

**Міністерство освіти і науки України**  
**Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя**  
**Навчально-науковий інститут точних наук і економіки**  
**Кафедра математики, фізики та економіки**

*Прикладна фізика та наноматеріали*  
*105 Прикладна фізика та наноматеріали*

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня *магістр*

**Розширення поліфункціональності цифрових приладів**

**студента Козоріза Костянтин Олеговича**

Науковий керівник:

Бойко Микола Павлович

Доцент

Рецензенти:

Руденко Микола Петрович

Канд. пед. наук, доцент

Шевчук Олександр Григорович

Доцент

Допущено до захисту

В. о. зав. кафедри \_\_\_\_\_ Тарасенко О. В.

Ніжин – 2019 рік

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ЦИФРОВІ ПРИЛАДИ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЇХ ОСОБЛИВОСТІ.....	7
1.1. Цифровий вимірювальний прилад.....	7
1.1.1. Хронометр.....	9
1.1.2. Частотомір.....	10
1.1.3. Вольтметр.....	11
1.2. Розширення функціональних можливостей цифрових приладів.....	12
1.3. Індикація показів цифрових приладів та її типи.....	13
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	17
2.1. Блок-схема приладу.....	17
2.2. Конструкція базового модуля поліфункціонального приладу.....	18
2.3. Функціональні модулі поліфункціонального приладу.....	23
2.2.1. Модуль частотоміра.....	23
2.2.2. Електричний стробоскоп.....	24
2.2.3. Секундомір.....	26
2.2.4. Схема підключення мультиметра до базового модуля.....	27
2.4. Оформлення поліфункціонального приладу.....	28
2.5. Характеристики функціональних режимів приладу.....	30
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34
ДОДАТОК А.....	36
ДОДАТОК Б.....	46
ДОДАТОК С.....	48

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЦП – поліфункціональний цифровий прилад,

АЦП – аналого-цифровий перетворювач,

ВП – відліковий пристрій,

ЕОМ – електронна обчислювальна машина,

ЕРЧ – електронно-рахунковий частотомір,

ЗМЧ – зразкова міра частоти,

ТШ – тригер Шмідта,

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач,

ЦВП – цифровий вимірювальний прилад,

ЦСП – цифрові системи передачі.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Цифрові прилади широко використовуються в різних галузях науки і техніки. Недоліками цифрових приладів є складність, порівняно висока вартість і менша, порівняно з аналоговими приладами, надійність. Особливо це стосується лабораторних вольтметрів, амперметрів, омметрів, частотомірів і фазометрів.

На сьогодні в навчальних закладах є значна кількість приладів, які займають багато місця в навчальних лабораторіях і кабінетах але виконують одну функцію і використовуються 1 – 2 рази за навчальний рік. Є також значна кількість несправних приладів, які відслужили свій термін, але не підлягають списанню. У багатьох випадках окремі вузли й деталі таких приладів цілком функціональні й можуть бути використані при створенні поліфункціонального приладу, що є більш ефективним для навчального експерименту. Як наслідок, з'являється можливість без значних додаткових затрат створити прилад, який може бути досить вдалим замінником дорогих і габаритних аналогів, поєднувати декілька функцій і використовуватися при вивченні багатьох розділів і тем та на різних етапах вивчення фізики при постановці демонстраційного експерименту.

**Об'єктом дослідження** є цифрові вимірювальні прилади для навчального фізичного експерименту.

**Предметом дослідження** розширення поліфункціональності приладів для навчального фізичного експерименту.

**Мета і завдання досліджень.** Розробити і побудувати цифровий поліфункціональний прилад, який був би зручним та надійним у використанні, економічним та ергономічним.

Відповідно до мети поставлено такі завдання:

- з'ясувати поняття цифрового сигналу, цифрового приладу.
- розглянути класифікацію та принцип дії цифрових вимірювальних приладів;

- з'ясувати поняття поліфункціонального приладу;
- розробити блок-схему та принципові схеми модулів поліфункціонального приладу, визначити його режими, технічні параметри, економічну доцільність.

**Наукова новизна отриманих результатів.** З'ясовано і дано визначення комбінованого поліфункціонального приладу для навчального фізичного експерименту. Визначено набір функцій, які дозволяють використовувати один і той же прилад при вивченні багатьох розділів курсу фізики.

**Практичне значення отриманих результатів.** Побудовано діючий поліфункціональний прилад, що може бути заміником декількох дорогих аналогів для навчального фізичного експерименту.

**Апробація результатів дослідження.** Основні положення та результати дослідження доповідались на конференціях молодих науковців НДУ імені Миколи Гоголя в 2015 – 2018 рр., Всеукраїнських студентських наукових конференціях у 2017 – 2019 рр. «Перспективи розвитку точних наук, економіки та методики їх викладання».

### **Публікації.**

Статті:

1. Козоріз К.О. Електронний стробоскоп // Вісник студентського наукового товариства: Збірник наукових праць студентів / За заг. ред. О. В. Мельничука. – Вип. 13. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2015. – С. 27 – 28;
2. Бойко М.П., Козоріз К.О. Поліфункціональний прилад з цифровою індикацією для навчального експерименту // Вісник навчально-наукового інституту точних наук і економіки: Збірник наукових праць – Ніжин: НДУ, 2017. – С. 69 – 72.
3. Бойко М.П., Козоріз К.О. Універсальне табло для поліфункціонального цифрового приладу. // Вісник навчально-наукового інституту точних наук і економіки: Збірник наукових праць – Ніжин: НДУ, 2019 (в друці станом на 03.12.19).

Тези доповідей опубліковані у матеріалах Всеукраїнських студентських наукових конференцій «Перспективи розвитку точних наук, економіки та методики їх викладання»:

- Козоріз К.О. Комбінований прилад на основі частотоміра // Тези доповіді на XII Всеукраїнській студентській науковій конференції. – Ніжин, 2017.
- Козоріз К.О. Поліфункціональні цифрові прилади у навчальному фізичному експерименті // Тези доповіді на XIII Всеукраїнській студентській науковій конференції. – Ніжин, 2018.
- Козоріз К.О. Демонстраційне табло для поліфункціонального цифрового приладу // Тези доповіді на XV Всеукраїнській студентській науковій конференції. – Ніжин, 2019.

**Ключові слова:** вимірювальний прилад, частотомір, секундомір, генератор, стробоскоп, блок живлення, лічильник, тригер, індикатор.

**Структура роботи.** Дипломна робота складається зі переліку умовних позначень, вступу, двох розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Робота містить: 7 таблиць, 22 рисунка. Повний обсяг роботи – 51 сторінка.

# РОЗДІЛ 1. ЦИФРОВІ ПРИЛАДИ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЇХ ОСОБЛИВОСТІ

## 1.1. Цифровий вимірювальний прилад

Цифровими вимірювальними приладами (ЦВП) називають такі, які у відповідності зі значенням вимірюваної величини утворюють код, а потім відповідно до кодів вимірювану величину представляють на відліковому пристрої в цифровій формі. Код може подаватися в цифровий пристрій реєстрації, обчислювальну машину або інші автоматичні пристрої. Наприклад, такі електронні аналогові засоби, як частотоміри і фазометри, замінюються цифровими приладами, які мають відносно простий принцип перетворення їх параметрів в кодовий сигнал.

ЦВ широко поширені, їх особливості: висока точність та швидкість дії, також можливість отримання результату вимірювання безпосередньо у вигляді числа і повної відсутності суб'єктивних похибок.

ЦВП має певні переваги: об'єктивність і зручність зняття показів; висока точність з повною автоматизацією процесу вимірювання; висока швидкодія і чутливість; можливість дистанційної передачі результатів у вигляді коду без втрат точності; поєднанням ЦВП з обчислювальними і різними автоматичними приладами.

Недоліками ЦВП є складність і висока вартість. Складність і, головне, висока вартість перешкоджають широкому застосуванню ЦВП в навчальному фізичному експерименті. Особливо це стосується демонстраційного фізичного експерименту де потрібна хороша візуалізація результатів вимірювань у класах та навчальних аудиторіях.

Принцип роботи ЦВП ґрунтується на дискретній інтерпретації неперервних величин. ЦВП складається із двох обов'язкових вузлів: аналогового цифрового перетворювача (АЦП) і цифрового лічильного пристрою (ЛП). АЦП видає код відповідно зі значенням вимірюваної величини. ЛП відображає його значення в цифровій формі. АЦП використовуються також у вимі-

рювальних і інформаційних системах (в керуючих компонентах) та випускаються промисловістю в якості окремих засобів вимірювання. Зазвичай вони мають на виході двійковий код і можуть значно швидше діяти в порівнянні з АЦП, що використовується в ЦВП. Швидкодія також обмежується інерційністю зорового сприйняття. Багато ЦВП включають в себе попередні аналогові перетворювачі (АП). Їх використовують для вимірювання масштабу вихідної величини  $X$  або її перетворення на іншу величину  $y = f(x)$ , більш зручну для обраного методу кодування.

Метрологічні та інші технічні характеристики ЦВП визначаються методом перетворення в коди. У ЦВП, призначених для вимірювання електричних величин, застосовується метод послідовного рахунку і метод порозрядного врівноваження. Відповідно, розрізняють ЦВП послідовного рахунку і порозрядного врівноваження (кодоімпульсної). Залежно від того, яке значення величини вимірюється, ЦВП діляться на прилади для вимірювання миттєвого значення та прилади для вимірювання середнього значення за певний проміжок часу (інтегруючи).

Згідно роду вимірюваної величини ЦВП поділяються на вольтметри, омметри, частотоміри, фазометри, мультиметри (комбіновані), в яких передбачається можливість вимірювання декількох електричних величин та ряду параметрів електричних ланцюгів. Також за областю застосування існують ЦВП лабораторні, системні і щитові.

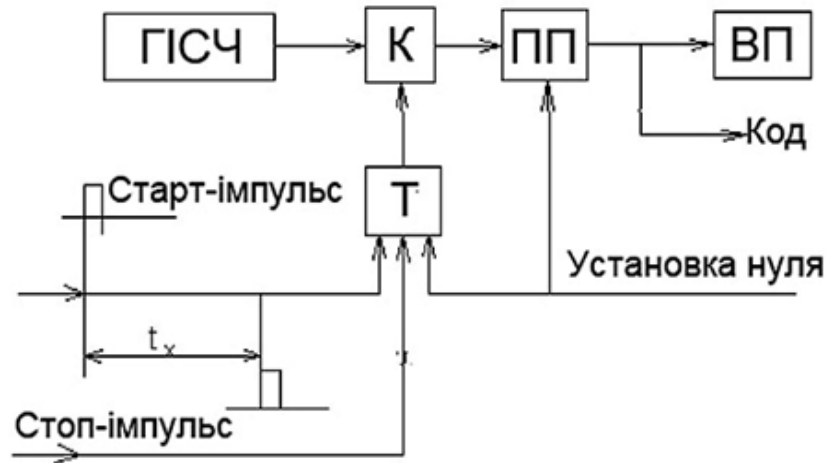
ЦВП мають складне облаштування, їх функціональні частини будуються на основі елементів електронної техніки, в основному це інтегральні мікросхеми. В сучасних ЦВП функціональні вузли, що перетворюють аналогові сигнали, зазвичай виконуються на основі мікроелектронних операційних підсилювачів.

Розглянемо приклади деяких ЦВП, наприклад, хронометр, частотомір, вольтметр. Проаналізуємо їх принцип дії, будову, схожі функціональні елементи блок-схеми.



### 1.1.1. Хронометр

Прилади для вимірювання інтервалів часу називають хронометрами. Основна структурна схема його представлена на рис. 1.1.



**Рис. 1.1.** Структурна схема хронометра Т – тригер; К – ключ; ПП – перерахунковий пристрій; ВП – відліковий пристрій

На початку циклу вимірювання імпульсом «Установка нуля» одночасно встановлюються в початковий стан всі елементи, які можуть мати неоднозначні стани. При надходженні старт-імпульсу тригер Т перемикається і своїм вихідним сигналом відкриває ключ К. Імпульси від генератора імпульсів стабільної частоти (ГІСЧ) починають надходити на вхід ПП. У момент закінчення інтервалу  $t_x$  стоп-імпульс повертає Т в початковий стан, ключ К закривається, і на ВП фіксується число  $N = \frac{t_x}{T_0} = t_x f_0$ . Похибки таких приладів складаються з похибки квантування (чим менше відношення  $\frac{T_0}{t_x}$ , тим менше похибка); похибки, що залежить від нестабільності частоти  $f_0$ ; похибки від неточності передачі тимчасового інтервалу на ключ, наприклад, у мілісекундоміра типу Ф209, основна похибка якого складає

$$\pm [0,005 + 0,005 \frac{t_x}{t_x - 1}] \% [1].$$

Розглянута структурна схема лежить в основі ЦВП, призначених для вимірювання фази, частоти, напруги.

Кут фазового зсуву між напругами фазометра легко перетворюється на часовий інтервал. Тому схема фазометра відрізняється від хронометра формувачами  $\Phi$ , що формують старт і стоп-імпульси в моменти переходу кривих напруг через нуль, і блоком генерації тимчасового інтервалу, який з серії виділяє два імпульси. Проміжок між двома імпульсами вимірюється часовим інтервалом  $t_x$ , тоді прилад покаже

$$N = \frac{t_x}{T_0} = t_x f_0 Y_x T_0 f_0 / (2\pi) = \frac{Y_x f_0}{2\pi f_x}$$

де  $t_x = \frac{1}{f_x}$  – період зміни напруги. Складові похибки у фазометрів ті ж, що і у хронометрів.

### 1.1.2. Частотомір

Частотомір – це прилад для вимірювання механічних, електричних, електромагнітних коливань. В даному випадку описується електричний частотомір – вимірювач електричних імпульсів.

Принцип дії приладу (рис. 1.2) базується на підрахунку імпульсів частотою  $f_x$  за інтервал часу  $t_{ін}$ .

Генератор імпульсів заданої тривалості ГІЗТ через тригер Т відкриває ключ К на час  $t_{ін}$ . За цей час імпульси з частотою  $f_x$ , сформовані формувачем  $\Phi$ , пройдуть на вхід ПП в кількості  $N = \frac{t_{ін}}{T_x} = t_{ін} f_x$ . Похибки приладу складаються з похибки квантування, що залежить від  $\frac{f_x}{t_{ін}}$ , похибки від неточності формування  $t_{ін}$ . Наприклад, частотомір типу Ф5041, призначений для вимірювання частоти від 0,1 Гц до 10 МГц, періодів в діапазоні частот від 0,1 Гц до 1 МГц, тривалості електричних імпульсів від 1 мкс до 1с, інтервалів часу від 10 мкс до 104 с, відношення частот від 1:1 до  $10^6$ :1 для рахунку електричних імпульсів. Похибка вимірювання частоти [1]

$$\delta = \pm \left[ 10^7 + 1/\frac{t_x}{t_{ін}} \right] 100\%$$

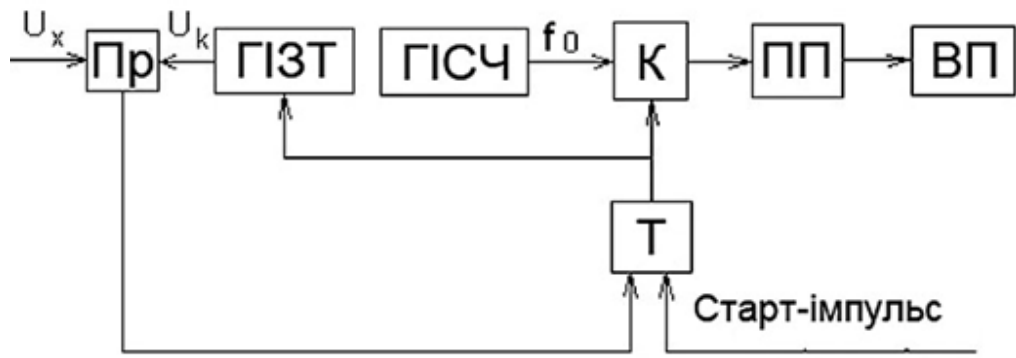


Рис. 1.2. Структурна схема частотоміра

### 1.1.3. Вольтметр

Цифровим вольтметром (ЦВ) називають складний електричний прилад (з електронним лічильником), повірений за державним стандартом, який показує в числовій формі підведена на нього напругу в певних межах. Характеристики цифрових вольтметрів залежать від методу перетворення (зміни), реалізації за схемою параметрів елементної бази, конструкції, технології виготовлення і інших чинників. Ці чинники є залежними величинами і в сукупності і взаємозв'язку визначають властивості конкретних приладів. Основний принцип роботи – компенсаційний метод вимірювання, при якому невідома напруга порівнюється з відомою-компенсуючим. Момент рівності цих напруг є порівняльною схемою, а цифровий відліковий пристрій реєструє напругу для цього моменту часу. Таким чином, основним вузлом будь-якого ЦВ є пристрій для перетворення вимірюваної напруги у відповідні цифрові відліки. Способів виконання подібної, операції в даний час відомо дуже багато. Наприклад, в імпульсних вольтметрах вимірювана напруга  $U_x$  попередньо перетвориться в часовий інтервал  $t_x$  шляхом порівняння  $U_x$  з лінійно-змінною напругою  $U_k$ .

При запуску приладу (рис. 1.3) за допомогою старт-імпульсу в момент  $t_1$  спрацьовує тригер Т, який відкриває ключ К і запускає генератор лінійно-вимірюючої напруги ГІЗТ. Напруга  $U_k$ , на виході ГІЗТ починає змінюватися за лінійним законом, а на вхід ПП подаються квант-імпульси. У момент  $t_2$

при  $U_k = U_x$  ВП за допомогою стоп-імпульсу через Т і К припиняє подачу імпульсів в ПП, тобто за час  $t_x = t_2 - t_1 = \frac{U_x}{k}$  ( $k$  – коефіцієнт, що характеризує швидкість зміни напруги  $U_k$ ) на вхід ПП пройде число імпульсів  $N = t_x T_0 = \frac{U_x f_0}{k}$  [1].

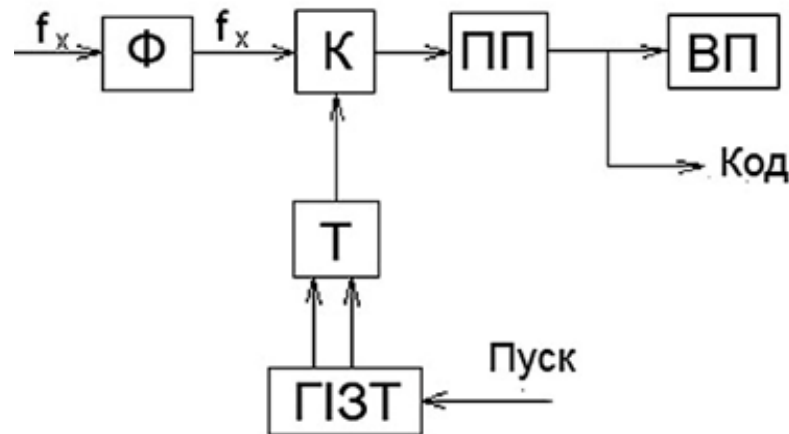


Рис. 1.3. Структурна схема вольтметра

## 1.2. Розширення функціональних можливостей цифрових приладів.

Окрім монофункціональних цифрових приладів, широко застосовуються комбіновані прилади. У навчальних і науково-дослідницьких лабораторіях вже давно використовують такі вимірювальні прилади типу пристрою, як мультиметр. *Мультиметр* – це комбінований вимірювальний прилад, призначений для виміру, як правило, електричних фізичних величин. Але в багатьох випадках, зокрема в навчальному фізичному експерименті, часто виникає потреба, в приладах, які поєднують вимірювальні функції з функціями інших видів приладів – генераторів оптичних і електричних імпульсів, термометрів, лічильників імпульсів, секундомірів та ін.

Прилад, який на відміну від мультиметра може використовуватись не лише для вимірювання кількох однорідних фізичних величин, а й виконувати функції інших фізичних приладів та розширювати їхні демонстраційні можливості, ми називаємо поліфункціональним цифровим приладом.

Аналіз структурних і принципів схем різних цифрових приладів дозволив визначити можливі напрямки розширення їхньої поліфункціональності. Одним із способів підвищення поліфункціональності приладів для навчального фізичного експерименту є створення набору уніфікованих модулів. Для прикладу на рис. 1.1 – 1.3 показані структурні схеми трьох цифрових приладів: частотоміра, вольтметра та хронометра. Не зважаючи на різне функціональне призначення, всі вони мають чотири однакові структурні частини: тригери (Т), ключі (К), перерахункові (ПП) та відлікові пристрої (ВП) [2].

Структурні частини, які входять до складу кожного з даних приладів можуть бути конструктивно об'єднані в один уніфікований модуль. Так можна створити єдиний базовий модуль для цілого ряду приладів різного функціонального призначення з необхідними для демонстраційного експерименту характеристиками щодо вимог візуалізації показів. Такий модуль дозволяє також забезпечувати візуалізацію показів приладів з невеликими відліковими пристроями. Залежно від потреби до базового модуля можна приєднувати модулі вимірювальних приладів та різні інші прилади для кращої візуалізації показів (мультиметри, стробоскопи, генератори електричних коливань, таймери).

### **1.3. Індикація показів цифрових приладів та її типи**

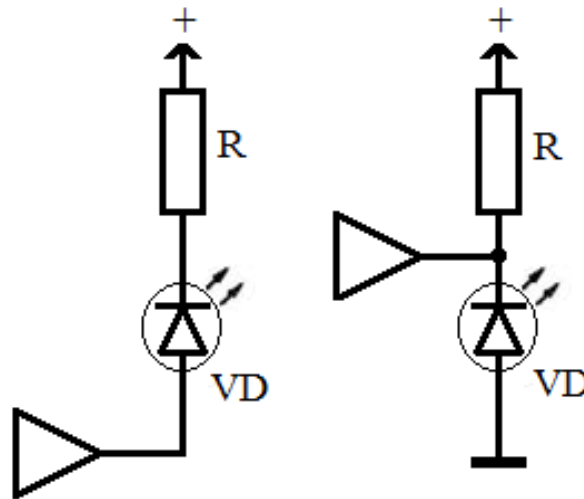
У навчальному експерименті, зокрема демонстраційному, важливу роль відіграє візуалізація фізичних величин, які в ньому закладені. Покази таких приладів повинні добре читатися із значних відстаней.

Найпростішими приладами відображення інформації в цифрових пристроях є світлові індикатори.

В якості світлових індикаторів використовують лампочки розжарення, люмінесцентні лампи, світлодіоди. Найбільшого поширення набули світлодіоди, завдяки їх малому енергетичному споживанню, компактності. Це напівпровідникові елементи з властивістю р-п переходу, яка базується на випромінюванні світла у видимій частині спектра. На рис. 1.4 подано схему уві-

мкнення одиничного індикатора при протіканні через нього прямого струму, де  $R$  – резистор для обмеження сили струму.

Для відображення цифрової інформації використовують сегментні індикатори у вигляді вісімки, якими відображається певний цифровий код. Вони бувають люмінесцентні, декадні, світлодіодні, на основі рідких кристалів та ін.



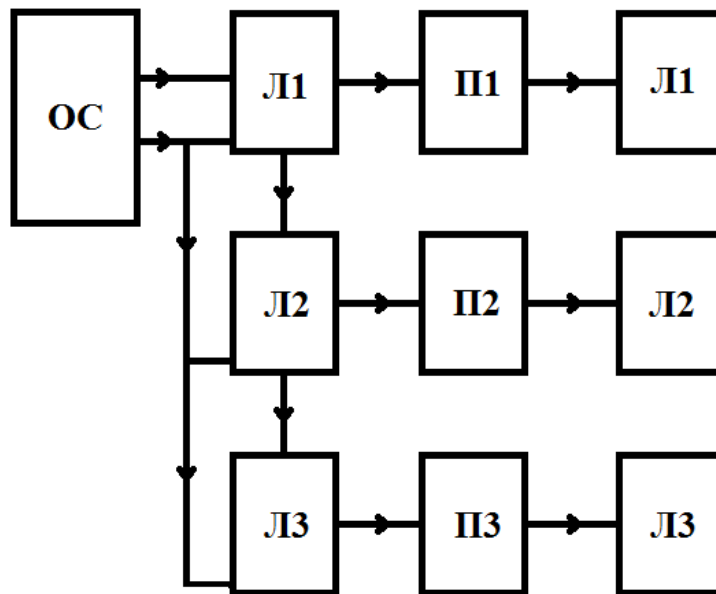
**Рис. 1.4.** Схеми увімкнення одиничних індикаторів

Існують два методи або підходи індикації – динамічна і статична.

Метод статичної індикації ґрунтується на постійному підсвічуванні індикатора від одного джерела інформації (рис. 1.5), тобто кожен з цифрових індикаторів блоку відображення інформації постійно підключений через власний перетворювач коду (дешифратор та лічильник) до власного джерела інформації (наприклад, лічильником).

Статична індикація алгоритмічно простіша, так як не потребує хитрощів, властивих динамічній індикації. Кожному окремому пікселю відповідає окремий ключ, і дані, що виводяться на екран, змінюються лише при зсуві символів.

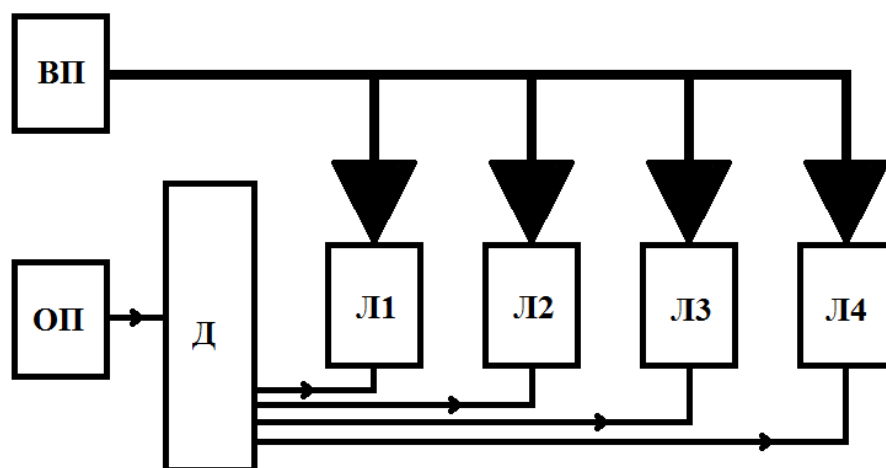
До переваг статичної індикації можна віднести високу яскравість світіння, відсутність мерехтіння (зокрема, при теле- і фотозйомці), максимальне використання ресурсу світлодіодів [3].



**Рис. 1.5.** Структурна схема статичної індикації: ОС – основний пристрій; Л1 – Л3 – лічильники; П1 – П3 – підсилювач; Л1 – Л3 – сегментні індикатори

До недоліків слід віднести великий обсяг обладнання, що збільшує вартість і споживану потужність.

Для забезпечення роботи багаторозрядних індикаторів або декількох однорозрядних індикаторів використовують динамічну індикацію. Суть динамічної індикації полягає в почерговому включенні індикаторів через загальний ланцюг перетворення коду (рис. 1.6). Інформація надходить не на кілька перетворювачів, а на один, загальний для всіх, але порціями. Цей перетворювач коду, своїми виходами підключений до всіх елементів відразу. Сигнал засвічення певного знакомісця надходить синхронно з тим пристроєм, від якого, в цей момент, надходить інформація. Іншими словами, в системі динамічної індикації працює швидкодіючий безконтактний перемикач (ВП) на багато положень. В одному з його положень всі висновки (сегменти) будь-якого розряду підключені до відповідних виходів дешифратора (Д). І в цей же момент через ключі надходить управляючий сигнал засвіченням елементів відповідного розряду. Щоб спостерігач не помітив мерехтіння індикаторів (Л), їх підключення необхідно проводити з частотою від 30 до 50 Гц, враховуючи властивості ока людини.



**Рис. 1.6.** Структурна схема динамічної індикації: ОС – основний пристрій;  
Д – дешифратор (лічильник); Л1 – Л4 – сегментні індикатори

У розглянутому вище випадку всі сегменти обраного в даний момент розряду індикатора світяться одночасно. Однак роботу пристрою динамічної індикації можна організувати так, щоб і сегменти обраного розряду індикатора включалися по черзі (послідовно, як в матричному табло), при цьому необхідно, відповідно, збільшити частоту перемикання в 7-8 разів, а для забезпечення нормального світіння індикаторів – збільшити в кілька разів струм, що проходить в імпульсі через сегментні Л. Такий спосіб динамічної індикації часто застосовується при управлінні пристроєм індикації від мікропроцесорів і мікроконтролерів.

Перевага способу динамічної індикації відчутно якщо число розрядів більше 5. Економія перетворювачів коду і сполучних проводів є дуже істотною, якщо схема динамічної цифрової індикації віддалена від джерела інформації. Схема з динамічною індикацією споживає менший струм, має менші габарити і меншу вартість [3].



## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

### 2.1. Блок-схема приладу

Прилад включає декілька структурних складових частин і модулів, кожна з яких виконує певну функцію. Комутація цих функцій забезпечує роботу того чи іншого режиму поліфункціонального приладу. Блок-схему приладу наведено на рис. 2.1.

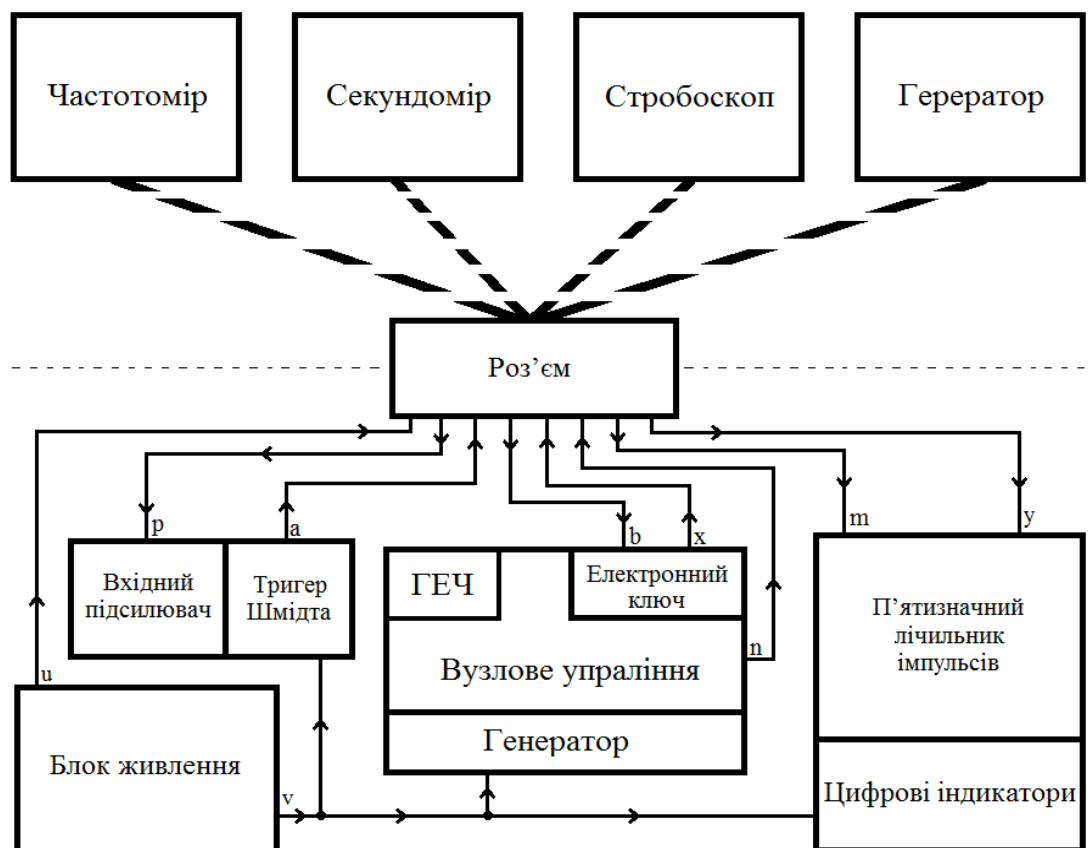


Рис. 2.1. Блок-схема комбінованого приладу

Згідно блок-схеми вся установка складається з базового модуля (фактично окремий прилад) та додаткових модулів. Базовий модуль включає такі компоненти (функціональні вузли):

- роз'єм;

- блок живлення;
- вхідний підсилювач, тригер Шмідта;
- вузлове управління; електронний ключ; генератор еталонної частоти;
- п'ятизначний лічильник імпульсів; цифрові індикатори, дільник.

На даний момент прилад має такі змінні додаткові модулі: частотомір, секундомір, генератор, стробоскоп, також він може підключатися, в якості демонстраційного модуля, до мультиметра, наприклад, ВР-11.

Далі докладніше розглянемо будову і призначення кожної складової приладу.

## 2.2. Конструкція базового модуля поліфункціонального приладу

В основному корпусі приладу основного модуля вмонтовано блок живлення, роз'єм VGA, загальний блок управління частотоміром, лічильники з сегментними індикаторами.

**Блок живлення.** Блок живлення забезпечує роботу кожного функціонального блоку, перетворюючи напругу мережі 220 В змінного струму в напруги, необхідні для живлення їхніх елементів. Його схему подано на рис. 2.2.

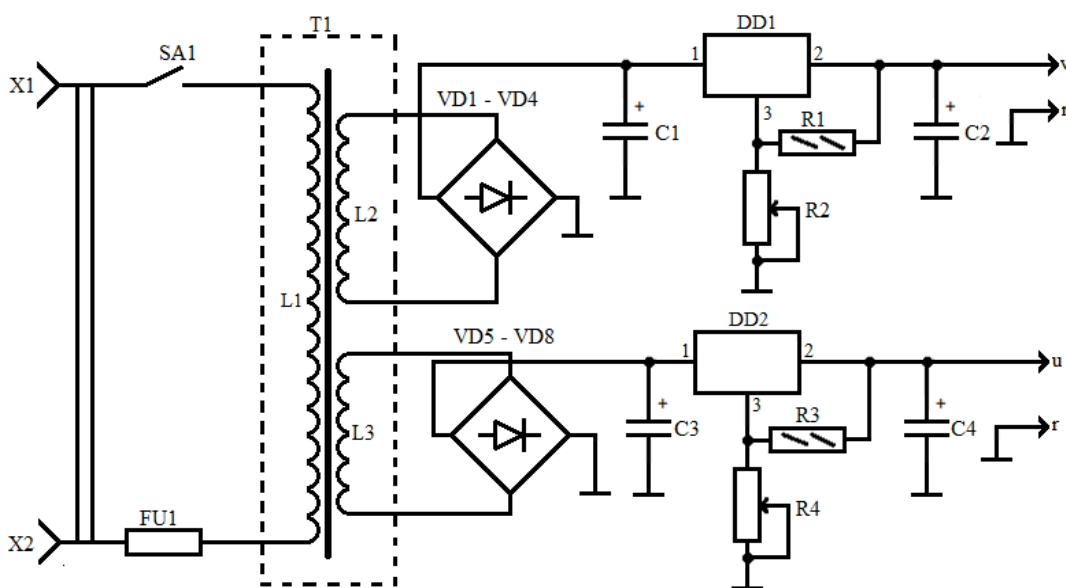


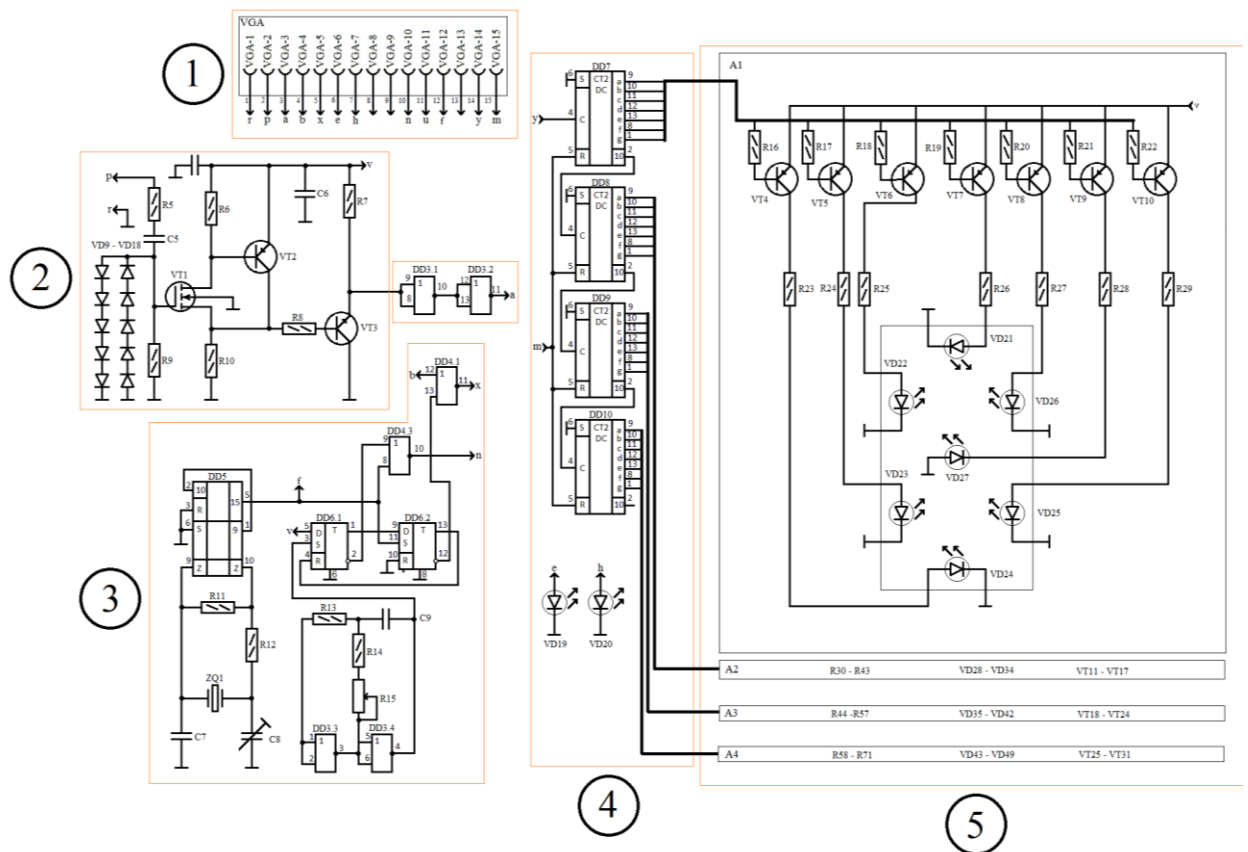
Рис. 2.2. Принципова схема блока живлення

Знижувальний трансформатор Т1 має три обмотки: первинна L1 розрахована на напругу – 220 В, та вторинні L2 і L3, що дозволяють одержати змінну напругу кожна 12 В відповідно для живлення індикаторів та мікросхем, додаткового блока. Живлення з мережі подається на входи X1 і X2 і далі через запобіжник FU1 іде на обмотку L1; SA1 – тумблер-вмикач живлення. Обмотки L2 і L3 та діоди VD1 – VD8 утворюють два двопівперіодні випрямлячі, зібрані за містковою схемою. Електролітичні конденсатори C1 – C4 використовуються в якості фільтрів для зниження пульсацій випрямленої напруги. Для стабілізації та зниження постійної напруги використано дві мікросхеми DD1 – DD2 LM317T, режими яких відповідно задаються постійними резисторами R1, R2, та змінними R3, R4. Отримуємо на кожному з виходах v, u та стабілізовану постійну напругу 9 В (r – корпус). Відповідно напруга v живить базовий модуль, u живить додаткові модулі. Для забезпечення нормального температурного режиму мікросхеми встановили на алюмінієвому радіаторі (кожну на окремому), розмірами 4,5 x 4,5 x 4 см. Максимальна сила струму, яку витримує LM317T (при хорошому тепловідводі)  $I_{\max} = 1,5 \text{ А}$  [4].

Розглянемо принципову схему основного модуля приладу (рис. 2.3).

**Вхідний підсилювач-обмежувач і тригер Шмідта (рис. 2.3, (2)).** Блок вхідного підсилювача, адаптує сигнал для подальшої обробки по амплітуді та формі імпульсу і забезпечує захист внутрішніх частин схеми від напруг більших ніж розраховані мікросхеми (9 В). Тригер Шмідта (ТШ) дозволяє отримати сигнал близький до ідеальної форми, прямокутного цифрового сигналу. Він також відсіює паразитні імпульси, на які можуть реагувати лічильники, що мають велику чутливість. Це дає змогу вимірювати низькі частоти (1 – 500 Гц).

Вхідний сигнал через резистор R5, що зменшує напругу надто сильного сигналу, і роздільний конденсатор C5, який відокремлює постійну напругу джерела імпульсів і вхідний блок, поступає на вхідний каскад утворений польовим транзистором VT1 і біполярними транзисторами VT2, VT3.



**Рис. 2.3.** Принципова схема базового модуля приладу

Сигнал корегується за амплітудою польовим транзистором VT1 КП305Д на рівень  $U_a = 9 \text{ В}$ . Резистори R6, R9, R10 встановлюють його режим, забезпечуючи високу чутливість частотоміра, що дає можливість працювати з сигналами амплітуди від 0,4 В до не більш ніж 30 В. Транзисторами VT2, VT3 і резистори R6, R7, R8 утворюють попередній каскад тригера Шмітта. Діоди VD9 – VD13 захищають транзистор VT1 від перепадів вхідної напруги позитивної полярності, а VD14 – VD18 – від напруги негативної полярності.

Далі сигнал надходить до інвертора утвореного на двох логічних елементах «2И-НЕ» DD3.1, DD3.2 мікросхеми К561ТЛ1. Параметри даної мікросхеми показано в табл. 1

**Генератор еталонної частоти (рис.2.3, (3))** Генератор еталонно частоти є дуже важливим елементом схеми, він задає такт всієї схеми (режиму частотоміра). Відіграє важливу роль у точності вимірювання частоти і періоду. Він побудований за простою схемою (рис. 2.3, (3)) на мікросхемі

DD5K176IE5, яка являє собою 15-розрядний двійковий лічильник, тобто генератор секундних імпульсів. Первинна частота генератора (32 768 Гц) визначається власною частотою кварцового резонатора ZQ1 і конденсатором C7, резисторами R11, R12, юстувальним конденсатором C8, змінного типу. Як наслідок, формуються на виході 15 (висновок 5) цієї мікросхеми частота імпульсів 1 Гц.

**Вузлове управління** – це важливий блок для модуля частотоміра, який за допомогою власного генератора виконує функцію скидання значень лічильників через однакові певні задані проміжки часу.

Блок вузлового управління побудований на двох D-тригерах DD6.1, DD6.2, і логічні елементи (тригера Шмідта) «2И-НЕ» DD3.3, DD3.4, комутатор DD4.1 та так званого клапана DD4.3 (K561JE5). Елементи «2И-НЕ» DD3.3, DD3.4, а також резистори R13, R14 та конденсатор C9 працюють в генераторі імпульсів запуску часу індикації, тривалість якої можна регулювати змінним резистором R15. Логічний елемент «2ИЛИ-НЕ» DD4.3 використовується в якості ключа в ланцюзі обнуління лічильника. Як відомо з довідників логіка дії елемента 2ИЛИ-НЕ: при напрузі високого рівня (логічної одиниці) на будь-якому з його входів на виході буде напруга низького рівня (логічного нуля).

Основною частиною блока є мікросхема, яка включає два двотактних D-тригера на K561TM2. Вона має по два асинхронних настановних входу S і R відповідно для установки тригерів в стан логічної 1 і скидання інформації. Функціональна схема D-тригера може бути представлена у вигляді двох однотактний D-тригерів.

Двотактний D-тригер працює наступним чином. По фронту першого імпульсу синхронізації на вході C, логічний рівень присутній на вході D, записується в перший однотактний D-тригер. По фронту другого імпульсу синхронізації, на виході Q встановлюється рівень, присутній на вході D перед першим синхронізуючим імпульсом. Таким чином, на виході двотактного D-

тригера сигнал затримується на один такт. Входи R і S не залежить від імпульсів синхронізації і мають активні високі рівні. Надходження високого рівня на входи R або S встановлюють обидва одноктактний D-тригера відповідно в логічний «0» або «1» незалежно від входів D і C.

Принципова схема вузлового управління наведена на рис. 2.3, (3). Таким чином, з виходу с блока еталонної частоти на вхід C тригера DD6.2 безперервно надходять імпульси зразкової частоти, а на такий же вхід тригера DD6.1 – імпульси генератора запуску, зібраного на елементах DD3.3 і DD3.4. За вихідний прийmemo момент, коли обидва тригера знаходяться в стані логічного нуля. В цей час напруга високого рівня з інверсного виходу тригера DD6.2 надходить на нижній вхід електронного клапана DD4.3 і закриває його. З цього моменту припиняється проходження через клапан імпульсів сигналу вимірюваної частоти на вхід у блок п'ятизначного лічильника DD10 – DD14. З появою на вході C тригера DD6.1 імпульсу генератора запуску цей тригер перемикається в стан логічної одиниці і напругою високого рівня на прямому виході вливає на роботу тригера DD6.2. Одночасно на верхньому вході елемента DD4.3, з'єднаному з інверсним виходом тригера DD6.1, з'являється напруга низького рівня (логічного нуля). Наступний імпульс генератора блока еталонної частоти перемикає в стан логічної одиниці тригер DD6.2. Тепер на інверсному виході цього тригера і на нижньому вході елемента DD4.3 буде напруга низького рівня, яке відкриває електронний клапан і тим самим дозволяє проходження через нього імпульсів сигналу. Але прямий вихід тригера DD6.2 з'єднаний з входом R тригера DD6.1. Отже, коли тригер DD6.2 виявляється в стані логічної одиниці, він напругою рівня логічної одиниці на прямому виході перемикає тригер DD6.1 в нульове стан і утримує його в ньому до тих пір, поки триває вимірювальний інтервал. Черговий імпульс еталонного генератора перемикає тригер DD6.2 за входом C стан логічного нуля, і напруга високого рівня з інверсного виходу тригера закриває електронний клапан (блок електронного ключа). В результаті, якщо прилад в ре-

жимі частотоміра, припиняється проходження імпульсів сигналу вимірюваної частоти до лічильника і починається час індикації.

Логічний елемент 2ИЛИ-НЕ мікросхеми DD4.1 К561ЛЕ5 об'єднує вихідний сигнал з тригера Шмідта та вузлового управління – вихід 12 DD6.2.

**Чотирирозрядний лічильник** складається з мікросхем лічильників DD7 – DD10. Кожна з них містить дільник на 10, і перетворювач (дешифратор) її логічного стану в сигнали управління семи сегментним індикатором (рис. 2.3, (4)).

**Блок цифрової індикації** (рис. 2.3, (5)) складається з світлодіодів VD19 – VD49, ключів на транзисторах КТ361 (VT4 – VT59), резисторів R16 – R22, R30–R36, R44–R50, R58 – R64 по 15кОм та резисторів R23 – R29, R37 – R43, R45 – R57, R65 – R71 по 1кОм. Цифрові індикатори семи сегментні. Комірki сегментів вирізано в пластині з пінопласту. В комірки вставлено по одному світлодіоду. Загальна кількість розрядів чотири.

Важливу роль відіграє вихідний роз'єм, представлений на рис. 2.3, (1). Його модель – VGA. Він відрізняється надійністю, гарними контактами, компактністю, зручністю: має 15 «каналів».

### **2.3. Функціональні модулі поліфункціонального приладу**

До роз'єму підключаються модулі, які можуть виконувати ті чи інші функції і забезпечувати відповідні режими: частотомір, секундомір, стробоскоп-генератор, та ін.

#### **2.3.1. Модуль частотоміра**

Принципова схема додаткового модуля – частотоміра подано на рис. 2.4.

В роз'ємні VGA запааяні такі перемички 3 – 4 (вихід *a* тригера Шмідта і вхід *b* електронного ключа вузлового управління DD4.1 К561ЛЕ5), 10 – 15 (вихід *n* вузлового управління і вхід *m* (скидання) лічильників DD7 – DD10). Виводи 5 та 14 (роз'єма VGA), тобто, вихід *x* електронного ключа вузлового

управління DD4.1 K561JE5 та вхід у першого лічильника DD7, підключено до дільника на 10 крат на мікросхемі K176IE4 DD11 через перемикач SA2, як показано на рис. 2.4.

Вивід 7 (роз'єма VGA) вмикає світлодіод VD19 «кома» через виводи 4,5 перемикача SA2. Резистор R72 – обмежувач струму на даному світлодіоді.

«Кома» вмикається під час роботи дільника, коли замикаються виводи 7 і 9, а також 10 і 12 перемикача SA2. Виводи роз'єма VGA:1 відповідає корпус, 11 – живлення +9 В, 2 – вхід частотоміра. Резистор R73 – додатковий захист від надто потужного вхідного сигналу.

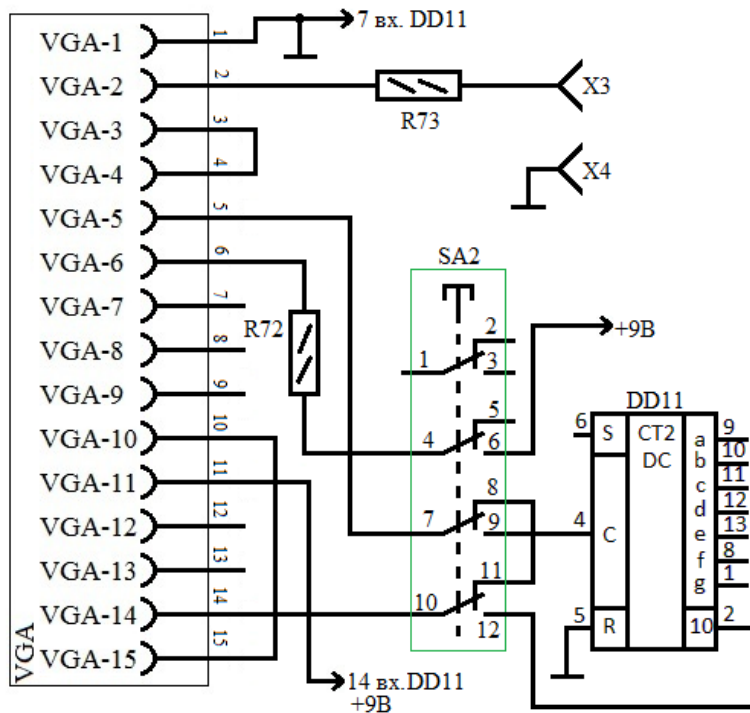
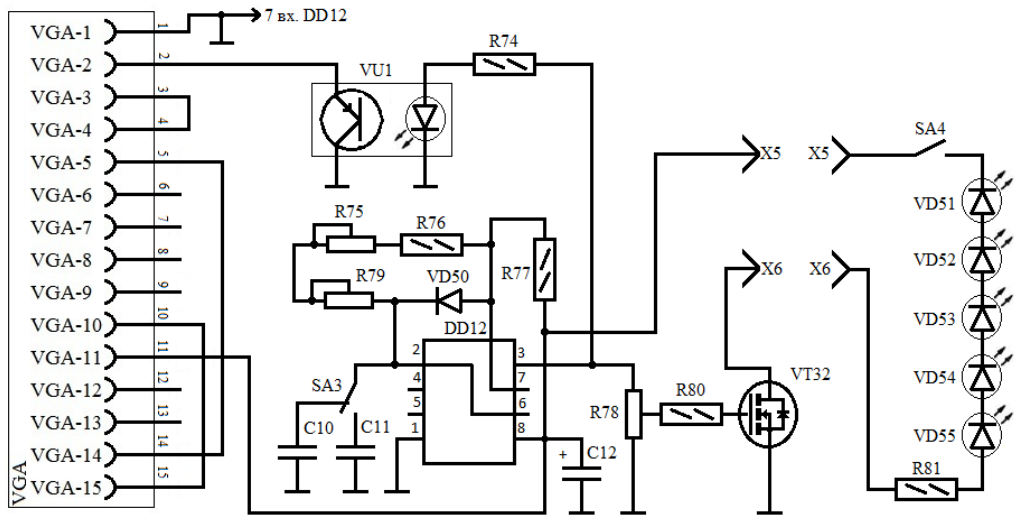


Рис. 2.4. Принципова схема модуля частотоміра

### 2.3.2. Електричний стробоскоп

Електричний стробоскоп виконано у вигляді додаткового модуля до основного блоку. Це дозволяє позбутися додаткового блоку живлення і забезпечити точне визначення частоти спалахів під час стробоскопічних вимірювань. Принципова схема модуля електричного стробоскопа показана на рис. 2.5.





**Рис. 2.5.** Принципова схема модуля стробоскопа

Стробоскоп побудований на таймері LM555N Генератор прямокутних імпульсів зібрано на мікросхемі DD12 LM555N. Конденсатори C10, C11 відповідають за встановлення діапазону частот генерації імпульсів (спалахів), C12 – за додаткову стабілізацію напруги живлення. Тумблер SA3 забезпечує зміну діапазону частот. Змінний резистор R75 регулює частоту імпульсів, R79 використовується для калібрування діапазону частот, R76 – підбирається під час повірки генератора. Діод VD50 – встановлює режим таймера. Вихідний сигнал таймера DD12 через реостат R78, що змінює вихідний сигнал за амплітудою, подається на транзистор VT60 – підсилювач за струпом. R80 забезпечує його режим.

Роз'єм VGA має перемички на виводах 3 і 4 (вихід *a* тригера Шмідта і вхід *b* електронного ключа вузлового управління DD4.1 K561ЛЕ5), 10 і 15 (вихід *n* вузлового управління і вхід *m* (скидання) лічильників DD7 – DD10), 5 і 14 (вихід *x* електронного ключа вузлового управління DD4.1 K561ЛЕ5 та вхід *y* першого лічильника DD7. Також виводи (роз'єма VGA): 1 відповідає корпус, 11 – живлення +9 В, 2 – вхід частотоміра під'єднаний через резистор R74 (між виходом 3 мікросхеми DD12 змінним реостатом R78).

Світлодіодний випромінювач стробоскопічних імпульсів складається зі зборки світлодіодів (VD51 – VD55). Резистор R81 – обмежує величину вихідного струму.

Мікросхема-таймер NE555 включає близько 20 транзисторів, 15 резисторів, 2 діоди. Вихідний струм 200 мА, струм споживання приблизно на 3 мА більше. Напруга живлення від 4,5 до 18 вольт. Точність таймера не залежить від зміни напруги живлення і становить не більше 1 % від розрахункового значення.

### 2.3.3. Секундомір

Принципова схема додаткового модуля секундоміра показана на рис. 2.6.

Виводи 3 та 14 роз'єму VGA, тобто, вихід *a* тригера Шмідта та вхід у першого лічильника DD7, з'єднано.

До виводу 2 роз'єму VGA через тумблер SA5 прямує до виводу 1 подвійного перемикача SA6, що відповідає за вибір діапазону рахунку часу.

До виводу 2 (перемикача SA6) (вихід *p* вхідного підсилювача-обмежувача) під'єднаний генератор на мікросхемі DD13, калібрований на частоту 100 Гц, яку отримали за допомогою конденсатора C12 і калібрувального резистора R83. Вивід 3 (перемикача SA6) прямує до виводу 12 роз'єму VGA, з якого іде сигнал

Вивід 6 роз'єму VGA вмикає світлодіод VD19 «кома» через резистор R82 обмежувача струму «Кома» світиться під час роботи відповідного діапазону. Також виводи (роз'єму VGA): 1 – корпус, 11 – живлення +9 В мікросхем.

Перемикач SA7 виконує функцію скидання відліку часу секундоміра. Він під'єднаний до виводів роз'єма VGA 11 та 15 (вихід *m* (скидання) лічильників DD7 – DD10). Роз'єми X7, X8 і X9, X10 використовують для під'єднання додаткового блоку секундоміра до лабораторної експериментальної установки.

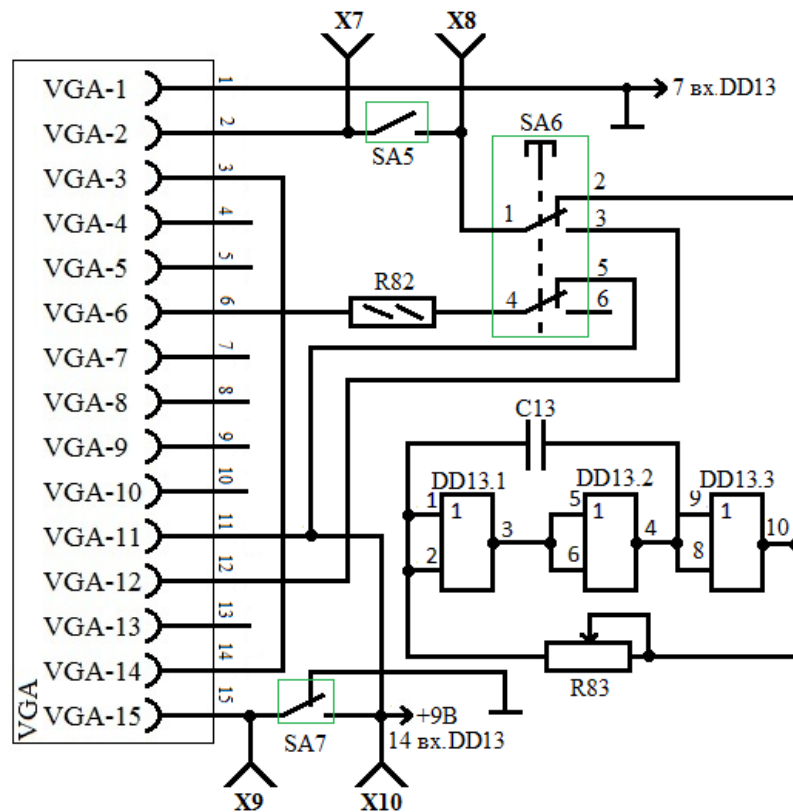


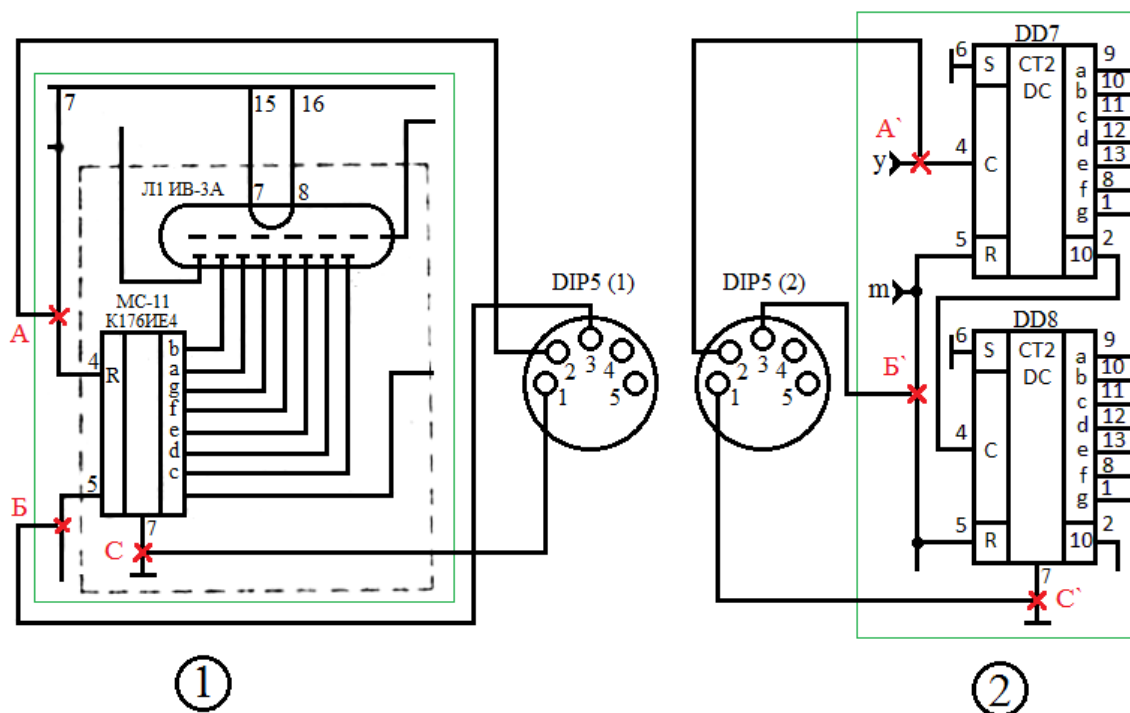
Рис. 2.6. Принципова схема додаткового модуля секундоміра

### 2.3.4. Схема підключення мультиметра до базового модуля

Принцип відображення інформації основного модуля приладу і багатьох інших цифрових приладів може бути ідентичним. Це дозволяє використовувати основний модуль в якості табло і, таким чином, розширювати демонстраційні можливості промислових приладів. Так, індикація мультиметра ВР-11 однакова – за методом статичної індикації (рис. 2.7).

Тому в їхніх принципових схемах співпадає схема підключення лічильників (рис. 2.3, (4)), в яких є два входи управління: вивід 4 мікросхеми К174ИЕ4, потім вихід якого іде на вхід наступного, вивід 5 мікросхеми К174ИЕ4, з кожного лічильника з'єднується в один. Тому, відповідно, можемо з'єднати дані виводи в схемі ВР-11 і базового модуля полі функціонального приладу, як показано на рис. 2.7, не забуваючи про корпус: вивід 7 мікросхеми К174ИЕ4, що синхронізує схеми за живленням. До того ж друкована плата мультиметра має «контрольні» точки, які дозволяють підпаяти відпові-

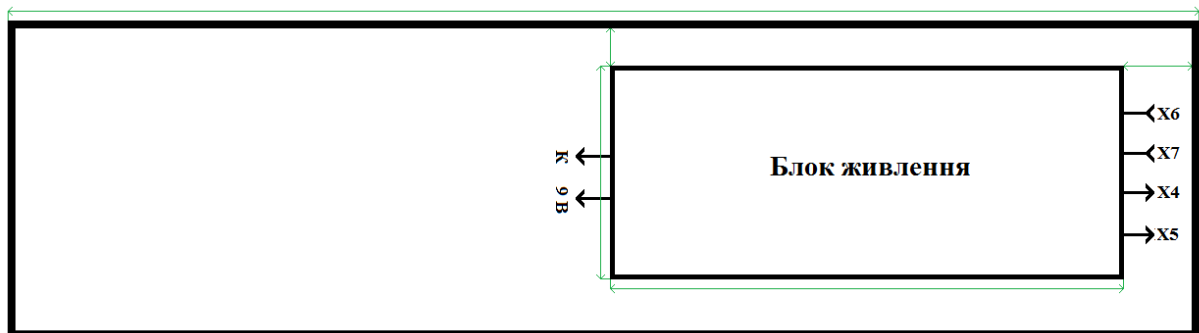
дні виводи провідників. Вхідні роз'єми DIP5 (1) і DIP5 (2) з'єднуються спеціальним кабелем з вихідними роз'ємами того ж типу.



**Рис. 2.7.** Схема підключення мультиметра до базового модуля: 1 – лічильник зі схеми приладу ВР-11; 2 – лічильник зі схеми (рис. 2.4, (4)).

## 2.4. Оформлення поліфункціонального приладу

Після виготовлення плат відповідних частин приладу потрібно розрахувати правильне розташування їх на внутрішніх стінках корпусу. Тоді намалюється відповідний план будови приладу. Плата «Блок живлення», як найважчий блок за рахунок мережного трансформатора, вмонтований на нижній стінці корпусу, що представлено на рис. 2.8.



**Рис. 2.8.** План розташування відповідних плат на внутрішній нижній стінці

Плати «Вхід приладу» у вигляді роз'ємна, «Чотиризначний лічильник імпульсів», «Багатоканальний підсилювач струму» на транзисторах та «МТ» (мережний тумблер) закріплені на задній стінці приладу, план якої зображений на рис. 2.9.



Рис. 2.9. План розташування відповідних плат на внутрішній задній стінці

Найголовніша частина приладу це світлодіодний сегментний індикатор. Його конструкція являється фактично лицевою частиною приладу (рис. 2.10).

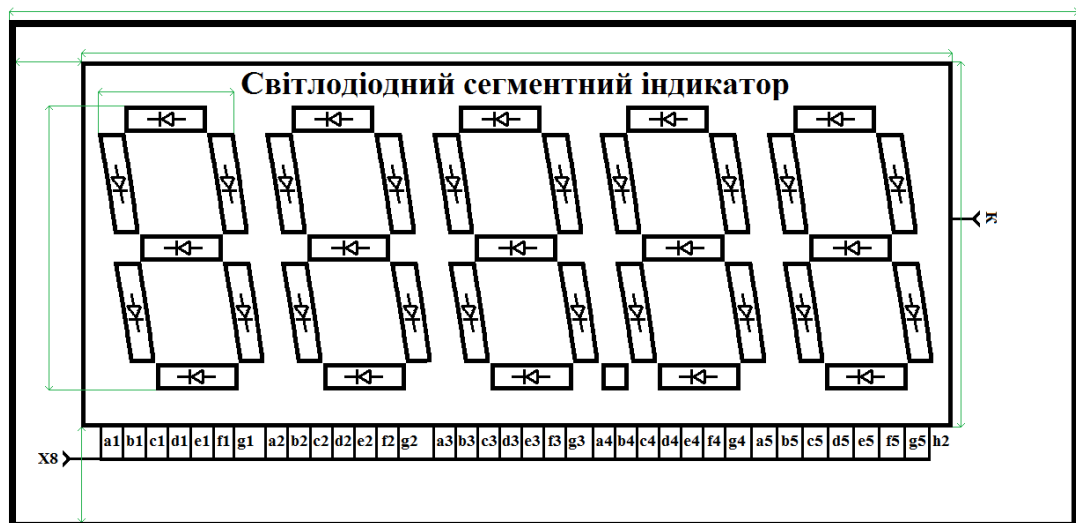


Рис. 2.10. План розташування відповідних плат на внутрішній лицевій частині

Лицева частина приладу має кілька шарів: зовнішня захисна плівка синього кольору, чорний папір з віконцями під сегменти, платина з пінопласту товщиною 1,4 см з заглибинами під сегменти і задня основа у вигляді залізної пластинки товщиною 0.05 см, яка також слугує з'єднувальним провідником для катодів світлодіодів. В свою чергу аноди через провідники в ізоляції (щоб не замкнуло на катод) під'єднані до вихідних ключів, а «загальний» катод – до корпусу.

Зовнішній вигляд базового модуля показано на рис. 2.11.



Рис. 2.11. Зовнішній вигляд приладу з лицевої сторони

## 2.5. Характеристики функціональних режимів приладу

Як зазначалося вище, даний поліфункціональний прилад має 6 варіантів використання частотомір, секундомір, стробоскоп, демонстраційне табло. Для забезпечення роботи кожного режиму потрібно увімкнути певний додатковий модуль через роз'єм VGA.

**Реалізація функції частотоміра.** Щоб прилад почав працювати в режимі частотоміра потрібно приєднати відповідний додатковий модуль «Частотомір» через роз'єм VGA до основного корпусу. Вхід частотоміра, перемикач діапазонів виміру. Технічні характеристики частотоміра є в табл. 2.1.

**Таблиця 2.1. Технічні характеристики частотоміра**

Діапазони вимірюваних частот, Гц кГц	1 – 9999 0,01 – 99,99
Діапазон допустимих вхідних амплітудних напруг, В	0,4 – 25
Час індикації, с	1
Абсолютна точність частотоміра Гц.	1
Точність повірки еталонного генератора, мкс	1

**Реалізація функції секундоміра.** Прилад буде працювати в режимі секундоміра при увімкненні додаткового модуля «Секундомір» через роз'єм VGA в основний корпус. На додатковому модулі наявна кнопка скидання, тумблер запуску/зупинки рахунку часу та окремі виходи для підключення до певної лабораторної установки. Існує тумблер перемикання діапазону вимірюваного часу. Технічні характеристики секундоміра подано в табл. 2.2.

**Таблиця 2.2. Технічні характеристики секундоміра**

Діапазони вимірюваного часу, с Дільник на «100х» Дільник на «1х»	0,01 – 99,99 1 – 9999
Частота часового генератора, Гц	<b>100 ± 5</b>
Період часового генератора, с	0,01
Точність часового генератора, с	0,001

**Реалізація функції стробоскопа.** Прилад буде працювати в режимі стробоскопа, якщо увімкнути відповідний додатковий модуль «Стробоскоп» через роз'єм VGA в основний корпус приладу. Вихід стробоскопа подається на клеми X5, X6, до яких приєднується світильник для отримання стробоскопічних спалахів світла. SA3 відповідає за зміну діапазону частот, а R103 – ре-

гулює діапазон частот, R107 – регулює яскравість спалахів. Технічні характеристики секундоміра наведено в табл. 2.3.

**Таблиця 2.3. Технічні характеристики стробоскопа**

Діапазон вихідних частот вихідного сигналу, Гц	15 – 1500 70 – 3000
Амплітудна напруга вихідного сигналу стробоскопа, В	9

Коли стробоскоп не використовується можна його використати в ролі генератора, драйвера освітлювача для мікроскопа.

Розглянемо загальні технічні характеристики приладу (табл. 2.4).

**Таблиця 2.4. Загальні технічні характеристики приладу**

Напруга живлення приладу, В	220
Споживча потужність приладу, Вт	20
Допустима частота напруги живлення приладу, Гц	$50 \pm 5$
Допустима температура навколишнього середовища, °С	0 – 50
Допустима вологість приміщення, %	$65 \pm 15$
Габаритні розміри приладу, мм	325x155x155
Маса приладу, кг	2,2



## ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто фізичні основи будови і дії цифрових приладів, принцип їх дії.

Показано доцільність використання цифрових комбінованих поліфункціональних приладів у навчальному фізичному експерименті.

Розроблено блок-схему, принципову схему комбінованого поліфункціонального приладу на основі частотоміра, визначено його режими, технічні параметри, економічну вигідність.

Виконано розрахунки основних вузлів та виготовлено поліфункціональний прилад на основі цифрового частотоміра з такими можливостями:

- частотомір з діапазоном вимірювання 1 – 99990 Гц;
- стробоскоп з діапазоном частоти спалахів 14 – 3000 Гц;
- секундомір від 0,01 до 9999 с;
- демонстраційне табло для мультиметра.

Прилад може бути використаний під час вивчення механіки (механічний рух та його види, механічні коливання і хвилі, звук, коефіцієнт динамічної в'язкості та ін.), електрики (електромагнітні коливання і хвилі), оптики (стробоскопічний ефект), атомної фізики (як рахунковий пристрій лічильника Гейгера), а також як лічильник обертів лімба механічного сферометра, драйвер для освітлювача мікроскопа та ін.

Прилад можна використовувати як електронне табло для підвищення демонстраційних можливостей вимірювальних та інших електронних приладів з цифровою індикацією до чотирьох розрядів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цифровые измерительные приборы – Режим доступа: <http://электротехнический-портал.рф/electro-izmerenya/279-cifrovye-izmeritelnye-pribory.html> (2019).
2. Бойко М.П., Козоріз К.О. Універсальне табло для полфункціонального цифрового приладу // Вісник навчально-наукового інституту точних наук і економіки. Збірник наукових праць. – Ніжин: НДУ, 2019 (в друці станом на 03.12.19).
3. Статическая и динамическая индикация. – Режим доступа: <https://www.stud24.ru/circuit-technique/staticheskaya-i-dinamicheskaya-indikaciya/31289-98208-page1.html>(2019).
4. LM117/LM317A/LM317 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://files.amperka.ru/datasheets/lm317.pdf> (2019).
5. Микросхема к561тл1 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://electro-tehnyk.narod.ru/docs/Datasheet/K561TL1.pdf> (2019).
6. Цифровые интегральные микросхемы: Справочник / М.И. Богданович, И.Н. Грель, В.А. Прохоренко, В.В. Шалимо. – Мн: Беларусь, 1991. – 493 с.
7. Николаенко М. Н. Самоучитель по радиоэлектронике / М. Н. Николаенко. – М: НТ Пресс, 2006. – 224 с.
8. Караваев А. Демонстрационная приставка к мультиметру ВР-11 / А. Караваев // Радио. – 1989. – №10. – С. 74 – 77.
9. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневский и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
10. Промышленная электроника: Уч. для вузов / Под ред. В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
11. Цифровые измерительные приборы – Режим доступа: <http://электротехнический-портал.рф/electro-izmerenya/279-cifrovye-izmeritelnye-pribory.html> (2019).

12. Оборудование для кабинета «Фізика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrdidac.com.ua/ru/katalog/sec/2/#10179> (2018).
13. Схема простого частотомера на микросхеме К176 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.payatel.ru/318-shema-prostogo-chastotomera-na-mikrosheme-k176.html> (2019).
14. Фізико-технічна творчість учнів: Навч. посіб. / М.П. Бойко, Є.Ф. Венгер, О.В. Мельничук. – К.: Вища шк., 2007. – 262 с.
15. Микросхемы и их применение: справочное пособие / В.А. Батушев и др. – 2-е изд. – М. Радио и связь, 1984. – 272 с.
16. Гейтс Э. Д Введение в электронику: Серия «Учебники и учебные пособия» / Гейтс Э. Д. – Ростов на дону: «Феникс», 1998. – 640 с.
17. Колдунов А. С. Радиолобительская азбука: Т. 1: Цифровая техника / Колдунов А.С. – М.: СОЛОН Пресс, 2003. – 372 с.
18. Справочник по цифровой светотехнике / Зубчук В. И., Сигорский В. П., Шкуро А. Н. – К.: Техника, 1990. – 488 с.
19. Простой частотомер // Радиоконструктор. – 1999. – № 11. – С. 16 – 17.
20. Входной велитель для частотомера // Радиоконструктор. – 2001. – № 3. – с. 23.
21. Карманный частотомер // Радиоконструктор. – 2001. – № 9. – С. 14 – 16.
22. Счетчик минут // Радиоконструктор. – 2001. – № 9. – С. 28 – 30.

## ДОДАТОК А

### Теоретичний аналіз компонентів електричної схеми приладу

Теоретичний аналіз компонентів електричної схеми всіх модулів приладу складається за таких пунктів:

- Обрахунок електричного споживання вхідного підсилювача та тригера Шмідта, вузлового управління, електронного ключа, генератор еталонної частоти; п'ятизначного лічильника імпульсів (основного модуля);
  - теоретичний опис цифрового індикатора (основного модуля);
  - теоретичний розрахунок блок живлення.

**1. Обрахунок електричного споживання вхідного підсилювача та тригера Шмідта, вузлового управління, електронного ключа, генератор еталонної частоти; п'ятизначного лічильника імпульсів (основного модуля).**

Всі ці блоки мають однакову напругу живлення (вихід  $v$  з блока живлення)  $U_{ж} = 9 \text{ В}$ . Фактично майже кожен з них побудований на певній мікросхемі (див. рис. 2,4, блоки (2), (3), (4)):

Таблиця 1. Технічні характеристики мікросхем

Модель мікросхеми	Кількість	Максимальна сила струму споживання $I_{\text{макс.сп.}}$ , мКА
K561ЛЕ5	1	5
K561ТЛ1	1	2
K561ИЕ5	1	250
K561ТМ2	1	20
K176ИЕ4 (4 штуки)	4	250

Таким чином, згідно таблицею мікросхеми займають незначний ресурс живлення. Враховуючи, що живлення усіх мікросхем запаралелено, то

$$I_{\text{п.о.б}} = \sum I_n + I_{\text{ВП}},$$

де  $I_n$  – споживча сила струму відповідної  $n$ -ої мікросхеми;  $I_{ВП}$  – споживча сила струму вхідного підсилювача, яка виміряна експериментально  $I_{ВП} = 1725$  мкА. Тому

$$I_{п.о.б.} = (5 + 2 + 250 + 20 + 250 \cdot 4) + 1725 = 3002 \text{ мкА} = 3,002 \text{ мА}$$

## 2. Теоретичний опис цифрового індикатора (основного модуля).

Теоретичний опис цифрового семисегментного індикатора (основного модуля) складається з розрахунку режимів роботи світлодіодів (як сегментів індикатора приладу) та режиму транзисторних ключів. Кожен сегмент побудований з однією і тією ж схемою, тому можна розглянути теоретичний опис тільки одного транзисторного ключа з виходом на світлодіод, що показано на рис. 1.

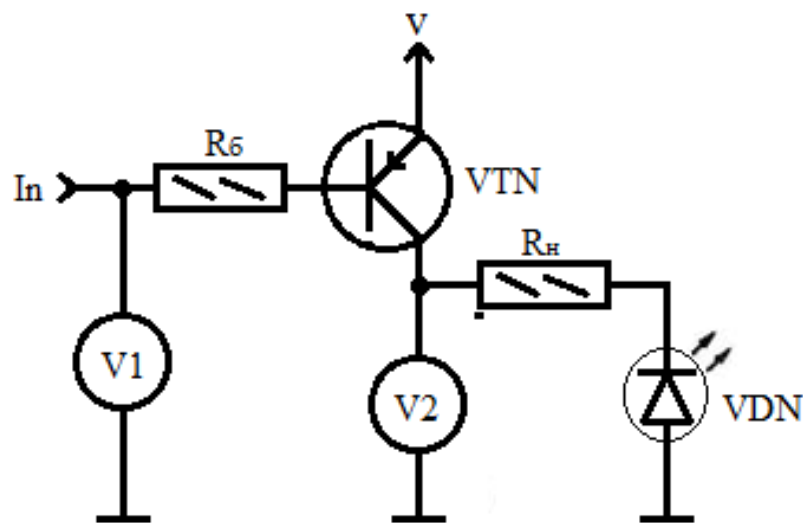


Рис. 1. Схема підключення світлодіода через транзисторний ключ

На рис. 1 вхід  $In$  приймає сигнал за мікросхеми K176ИЕ4 (DD7 – DD10) з її виходів 1, 8, 9, 10, 11, 12, 13; вольтметр  $V1$  відповідає напрузі  $U_{вх}$ , а  $V2$  –  $U_{вих}$ ; резистор з опором  $R_б$  відображає резисторам на схемі R16 – R22, R30 – R36, R44 – R50, R58 – R64 і резистор  $R_н$  відображає – R23 – R29, R37 – R43,

R45 – R57, R65 – R71; транзистор VTN це VT4 – VT31; діод VDN це VD21 – VD49.

Як відомо з довідника, логічна 1 мікросхеми К176ИЕ4 рівна 8,2 В, тому  $U_{\text{вх}} = 8,2 \text{ В}$ . Транзистор при засвіченні діода відкривається повністю, тому  $U_{\text{вих}} = 9 \text{ В}$ . Світлодіод взято з номінальною напругою  $U_{\text{д}} = 2,71 \text{ В}$  та розрахований на силу струму  $I_{\text{д}} = 6 \text{ мкА}$ , але в імпульсному режимі допускається її збільшення на 20%. За законом паралельного з'єднання провідників сила струму  $I_{\text{н}}$  на резисторі рівна  $I_{\text{н}} = I_{\text{д}} = 6 \text{ мкА} = 0,006 \text{ А}$  і його наруга

$$U_{\text{н}} = U_{\text{вих}} - U_{\text{д}} = 9 - 2,71 = 6,29 \text{ В}$$

Тоді опір на резисторі  $R_{\text{н}}$ :

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{6,29 \text{ В}}{0,006 \text{ А}} = 1048 \text{ Ом}$$

Отриманий опір відповідає наближеному номіналу резистора 1к з розбродом  $\pm 5 \%$ .

Для початку можна знайти силу струму бази  $I_{\text{б}}$ :

$$I_{\text{б}} = k_{\text{н}} \frac{I_{\text{к}}}{\beta}$$

де  $k_{\text{н}}$  – коефіцієнт насичення;  $I_{\text{к}}$  – колекторний струм;  $\beta$  – коефіцієнт посилення струму транзистора;

$$R_{\delta} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\delta}}$$

У ролі транзисторних ключів між лічильником та сегментними індикаторами використовуються транзистори КТ361Д, які мають однаковий коефіцієнт насичення  $k_{\text{н}} = 2$ , мінімальний коефіцієнт посилення струму транзистора  $\beta = 20$ , Колекторний струм  $I_k$  рівний фактичному розрахованому вище струму на світлодіодному індикаторі сегмента  $I_k = 6 \text{ мА} = 0,006 \text{ А}$ , тоді

$$I_{\delta} = k_{\text{н}} \frac{I_k}{\beta} = 2 \frac{0,006 \text{ А}}{20} \approx 0,0006 \text{ А}$$

$$R_{\delta} = \frac{U_{\gamma}}{I_{\delta}} = \frac{8.2 \text{ В}}{0,0006 \text{ А}} \approx 13667 \text{ Ом}$$

То найближчий номінал  $15000 \text{ Ом} = 15 \text{ кОм}$ .

Отже, загальний (наближений) струм  $I_{\text{с.ц.і.}}$  споживання цифрового семи-сегментного індикатора (основного модуля) рівний сумі сил струму споживання окремих світло діодів, яких є 28, то

$$I_{\text{с.ц.і.}} = 28 \cdot I_{\text{д}} = 28 * 6 \text{ мА} = 168 \text{ мА.}$$

Таким чином сумарний наближений струм споживання  $I_{\text{с.о.}}$  основного модуля приладу рівний:

$$I_{\text{с.о.}} = I_{\text{с.ц.і.}} + I_{\text{п.о.б.}} = 168 + 3,002 \approx 170 \text{ мА}$$

### 3. Теоретичний розрахунок блок живлення

Спочатку проведемо теоретичний обрахунок трансформатора, який має первинну і дві вторинні обмотки, з наступними параметрами: ефективне (діюча) змінна напруга первинної обмотки  $U_1 = 220 \text{ В}$ ; ефективне (діюча) змінна напруга вторинних обмоток  $U_2 = U_3 = 12 \text{ В}$ ,  $U_2$  – напруга **v** живлення основного блоку,  $U_3$  – напруга **u** живлення додаткових блоків. Як відомо з реальних показів та теоретичного опису максимальна сила струму навантаження обмотки з наругою  $U_2$  (напруга **v**) рівна 0,17 А, а для обмотки з наругою  $U_3$  (напруга **u**) – 0,5А. Рекомендується робити певний запас, щоб не перевантажувати трансформатор та компоненти схеми блоку живлення, врахувати можливі майбутні добудови, тому для помірному режиму трансформатора візьмемо ефективний (діючий) струм вторинних обмоток  $I_2 = I_3 = 1 \text{ А}$ . Частота напруги  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Коефіцієнт трансформації дорівнює відношенню напруги на первинної обмотки до напруги розімкнутої (ЕРС) вторинної обмотки. При цьому нехтують похибкою, що виникає через відмінності ЕРС від напруги на первинній обмотці:

$$k = w_1/w_2 = E_1/E_2 = (I_2 + I_3)/I_1$$

де  $w_1$  і  $w_2$  – число витків, відповідно, первинної і вторинної обмоток;  $E_1$  і  $E_2$  – ЕРС первинної і вторинної обмоток.

Сила струму  $I_1$  на первинній обмотці дорівнює:

$$I_1 = w_1/w_2 = (I_2 + I_3) U_2/U_1 = (1 + 1) \cdot 12/220 \approx 0,064 \text{ А}$$

Габаритну потужність трансформатора:

$$P_{\text{гп}} = (U_1 I_1 + U_2 I_2 + U_3 I_3)/2 = ((I_2 + I_3) U_2 + U_2 I_2 + U_3 I_3)/2$$

$$P_{\text{гп}} = ((1 + 1) \cdot 12 + 12 \cdot 1 + 12 \cdot 1)/2 = 24 \text{ Вт}$$



Далі слід визначити розміри магнітопровода, число витків усіх обмоток, діаметр і приблизну довжину обмотувального проводу, потужність втрат, повну потужність трансформатора, ККД, максимальні габарити і масу.

### Розрахунок магнітопровода трансформатора

Методика розрахунку розмірів та інших параметрів взята, в основному, з книжки «Линде Д. П. и др. Справочник по радиоэлектронным устройствам. / Под ред. А. А. Куликовского. Т. 2. – М.: Энергия, 1978».

Спочатку розрахуємо добуток: площі поперечного перерізу стрижня та площі вікна. Стрижнем називають ділянку муздрамтеатру ( $a \times b \times h$ ), на якому розміщена котушка:

$$S_{\text{ст}} S_{\text{в}} = 10^2 P_{\text{гп}} / (2,22 f B j \eta n k_c k_M),$$

де  $B$  – магнітна індукція, в Тл;  $j$  – густина струму в обмотках, А/мм<sup>2</sup>;  $\eta$  – ККД трансформатора,  $n$  – число стрижнів магнітопровода;  $k_c$  – коефіцієнт заповнення перерізу магнітопровода сталлю;  $k_M$  – коефіцієнт заповнення вікна магнітопровода міддю.

Рекомендовані значення магнітної індукції і середні значення щільності струму, ККД і коефіцієнта заповнення вікна для частоти  $f = 50$  Гц наведені в довіднику.

Коефіцієнт заповнення перетину магнітопровода для сталей 3411-3415 дорівнює 0,95 ... 0,97, а для сталей 1511-1514 - 0,89 ... 0,93.

Тоді згідно табличних даних  $B = 1,26$  Тл;  $j = 3,9$  А/мм<sup>2</sup>;  $\eta = 0,89$ ;  $k_c = 0,96$ ;  $k_M = 0,26$ ;  $n = 2$ :

$$S_{\text{ст}} S_{\text{в}} = 10^2 \cdot 24 / (2,22 \cdot 50 \cdot 1,26 \cdot 3,9 \cdot 0,89 \cdot 2 \cdot 0,96 \cdot 0,26) \approx 9,9 \text{ см}^4$$

Товщину стрижня муздрамтеатру обчислюють за формулою

$$a = 0,7^4 \sqrt{S_{\text{мп}} S_{\text{в}}} = 0,7^4 \sqrt{9,9} \approx 1,24 \text{ см}$$

Відповідний магнітопровід беруть з довідника, враховуючи величини  $a$ ,  $c$ ,  $h$ . При виборі слід прагнути до того, щоб перетин магнітопровода було близько до квадрату, оскільки в цьому випадку витрата обмотувального дроту мінімальна.  $h$  підбираємо відповідно до значення  $a$  в довіднику.

Ширину стрічки магнітопровода розраховують за формулою

$$b = S_{\text{мп}} S_{\text{в}} / (ach) = 9,9 / (1,24 \cdot 1,24 \cdot 4,0) \approx 1,6 \text{ см}$$

Отже, проаналізувавши дані довідника, найбільше підходить магнітопровід ПЛР 12,5x20, з відповідними параметрами  $a = 1,25$  см;  $b = 2,0$  см;  $h = 4,0$  см, тоді відповідно і корегуються дані

$$S_{\text{мп}} S_{\text{в}} = 10 \text{ см}^4, S_{\text{мп}} = 2,4 \text{ см}^2 S_{\text{в}} = 4 \text{ см}^2.$$

### Розрахунок обмоток трансформатора

Обчислимо ЕРС  $E_0$  одного витка за формулою

$$E_0 = 4,44 f B S_{\text{мп}} k_c 10^{-4} = 4,44 \cdot 50 \cdot 1,26 \cdot 2,4 \cdot 0,96 \cdot 10^{-4} = 0,06445 \text{ В}$$

Розрахуємо приблизно падіння напруги на обмотках:

$$\Delta U_1 \approx 1,5 U_1 j a 10^{-3} / E_0 = 1,5 \cdot 220 \cdot 3,9 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} / 0,06445 = 24,96 \text{ В}$$

$$\Delta U_2 \approx 1,5 U_2 j a 10^{-3} / E_0 = 1,5 \cdot 12 \cdot 3,9 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} / 0,06445 = 1,36 \text{ В}$$

$$\Delta U_3 \approx 1,5 U_2 j a 10^{-3} / E_0 = 1,5 \cdot 12 \cdot 3,9 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} / 0,06445 = 1,36 \text{ В}$$

Потім обчислимо число витків  $w_1$  первинної обмотки:

$$w_1 = (U_1 - \Delta U_1) / E_0 = (220 - 24,96) / 0,06445 \approx 3026$$

вторинних обмоток:

$$w_2 = w_3 = (U_1 - \Delta U_1)/E_0 = (12 - 1,36)/0,06445 \approx 165$$

Розрахуємо діаметр обмотувального проводу без ізоляції за формулою

$$d = 1,13\sqrt{I/j}$$

Підставивши числові значення, отримаємо діаметр проводу первинної обмотки при струмі  $I_1 = 0,064$  А:

$$d_1 = 1,13\sqrt{0,064/3,9} \approx 0,145 \text{ мм}$$

і вторинних обмоток при струмах  $I_2 = I_3 = 1$  А:

$$d_2 = d_3 = 1,13\sqrt{1/3,9} \approx 0,572 \text{ мм}$$

Згідно таблиць з довідника вибираємо марку і діаметр обмотувального проводу в ізоляції : для первинної обмотки – ПЭЛ або ПЭВ-1  $d_1 = 0,15$  мм; для вторинних – ПЭЛ або ПЭВ-1  $d_2 = d_3 = 0,59$  мм.

Уточнюємо число витків обмоток. Для цього спочатку уточнимо падіння напруги на обмотках:

$$\Delta U = Ir = 2,25l10^{-2}/d^2.$$

Розрахуємо середню довжину витка  $l_{\text{сдв}}$ , використовуючи табличні дані.

$$l_{\text{сдв}} = 2a + 2b + \pi c/2 = 2 \cdot 1,24 + 2 \cdot 1,6 + \frac{3,14 \cdot 1,24}{2} = 0,0763 \text{ м}$$

а потім і довжину проводу в обмотках:

$$l_1 = w_1 l_{\text{сдв}} = 3026 \cdot 0,0763 \approx 230,88 \text{ м}$$

$$l_2 = l_3 = w_2 l_{\text{сдв}} = 165 \cdot 0,0763 \approx 12,59 \text{ м}$$

Уточнені значення падіння напруги на обмотках рівні:

$$\Delta U_1 = 2,25 \cdot 0,064 \cdot 230,88 \cdot 10^{-2} / 0,145^2 \approx 15,813 \text{ В,}$$

$$\Delta U_2 = \Delta U_3 = 2,25 \cdot 1 \cdot 12,59 \cdot 10^{-2} / 0,572^2 \approx 0,866 \text{ В.}$$

З урахуванням отриманих значень обчислимо число витків первинної:

$$w_1 = (U_1 - \Delta U_1) / E_0 = (220 - 15,813) / 0,06445 \approx 3168$$

і вторинних обмоток:

$$w_2 = w_3 = (U_1 - \Delta U_1) / E_0 = (12 - 0,866) / 0,06445 \approx 173$$

Розрахуємо масу проводу обмоток (див. дані табл. 2):

$$M_1 = l_1 m_1 = 230,88 \frac{16,2}{100} \approx 37,4 \text{ г}$$

$$M_2 = M_3 = l_2 m_2 = 12,59 \frac{230}{100} \approx 28,96 \text{ г}$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – погонна маса проводів, відповідно, первинної і вторинних обмоток з табл. 5 (колонка «Маса 100м проводу, г») в довіднику. Згідно табличних даних маса магнітопроводу  $M_m = 151 \text{ г}$

Маса трансформатора без урахування маси деталей кріплення дорівнює  $M = 37,4 + 28,96 \cdot 2 + 151 \approx 246 \text{ г.}$

Коефіцієнт трансформації  $k = w_1 / w_2 = 3168 / 173 = 18,31$ .

Визначення ємності конденсаторного фільтра  $C_2, C_3$  вторинних обмоток за реальної сили струму загрузки обмоток  $I'_2 = I'_3 = 0,6 \text{ А}$

$$C_2 = C_3 = \frac{3200 I'_2}{1,4 U_2 k} = \frac{3200 \cdot 0,6}{1,4 \cdot 12 \cdot 18,31} = 10,4 \text{ мкФ}$$

Потужність трансформатора наближено визначається:

$$P = I_1 U_1 = 0,064 \cdot 220 = 14 \text{ (Вт)}$$

Далі наруги **v** і **u** обмежуються та стабілізуються стабілізатором наруги LM317N. Значення вихідних наруг рівне 9 В (номінальним наругам живлення мікросхем), які виставляються і калібруються кожна відповідно підстрочними резисторами R2 та R4 за допомогою безкоштовного онлайн-калькулятора.

## ДОДАТОК Б

Номінали елементів принципівих схем на рис. 2.2 – 2.7:

### Конденсатори

- C1 – C4, C11 – 500 мкF 50 В (електролітичний);
- C5 – 0,1 мкF (керамічний);
- C6, – 0,047 мкF 50 В (керамічний);
- C7 – 33 пF (керамічний);
- C8 – КСТ14.0-70.0;
- C9 – 1 мкF (керамічний);
- C10 – 100 нF (керамічний);
- C11 – 47 нF (керамічний);
- C13 – 100 нF (керамічний).

### Резистори

- R1,R3 – млт-0,125, 220 Ом;
- R2,R4 – SH-085, 4,7 кОм;
- R5, R76, – млт-0,125, 100 кОм;
- R6 – млт-0,125, 390 Ом;
- R7 – млт-0,125, 1,8кОм;
- R8 – млт-0,125, 5,1кОм;
- R9 – млт-0,125, 18МОм;
- R10 – млт-0,125, 3,3кОм;
- R11 – млт-0,125, 10МОм;
- R12 – млт-0,125, 560кОм;
- R13, R16 – R22, R30 – R36, R44 – R50, R58 – R64 – млт-0,125, 15 кОм;
- R14 – млт-0,125, 1 МОм;
- R15, R75 – 16K1 КС, 1 МОм;

- R23 – R29, R37 – R43, R45 – R57, R65 – R72, R82 – МЛТ-0,125, 1 кОм;
- R73 – МЛТ-0,125, 100 Ом м
- R74 – МЛТ-0,125, 2 кОм;
- R77 – МЛТ-0,125, 10 кОм;
- R78 – 16К1 КС, 10 кОм;
- R79 – SH-R115SR, 2 МОм;
- R80 – МЛТ-0,125, 56 Ом;
- R22 – МЛТ-0,125, 100 Ом;
- R83 – 3329H, 100 кОм.

#### **Діоди**

- DV1 – DV18 – 1N4007;
- DV19 – DV49, DV51 – DV55 – smd 5730 0.5W (світлодіод)
- DV50 – 1N4148.

#### **Транзистори**

- VT1 – КП 305 Д;
- VT2 – КТ361Б;
- VT3 – КТ315Б;
- VT4 – VT31 – КТ361Д;
- VT32 – IRFZ44N.

#### **Перемикачі**

- SA1 – Rocker-Switch;
- SA2 – SA7 – П2К.

## ДОДАТОК В

### Аналіз характеристик світлодіодних індикаторів

Світлодіоди DV19 – DV49, DV51 – DV55 smd 5730 були замовлені через інтернет-сайт, чітких технічних характеристик на них нема, тому їх характеристики підлягають перевірці та уточненню:

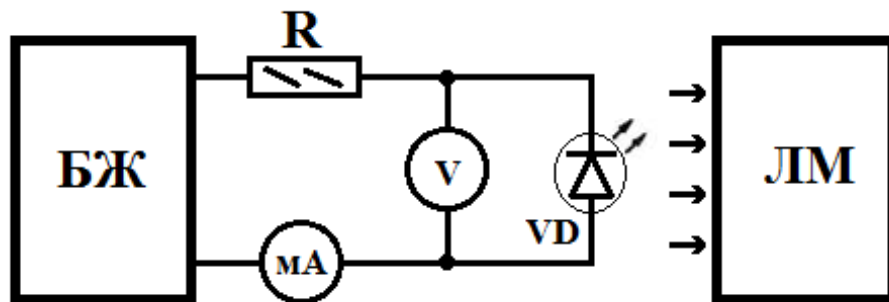
- 1) вольт-амперна характеристика світлодіода;
- 2) світлова характеристика світлодіода.

Під час експерименту використовувалось обладнання: регульоване джерело струму на напругу від 0 до 6 В, вольтметр до 10 В (Щ4313), міліамперметр до 50 мА, резистор на 220 Ом, світлодіод.

### Вольт-амперна характеристика (ВАХ) світлодіода

ВАХ світлодіода показує залежність прямого струму  $I_{\text{пр}}$  від напруги  $U$ , яка прикладена до електродів світлодіода  $U = f(I_{\text{пр}})$ .

Схему проведення експерименту подано на рис. 1. Дані під час проведення експерименту занесені до табл. 1 та побудовано експериментальний графік (рис. 2).



**Рис. 1.** Схема дослідження світлодіода: БЖ – блок живлення; R – резистор на 220 Ом, mA – міліамперметр; V – вольтметр; VD – світлодіод; ЛМ – люксометр

**Таблиця 1.** Експериментальні дані

$I_{\text{пр}}$ , мА	$U$ , В
0,002	2,42
0,05035	2,52
0,609	2,62



1,003	2,65
1,8045	2,7
2	2,78
4,02	2,87
6,17	2,95
7,62	2,99
8,18	3,01
9,22	3,04
10,485	3,08
12,295	3,13
14,235	3,18
16,125	3,215
18,05	3,25
20,6	3,31
22,7	3,35
23,4	3,36
25,1	3,39
29,8	3,45
35,1	3,51
40,15	3,56

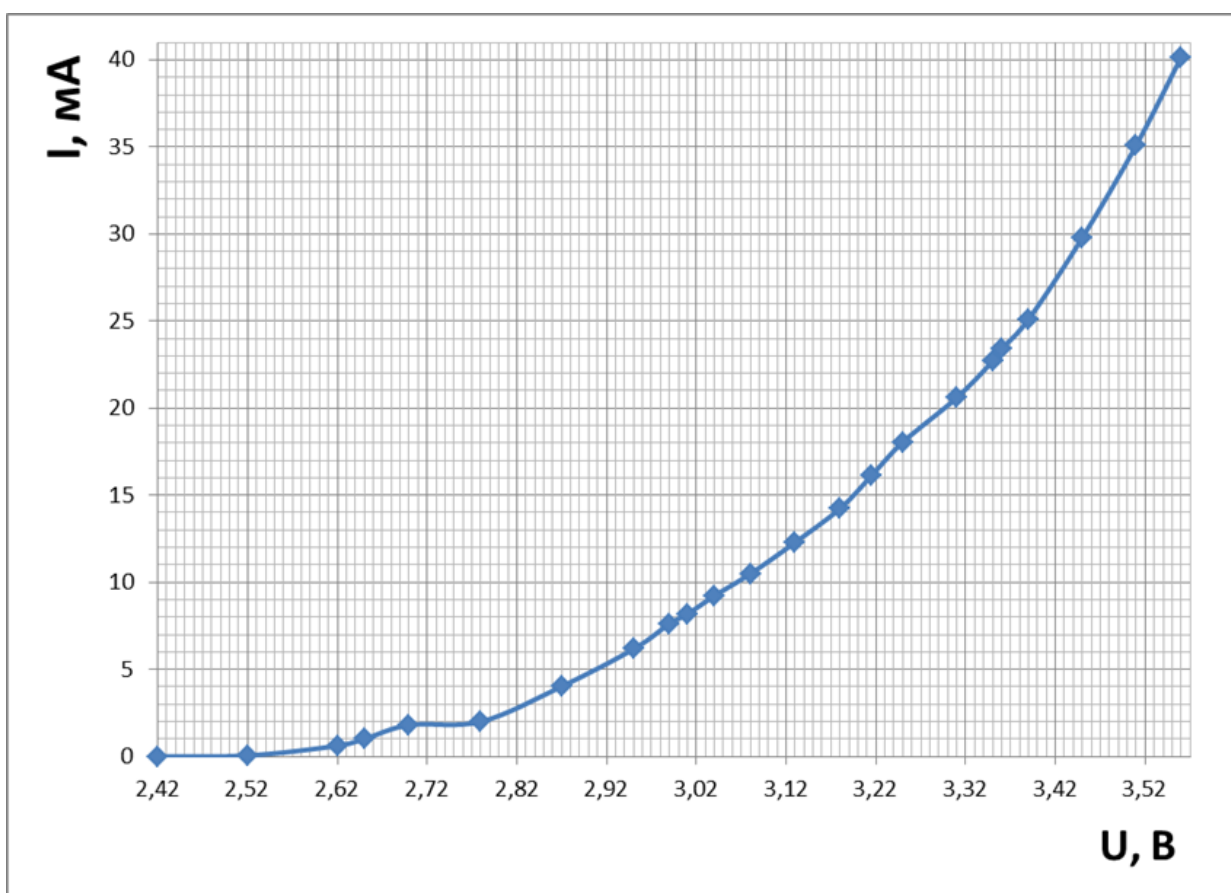


Рис. 2. Експериментальний графік ВАХ

## Світлова характеристика (СХ) світлодіода

СХ світлодіода показує залежність сили світла  $I_v$ , яке випромінюється світлодіодом, від прямого струму  $I_{пр}$ , що протікає через нього:  $I_v = f(I_{пр})$ , зазвичай близька до прямої. Схема проведення експерименту подана також на рис. 1. Дані під час проведення експерименту занесені в табл. 2. Та побудовано експериментальний графік (рис. 3). Спочатку згідно з люксометром визначається освітленість  $E$ , тоді за формулою 1-го закону освітленості - силу світла:

$$E = \frac{I_v}{r^2} \cos \gamma$$

де  $E$  – освітленість;  $I_v$  – сила світла падаючого на датчик під кутом  $\gamma = 90^\circ$ ;  
 $r$  – радіус датчика (0,11 м).

Таблиця 2. Експериментальні дані

$E$ , лк	$I_v$ , кд	$I$ , мА	$U$ , В
1	1,21	0,635	2,71
2	2,42	2,37	2,8
3	3,63	3,615	2,85
4	4,84	4,76	2,9
5	6,05	6,22	2,95
6,3	7,623	7,79	3
7,5	9,075	9,47	3,05
8,7	10,527	11,135	3,1
9,9	11,979	12,835	3,15
11,1	13,431	15,405	3,2
12,4	15,004	17,62	3,25
13,8	16,698	19,955	3,3
15,7	18,997	23,8	3,36
16,6	20,086	25,9	3,4
17,2	20,812	30	3,45
19,75	23,8975	33,8	3,5
21,3	25,773	38,7	3,55
23	27,83	44,3	3,6

24,3	29,403	49,6	3,64
25	30,25	52,4	3,675

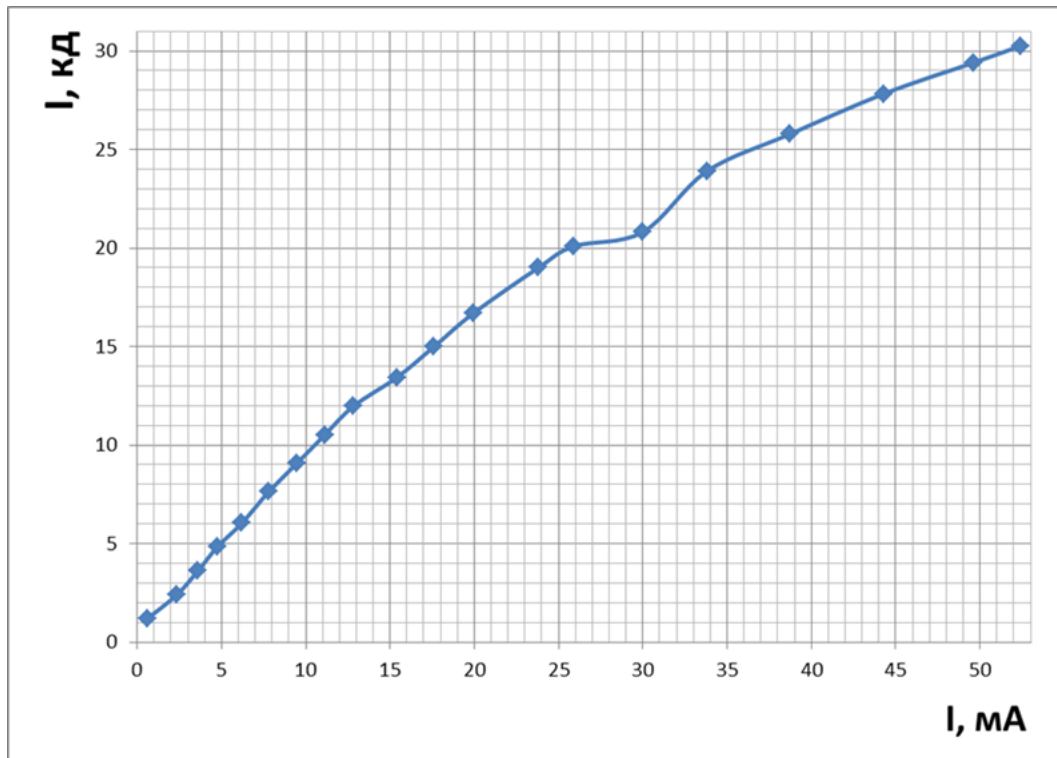


Рис. 3. Експериментальний графік СВ

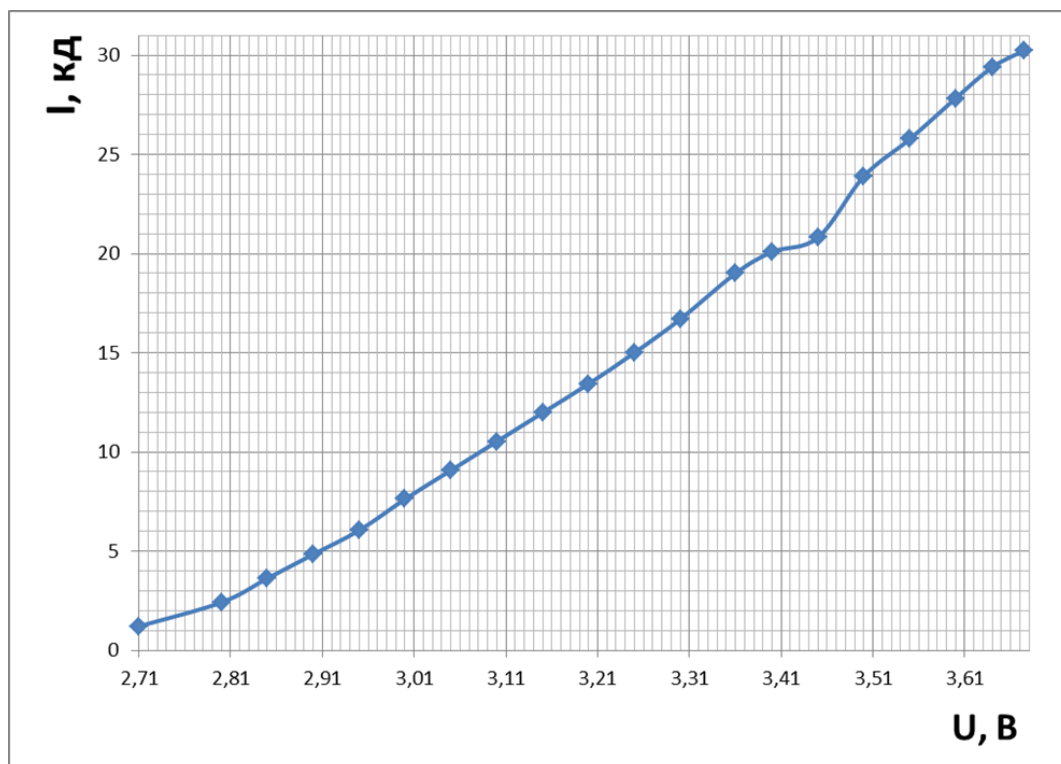


Рис. 4. Експериментальний графік залежності  $I_v = f(U)$