсів на осцилографі S8-46/2

Подача сигналів відбувалась з частотою 5 Гц. На даній осцилограмі (рис. 3.9) можна побачити чергування логічних «1» та «0», це пов'язано з роботою тригера. Коли синхронізуючий імпульс подається на вхід C1, отримана інформація зберігається (записується) на вході D1, коли надходить вхідний C1.

У вихідному стані на вході C1 і на прямому виході Q1 тригера буде напруга логічного «0». При цьому на інверсному виході $\bar{Q}1$, а отже, і на інформаційному вході D1 встановиться логічна «1» (рис. 3.10, а). З приходом першого імпульсу на вхід C1, тригер переключиться в «одичний» стан і на виході $\bar{Q}1$ і вході D1 з'явиться логічний «0» (рис. 3.10, б). Другий імпульс, що прийшов на вхід C1, «перекине» тригер в нульовий стан (рис. 3.10, в). Далі все повторюватиметься спочатку. Тобто кожному другому імпульсу, що приходять на синхронізуючий

вхід $C1$, відповідає всього один імпульс на виході $\bar{Q}1$. Покажемо приклад чергування логічних «1» та «0» в таблиці 3.1.



а)

б)



в)

Рис. 3.10 Режими роботи тригера: а) тригер у вихідному стані; б) подача першого імпульсу на вхід $C1$; в) подача другого імпульсу, тригер переходить у нульовий стан

Таблиця 3.1

Чергування логічних «1» та «0» при подачі імпульсів

Генератор імпульсів	$C1$	$D1$	$Q1$	$\bar{Q}1$
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0
0	0	0	1	0
1	1	1	0	1
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0

Таким, чином, D-тригер працює, як дільник входної частоти на два і як тригер затримки. Кожним двом імпульсам, що приходять на синхронізуючий вхід C1, відповідає всього один імпульс на виході Q1. Цей процес буде повторюватись постійно, поки не вимкнати з мережі.

Було проведено даний дослід з підключенням іншого генератора - генератора імпульсів JDS6600-15M. Розглянемо схему підключення тригера до цього генератора (рис. 3.11).

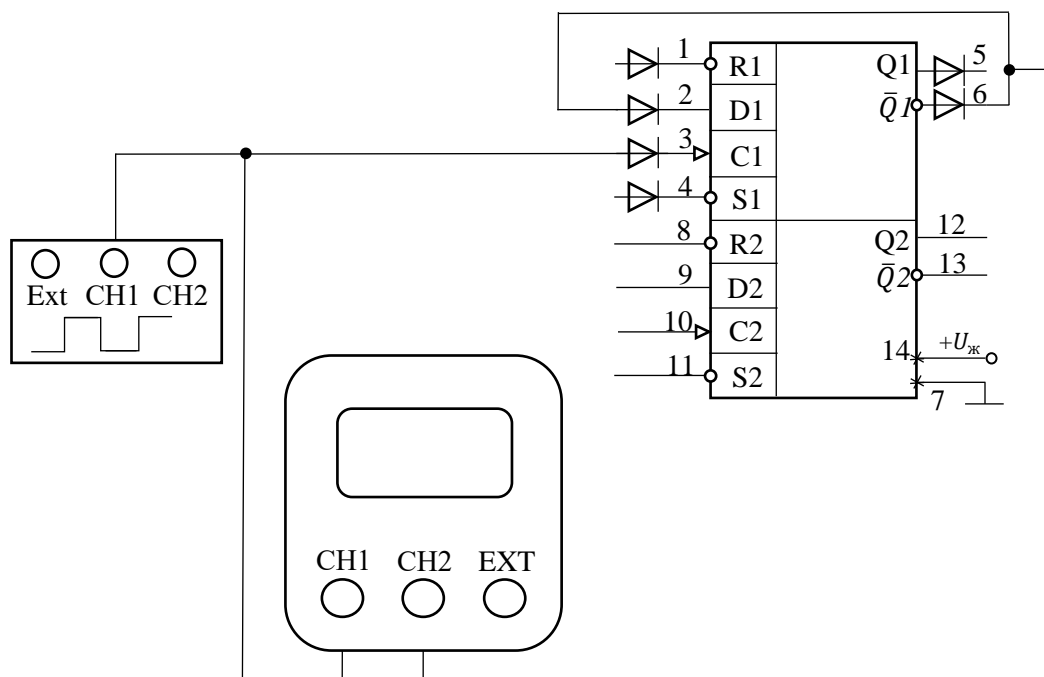
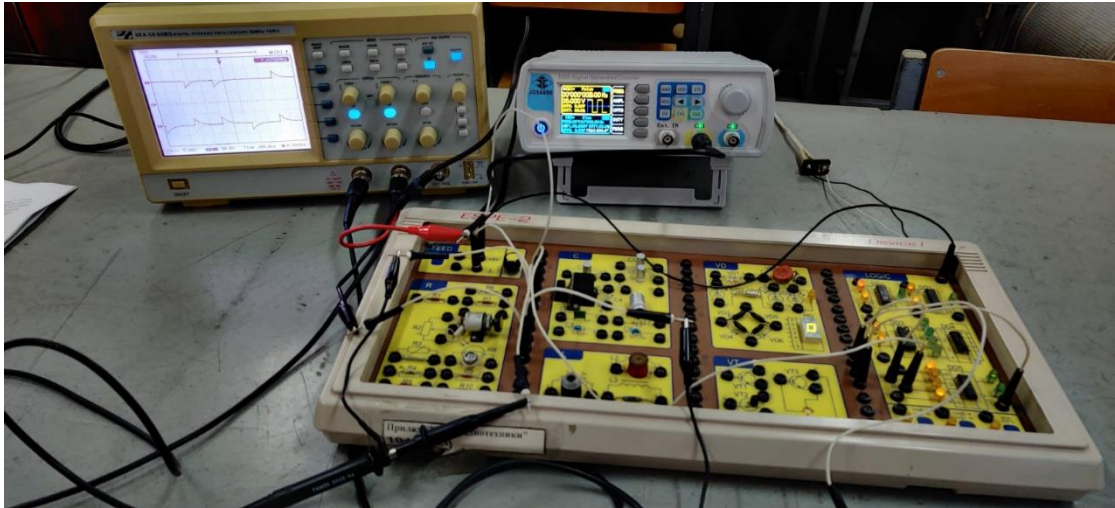


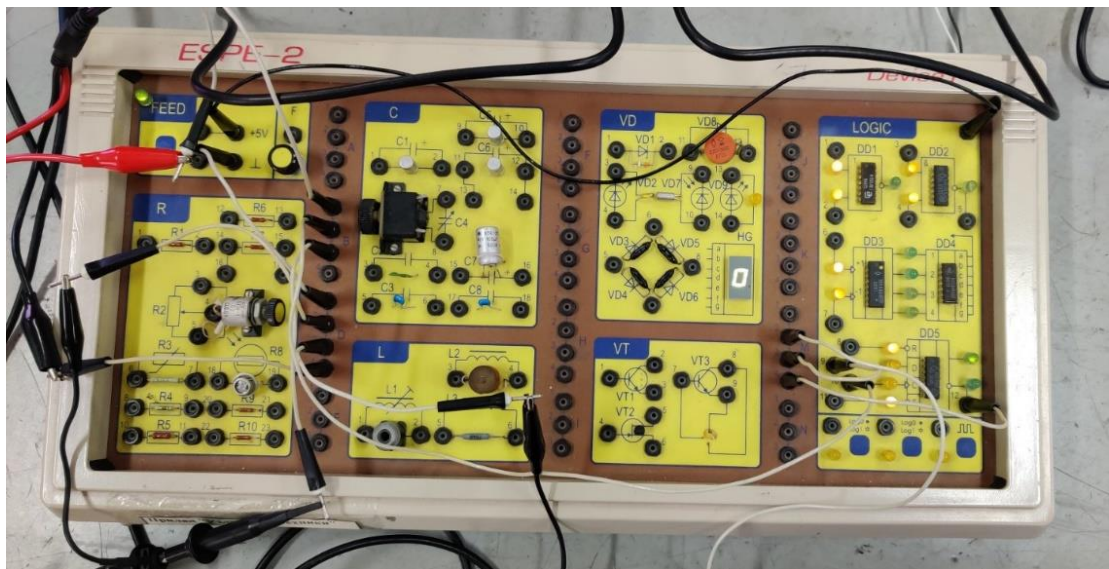
Рис. 3.11 Електрична структурна схема використання лічильника імпульсів, побудованого на інтегральній схемі K155TM2 з підключенням генератора імпульсів JDS6600-15M

Схема аналогічна рис. 3.6, але відрізняється тим, що підключався окремий генератор. Він дає такі можливості, як здатність, самостійно регулювати параметри – частоту, час та інше. У даному випадку сигнал подавався з частотою 2 Гц.

Загальний вигляд схеми продемонстровано на рис. 3.12 та рис. 3.13.



*Рис. 3.12 Загальний вигляд зі сторони стенду з підключеним генератором
JDS6600-15M*



*Рис. 3.13 Загальний вигляд зверху стенду з підключеним генератором
JDS6600-15M*

Підключення відбувалось на навчальному наборі ЕСФЕ-2. Сигнал з генератора було роздвоєно з одного каналу (СН1). Один кінець приєднано до інверсного виходу С1, другий – до осцилографа для отримання графіку роботи тригера.

Є відмінності в діаграмах роботи D-тригера, відображених на осцилографі. При підключенні можна спостерігати імпульси іншої форми (рис. 3.14).



Рис. 3.14 Графік зміни імпульсів на осцилографі

Дана відмінність пов'язана з формою імпульсів. Чергування логічних «1» та «0» зберігається та доводить, що тригер працює як дільник входної частоти на два, що видно з графіку.

Примітка:

Під час підключення двох різних генераторів на осцилограмі повинні отримати імпульси прямокутної форми. В першому випадку отримали імпульс, що відрізняється від вказаного виробником навчального набору ЕСФЕ-2. Такий результат, може говорити про виробничий брак, або некоректну роботу осцилографа.

У другому випадку отримали короткі різнополярні імпульси. Цього разу було підключено генератор, який можна налаштувати на потрібну форму імпульсу. При підключенні до осцилографа, отримали зображення, що не відповідало налаштуванням (рис. 3.15).



Рис. 3.15 Налаштування генератора JDS6600-15M

Дана картина не відповідає тій, яка мала би бути при заданих параметрах на генераторі.

Отже, можна припустити, що є наявні збої в роботі осцилографа або навчального набору ЕСФЕ-2.

Висновки до розділу 3

З'ясовано принцип роботи і технічні параметри наступних приладів: навчального набору ЕСФЕ-2, мікросхеми K155TM2, осцилографу S8-46/2 та генератора прямокутних імпульсів JDS6600-15M, що склали лабораторний стенд дослідження лічильника імпульсів.

Навчальний набір призначено для системного експериментального дослідження та вивчення фізичних основ і елементної бази радіоелектроніки в загальноосвітніх ліцеях, гімназіях та вищих навчальних закладах. Забезпечує учням простий доступ до арсеналу сучасної радіоелектроніки та обчислювальної техніки, дає змогу доповнити та поглибити знання експериментальними даними з такого розділу фізики як «Електродинаміка».

Для подальшої роботи зі схемою було визначено технічні параметри мікросхеми K155TM2, яка містить два незалежні D-тригери, що мають загальний ланцюг живлення. Тригери спрацьовують за позитивним фронтом тактового сигналу.

Для отримання зображення імпульсного сигналу досліджено принцип роботи та будову осцилографа. Осцилограф – це електровимірювальний прилад, який графічно відображає електричні сигнали і показує, як вони змінюються з плином часу. Відображену форму хвилі можна проаналізувати та визначити амплітуду, частоту, час наростання, тривалість фронту, спотворення сигналу та інше. Сучасні цифрові прилади можуть обчислювати та відображати дані величини безпосередньо відразу на екрані.

Низькочастотний генератор довільних форм сигналів забезпечує високі часові та амплітудні характеристики сигналів, що генеруються. Призначений для дослідження приладів, які використовуються в радіоелектроніці, зв'язку, автоматичній, обчислювальній та вимірювальній техніці.

Досліджено роботу D-тригера серії K155TM2 на навчальному наборі ЕСФЕ-2. Даний тригер є синхронним і працює в режимі затримки, оскільки має

один інформаційний вхід D1, інформація з якого переписується на вихід тригера тільки за синхронізуючим сигналом, що подається на вхід C1. Цей процес був зафіксований за допомогою осцилографа. Графік зміни імпульсів встановив, що на кожен другий імпульс, який приходить на синхронізуючий вхід C1, відповідає всього один імпульс на виході Q1. Це доводить, що тригер функцію двійкового лічильника.

РОЗДІЛ 4. ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯК ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ В РОЗВИТОК STEM-ОСВІТИ УЧНІВ СТАРШОЇ ШКОЛИ

Демонстраційний фізичний експеримент

Тема: «Дослідження лічильника імпульсів»

Мета: ознайомити з принципом роботи та схемою лічильника імпульсів.

Обладнання: джерело постійної напруги, інтегральна мікросхема D-тригера лічильник імпульсів, навчальний набір ЕСФЕ-2 «Електрорадіотехніка» та з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

Однією з найпоширеніших операцій в інформаційно-обчислювальній техніці та цифровій вимірювальній техніці є запис кількості імпульсів – підрахунок їх кількості. Цю операцію реалізує лічильник імпульсів. Лічильник надає інформацію про кількість імпульсів у вигляді двійкового коду (завдяки структурному принципу).

Лічильники бувають прості (підсумовуючі, у яких код збільшується на одиницю після надходження на вхід кожного імпульсу; віднімаючі, у яких код відповідно зменшується після надходження на вхід кожного імпульсу) і реверсивні (суміщають властивості підсумовуючих і віднімаючих – можуть працювати в тому або іншому режимі за зовнішньою командою).

В імпульсних пристроях використовуються такі види електричних сигналів:

- імпульси;
- перепади напруги (струму).

Електричний імпульс – це відхилення напруги (струму) від початкового значення протягом короткого проміжку часу, що порівнюється з тривалістю

перехідних процесів в імпульсному пристрої. При цьому передбачається автоповернення у вихідний стан.

Перепад напруги (струму) – це перехід на інший рівень. Повернення у вихідний стан відбувається лише після подачі додаткового сигналу.

Розглянемо кілька прикладів.

Ідеальний імпульс прямокутної форми (рис. 1) має такі ділянки: ab – фронт (зростання) імпульсу; cd – зріз імпульсу; bc – вершина; ad – основа імпульсу.

Параметри імпульсу: U_m – амплітуда; t_u – тривалість імпульсу; $t_\phi = 0$ – тривалість фронту; $t_c = 0$ – тривалість зрізу імпульсу.

Ідеальний імпульс трапецеїдальної форми (рис. 2) має $t_\phi \neq 0$ і $t_c \neq 0$. Тривалість імпульсу t_u вимірюють на рівні $0,1U_m$ або $0,5U_m$ [3*].

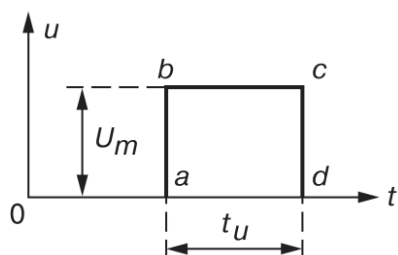


Рис. 1 Ідеальний імпульс
прямокутної форми

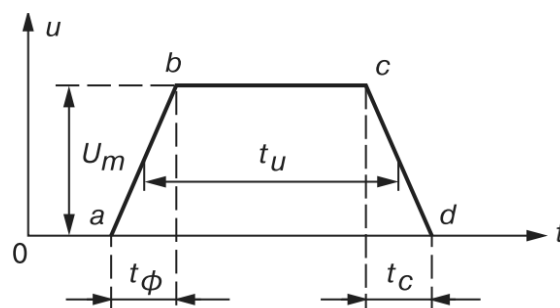


Рис. 2 Ідеальний імпульс
трапецеїдальної форми

Параметри реального імпульсу (рис. 3) визначають наступним чином: час фронту t_ϕ дорівнює часу наростання імпульсу від рівня, що дорівнює $0,1U_m$, до моменту, коли рівень досягне значення $0,9U_m$, а час зрізу t_c дорівнює часу спаду імпульсу від рівня $0,9U_m$ до рівня $0,1U_m$.

На вершині bc імпульсу спостерігається викид b_1 і завал ΔU вершини, а на основі – викид b_2 після вимкнення пристрою. Тривалість імпульсу t_u вимірюють між значеннями $0,1U_m$ його наростання та спаду.

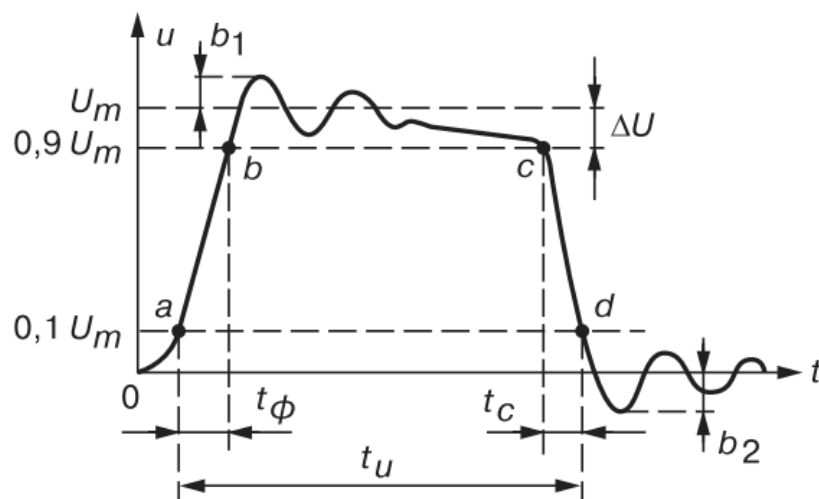


Рис. 3 Параметри реального імпульсу

На рис. 4 представлені перепади імпульсів: позитивний (рис. 4а) та негативний (рис. 4б), де U_m – різниця рівнів.

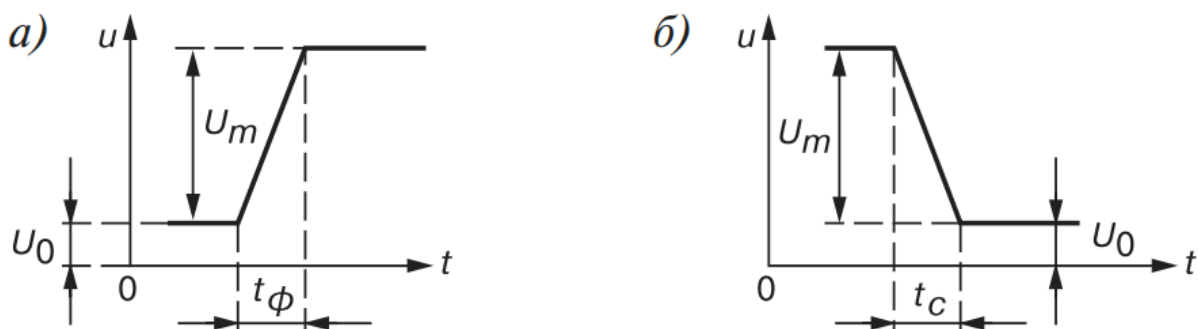


Рис. 4 Перепади позитивних (а) та негативних (б) імпульсів

У періодичних послідовностях прямокутних імпульсів (рис. 5а), імпульси повторюються через рівні проміжки часу, які називаються періодом, позначаються T , а різниця $t_n = T - t_u$ – паузою [3*].

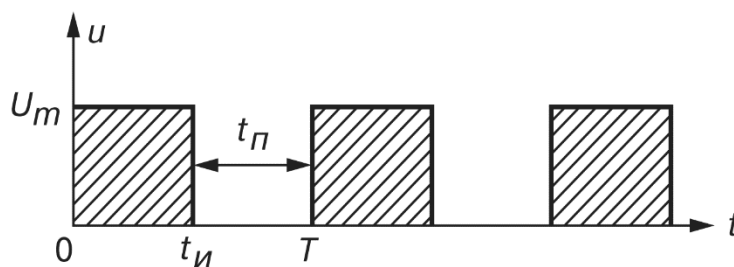


Рис. 5 Послідовні прямокутні імпульси

Як правило, лічильники будують на основі тригерів.

Тригер – це різновид первинного цифрового автомата з функцією пам'яті, має два стабільні стани: нульовий і одиничний, може проходити під дією вхідного сигналу.

Взагалі, вхід тригера може бути один або кілька – до п'яти, і тільки два виходи – прямий і зворотний. Прямий вихід тригера називається одиничним, а інверсний – нульовим. Особливістю тригера є те, що після переходу в інший стан він залишиться в ньому по мірі необхідності після зникнення вхідного сигналу. Цим тригер відрізняється від комбінаційних схем, в яких сигнал на виході тримається до того часу, поки є сигнал на вході.

Тригери є особливими елементами цифрових схем і основою всіх цифрових технологій. Без них не може обійтися ніяка складна цифрова схема, тому що на основі тригерів будуються регістри, лічильники, оперативна пам'ять і багато інших подібних цифрових пристроїв.

Кожен стан тригера відповідає двійковому сигналу на його прямому і зворотному виходах: один стан відповідає 1 на прямому виході і нулю на зворотному виході, а нульовий стан тригера відповідає зворотному сигналу. -0 на прямому напрямку і 1 на зворотному виході. Заборонені стани тригера, на виходах яких є сигнали 00 і 11.

Існує велика кількість різноманітних тригерних схем з різними функціями.

Узагальнена структурна схема тригера зображена на рис. 6.

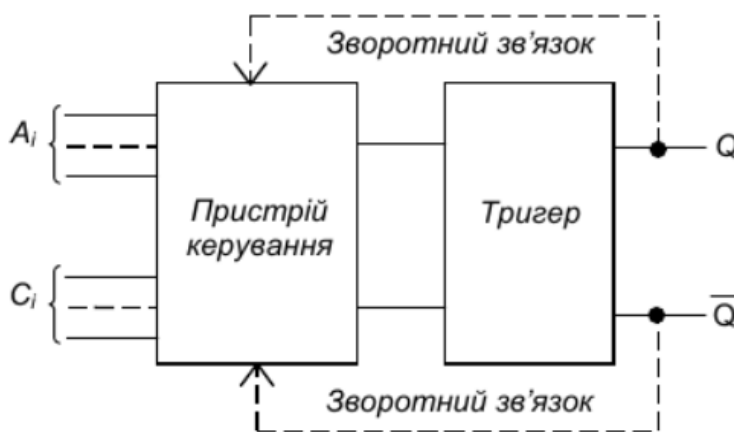


Рис. 6 Структурна схема тригера

Пристрій керування призначений для перетворення сигналів, що надходять до входів A_i придатний для керування тригером, що виконує функцію елемента пам'яті.

Тригер має два виходи: Q – прямий (одичний), \bar{Q} – інверсний (нульовий). Входи A_i – інформаційний, а входи C_i – синхронізуючий [2*].

Тригери поділяються на асинхронні, які змінюють свій стан відразу після отримання сигналу на певному інформаційному вході, і синхронні (годинники), які взаємодіють не тільки при наявності сигналів на інформаційних входах, а тільки після отримання синхронізуючого сигналу на певний вхід синхронізації.

Найбільш розповсюджені з них RS-тригери, D-тригери, T-тригери, JK-тригери.

При цифровій техніці широке застосування знаходять D-тригери.

D-тригер – це тригер, який зберігає інформацію, що надійшла на його вхід. Має два входи: D – інформаційний та C – тактовий (синхронізуючий). Інформація, яка надходить на вхід D, запам'ятовується лише при надходженні синхронізуючого імпульсу на вхід C, тобто із затримкою на час надходження останнього. Тому D-тригер, ще називають тригером затримки.

Умовне позначення D-тригера з прямим імпульсним входом синхронізації та таблиця переходів наведені на рис. 7 [2*].

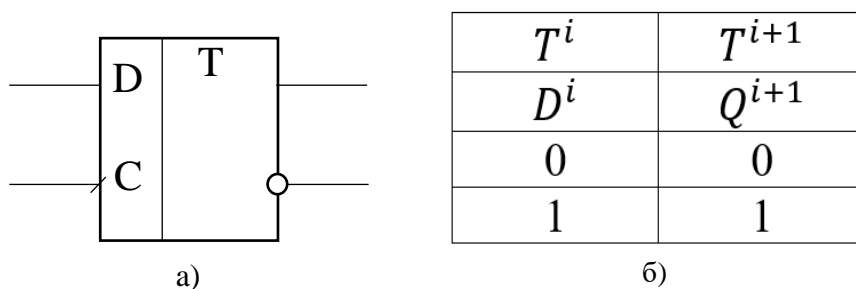


Рис. 7 Умовне позначення (а) і таблиця переходів (б) D-тригера

Схема включення D-тригера для роботи в режимі лічильного тригера наведена на рис. 8.

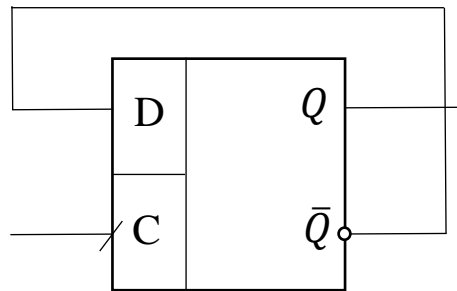


Рис. 8 D-тригер, працюючий в режимі лічильного тригера

Опис установки

Схема установки для дослідження лічильника імпульсів представлена на рис. 9.

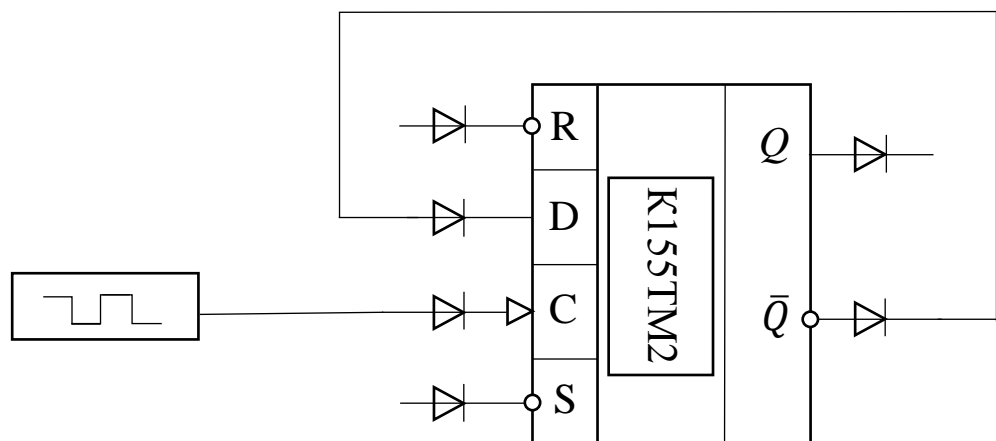


Рис. 9 Схема установки дослідження

Схема складається з: генератора прямокутних імпульсів, D-тригера серії K155TM2, світлодіодів та джерела постійної напруги.

Розглянемо детальніше D-тригер серії K155TM2.

Мікросхема представляє собою два незалежних D-тригера, які спрацьовують за позитивним фронтом тактового сигналу.

Умовне графічне позначення:

R – вхід призначений для встановлення лічильника в нульовий стан;

D – інформаційний вхід;

C – вхід синхронізації;

S – вхід призначений для встановлення лічильника в одиничний стан.

Досліджувати тригер будемо на навчальному наборі ЕСФЕ-2. Він призначений для системного експериментального дослідження та вивчення фізичних основ і елементної бази радіоелектроніки в загальноосвітніх ліцеях, гімназіях та вищих навчальних закладах (рис. 10).

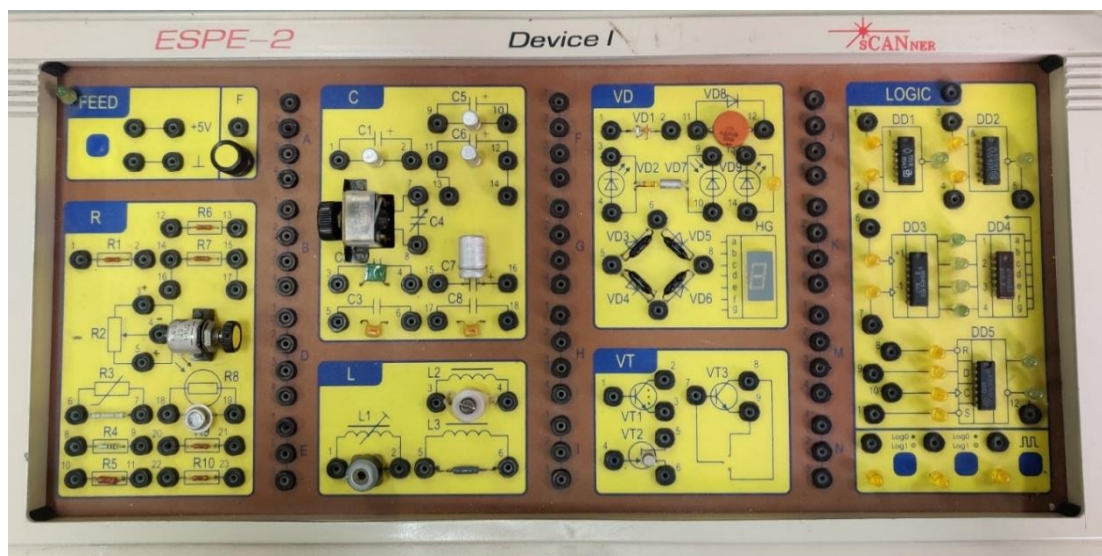


Рис. 10 Навчальний набір ЕСФЕ-2

Прилади виконані у вигляді самостійних фізичних моделей, які у сукупності забезпечують проведення учбового процесу як по звичайній, так і поглибленій програмі курсу фізики. Кожний з них містить окремі електрорадіоелементи, вузли та пристрої, що дає змогу поглиблено розглянути відповідні основні явища і закони фізики, а також наслідки, які впливають з них і мають прикладне значення.

Підключення приладів до живлення відбувається за допомогою кнопок, розміщених безпосередньо на панелі приладу.

З'єднання окремих елементів і модулів, підключення їх до живлення у відповідності з принциповими схемами демонстраційних дослідів та лабораторних робіт відбувається за допомогою з'єднувальних перемичок і гнізд, які розташовані на полях приладів.

У корпусі приладу замкнена панель, на якій міститься такі позиційно і функціонально відокремлені поля: напруги живлення (має позначення FEED), ємностей (C), індуктивностей (L), резисторів (R), діодів (VD), транзисторів (VT), логічних елементів (LOGIC).

На полі логіки «LOGIC» представлені елементи, що реалізують основні функції алгебри логіки «І-НІ», «АБО-НІ», а також логічні пристрої, які використовуються в обчислювальній техніці. Живлення на поле подається через гніздо живлення, розміщене в правому верхньому кутку. В нижній частині поля відокремлена зона формування логічних сигналів. Наявність напруги високого рівня, що відповідає логічній «1», унаочнюється за допомогою світлодіода жовтого світла. При низькому рівні напруги, що відповідає логічному «0», світлодіод не світиться [1*].

Демонстраційний експеримент

Включити живлення до навчального набору ЕСФЕ-2 (рис. 10). До поля «LOGIC» подати напругу за допомогою з'єднувальних провідників. Зібрати експериментальну установку за рис. 8 використавши вбудований генератор прямокутних імпульсів.

Оскільки D-тригер – це тригер затримки, то це означає що інформаційний сигнал, що надійшов, затримується в ньому рівно на один такт. Час затримки залежить від частоти синхронізації імпульсів.

Одним із основних призначень D-тригера є його використання у рахунковому режимі. Для того, щоб змусити працювати його, як лічильник імпульсів, треба на вхід D подати сигнал з його власного інверсного входу.

У такому режимі кожний імпульс, що потрапляє на синхронізуючий вхід C, буде змінювати стан тригера на протилежний. Пояснення цьому наступне: стан на вході D завжди протилежний, інверсний, по відношенню до прямого виходу. Якщо необхідно на виході Q отримати «1», потрібно щоб $D = 0$, і навпаки, щоб отримати «0», то на $D = 1$. Розглянемо це на прикладі приведений в таблиці 1.

Таблиця 1

Таблиця роботи тригера при надходженні на його вхід сигналів

Генератор	C	D	Q	\bar{Q}
0	0	0	1	0
1	1	1	0	1
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0
0	0	0	1	0
1	1	1	0	1

Можна помітити затримку сигналів на вході D та на інверсному виході \bar{Q} . Це підтверджує справедливість теорії, що тригер затримує сигнал на один такт, а час його затримки залежить від частоти синхронізації імпульсів. Приклад отримання на виході логічних «1» та «0» представлена на рис. 11 і рис. 12.

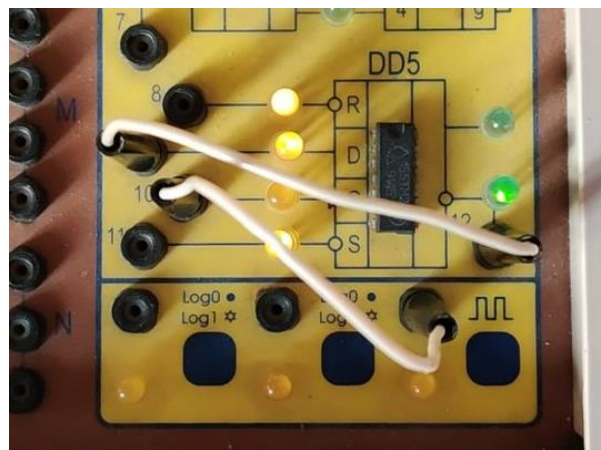


Рис. 11 Отримання одиниці на інверсному виході



Рис. 12 Отримання нуля на інверсному виході

Така логіка роботи робить тригер дуже зручним для зберігання одного розряду двійкового числа (0 або 1). Причому цей стан D-тригер буде зберігати доти, поки не надійде наступний біт інформації.

Тепер наглядно покажемо часову діаграму тригера (рис. 13), маючи за основу результати наведені в таблиці 2.

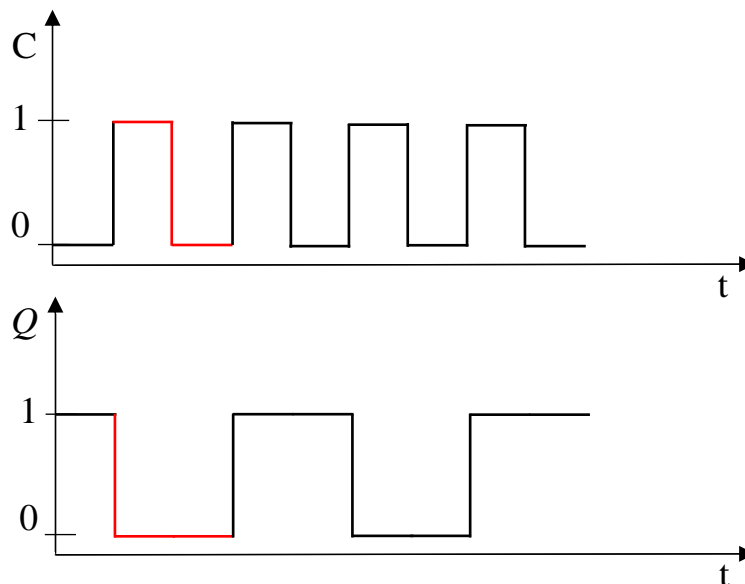


Рис. 13 Часова діаграма D-тригера

Отже, D-тригер ділить частоту вхідного сигналу на два, тобто виконує функцію двійкового лічильника. Кожним двом імпульсам, що приходять на

синхронізуючий вхід С, відповідає всього один імпульс на виході Q. Цей процес буде повторюватись постійно, поки не вимкнута з мережі.

D-тригери широко застосовуються в електронній техніці. Приклад застосування є автоматичний пристрій, що самостійно включає освітлення в квартирі або в одній з кімнат. Коли людина заходить до кімнати і відкриває двері, світильник включається. Закрили двері – він продовжує горіти. Виходячи з кімнати – знову відкриваєте двері і закриваєте двері – світло гасне. Також на основі тригерів будують такі елементи, як лічильники і регістри.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1*. Елементи та системи фізичного експерименту: паспорт ЛСУ 067.000.000 ПС, Ніжин, 10с.

2*. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка. Київ: Каравела, 2003, 386 с.

3*. Марченко А. Л. Основы электроники. Учебное пособие для вузов. М.: ДМК Пресс, 2008, 296 с.

Висновки до розділу 4

Розроблено демонстраційний фізичний експеримент для учнів старших класів та студентів. За допомогою даного експерименту учні зможуть краще зрозуміти основні принципи обробки інформації, що представлена у цифровому вигляді. Набути навичок складання електричних схем.

ВИСНОВКИ

Визначено поняття електричного імпульсу, що називають форм імпульсних сигналів та їх параметрів. Електричним імпульсом називають короткочасне стрибкоподібне відхилення напруги або сили струму від початкового значення протягом короткого кінцевого проміжку часу. Розрізняють радіо- та відеоімпульси. Важливою характеристикою імпульсів є їх форма. Зазвичай вона складається з: фронту, вершини та спаду.

Розглянуто призначення лічильників, компараторів, тригера Шмітта, мультівібратора та одновібратора. Вони виконують функцію формування та перетворення імпульсів певних форм і тривалості з необхідними параметрами.

В інформаційно-обчислювальній та цифровій техніці найпоширенішою операцією є запис кількості імпульсів, тобто підрахунок їх кількості. Цю операцію виконують лічильники імпульсів, будують їх на основі тригерів.

Тригер – це пристрій, що володіє двома стійкими станами та здатний переходити із одного стану в інший під впливом зовнішнього керуючого сигналу. Існує велика кількість різноманітних тригерних схем з різними функціями. Найпоширенішими є RS-тригер, D-тригер, T-тригер та JK-тригер.

За способом запису інформації тригери поділяють на:

- асинхронні (змінюють свій стан відразу після отримання сигналу на певному інформаційному вході);
- синхронні (запис інформації відбувається під дією інформаційних сигналів).

З'ясовано принцип роботи і технічні параметри наступних приладів: навчального набору ЕСФЕ-2, мікросхеми K155TM2, осцилографу S8-46/2 та генератора прямокутних імпульсів, що складала лабораторний стенд дослідження лічильника імпульсів.

Досліджено роботу D-тригера серії K155TM2 як лічильника імпульсів. Даний тригер є синхронним і працює в режимі затримки, оскільки має один

інформаційний вхід D1, інформація з якого переписується на вихід тригера тільки за синхронізуючим сигналом, що подається на вхід C1. Цей процес був зафіксований за допомогою осцилографа. Графік зміни імпульсів встановив, що на кожен другий імпульс, який приходить на синхронізуючий вхід C1, відповідає всього один імпульс на виході Q1. Це доводить, що тригер функцію двійкового лічильника.

Розроблено демонстраційний фізичний експеримент для учнів старших класів та студентів. За допомогою даного експерименту учні зможуть краще зрозуміти основні принципи обробки інформації, що представлена у цифровому вигляді, набути навичок складання електричних схем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Figueiredo M., Vital C. Offset Reduction Techniques in High-Speed Analog-to-Digital Converters. Heidelberg : Springer Netherlands, 2009. 382 p.
2. Green L. Analog Seekrets : DC to Daylight: A Master Class in Electronics Design. Future Science Research Press, 2007. 578 p.
3. Horowitz P. The Art of Electronics. 3rd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2015. 1225 p.
4. Kularatna N. Fundamentals of Oscilloscopes. New York : Institution of Electrical Engineers, 2002. 645 p.
5. Rao P. Pulse And Digital Circuits. New York : Tata McGraw-Hill Education, 2006. 670 p.
6. User's guide DDS generator JDS6600, 2017. URL : <https://www.manualslib.com/manual/1292827/Rd-Ds6600-15m.html?page=1#manual> (дата звернення: 20.09.2021).
7. Бобало Ю.А. Осцилографи та методи вимірювання радіотехнічних величин: навч. посіб. Львів : Львів. політехніки, 2014. 85 с.
8. Браммер Ю.А., Пащук И.Н. Импульсная техника. Москва : Форум, 2005. 207 с.
9. Елементи та системи фізичного експерименту: паспорт ЛСУ 067.000.000 ПС. Ніжин, 1997. 10 с.
10. Калабеков Б.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы. Москва : Телеком, 2000. 336 с.
11. Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. Электропитание устройств связи. Москва : Связь, 1975. 328 с.
12. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс. Харків : Точка, 2012. 340 с.
13. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка. Київ : Каравела, 2003. 386 с.

14. Кравець В. О., Сокол Є. І., Рисований О. М. Комп'ютерна схемотехніка. Харків : НТУ «ХПІ», 2007. 480 с.
15. Краткий словарь по радиоэлектронике / за ред. Попова Г.П., Григорьянца В.Г. Москва : Воениздат, 1980. 512 с.
16. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. Москва : Радио и связь, 1990. 512 с.
17. Марченко А. Л. Основы электроники. Учебное пособие для вузов. Москва : ДМК Пресс, 2008. 296 с.
18. Описание осциллографов С8-46/1, С8-46/2, С8-46/3. Беларусь, 2017. URL : <http://www.zsvt.by/index.php/prod/cyfrovie/s8-46-1> (дата звернення: 21.09.2021).
19. Рябенський В.М., Жуйков В.Я. Схемотехніка : Пристрої цифрової електроніки. Київ, 2016. Т. 2. 358 с.
20. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб : БХВ-Петербург, 2011. 768 с.
21. Ситников А.В., Ситников И.А. Прикладная электроника. Москва : КУРС, 2021. 272 с.
22. Справочник по импульсной технике. 2-е изд / за ред. Яковлева В.Н. Киев : Техника, 1971. 654 с.