

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ ВІЙСЬКОВОЇ  
ПІДГОТОВКИ**

**КАФЕДРА ВІЙСЬКОВО - ТЕХНІЧНОЇ  
ПІДГОТОВКИ**

**2016 р.**

# **Дисципліна “Основи будови військових засобів вимірювань ”**

## **Заняття № 4 ІМПУЛЬСНІ ЕЛЕКТРОННІ ВОЛЬТМЕТРИ**

# **ЛІТЕРАТУРА:**

- 1. Измерения в электронике, энергоатомиздат, 1987.**
- 2. Федоров А.М., Циган Н.Я., Мичурин В.И., Метрологическое обеспечение электронных средств измерений электрических величин, довідкова книга, Електроатомиздат 1987.**
- 3. Конспект лекцій**

# **НАВЧАЛЬНА МЕТА:**

- 1. Вивчити особливості структурних схем імпульсних вольтметрів.**
- 2. Надати слухачам повірочну схему і методи їх перевірки.**

# **НАВЧАЛЬНІ ПИТАННЯ:**

- 1. Особливості структурної схеми імпульсних вольтметрів.**
- 2. Принцип дії імпульсних вольтметрів.**
- 3. Повірочна схема, еталони і засоби вимірювань для перевірки імпульсних вольтметрів.**
- 4. Методи перевірки цифрових вольтметрів.**

# *Питання для повторення попереднього матеріалу*

**1. Класифікація цифрових  
вольтметрів.**

Цифрові електронні вольтметри постійної напруги є одним із найрозповсюджених видів цифрових вимірювальних приладів.

**Основні метрологічні властивості визначаються способом аналого-цифрового перетворення.** Тому цифрові вольтметри і класифікують за способом аналогово-цифрового перетворення:

часове перетворення(з інтегруванням уверх і вниз);

частотне перетворення з інтегруванням;

перетворення на основі порозрядного зрівноваження.

# *Питання для повторення попереднього матеріалу*

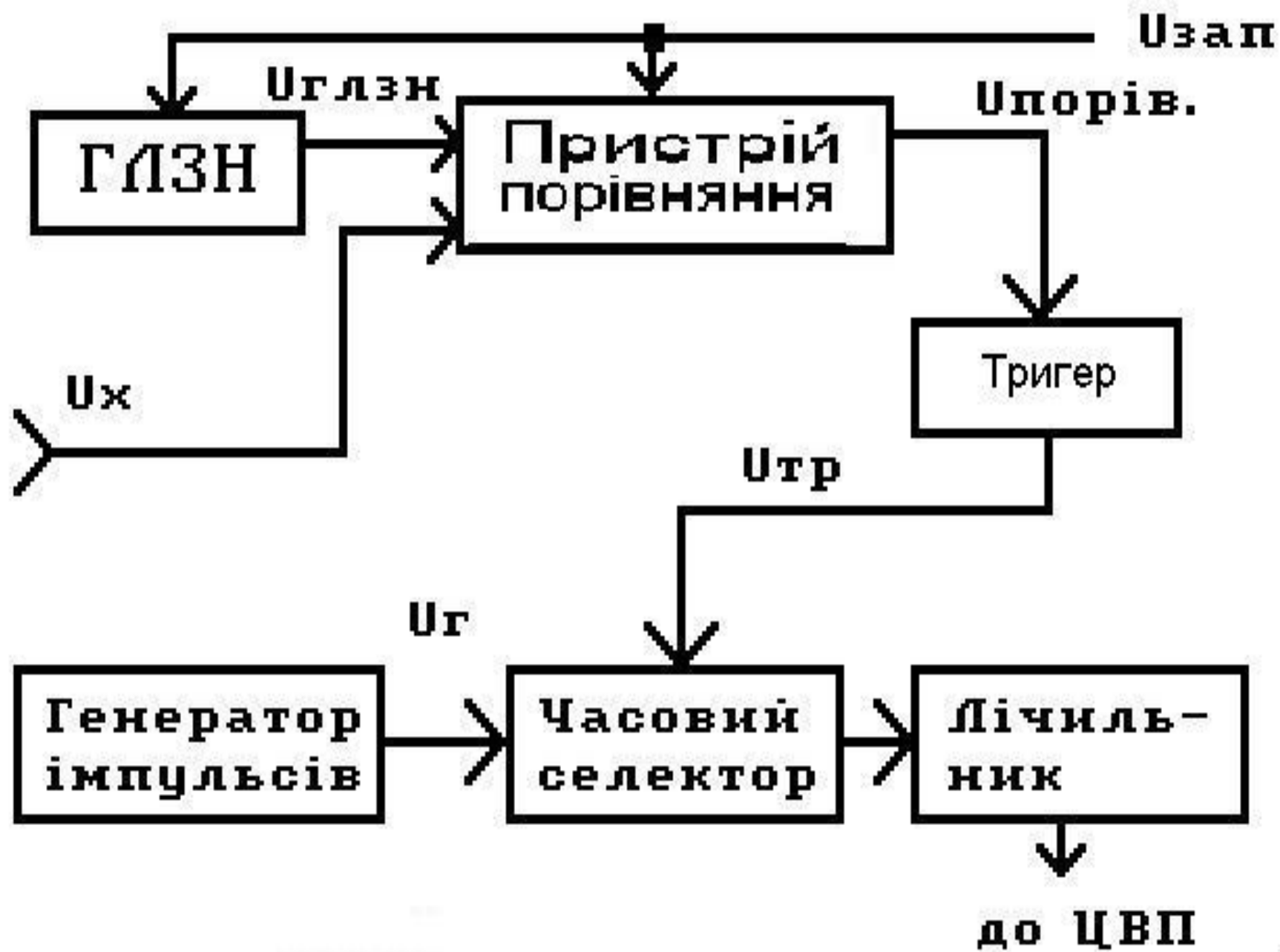
**2.** Дати коротку характеристику АЦП з часово-імпульсним перетворенням



В таких АЦП вхідна напруга  $U_x$  послідовно перетворюється в пропорційний їй часовий інтервал  $\Delta t_x$  - в цифровий код. Перетворення напруги в пропорційний часовий інтервал виконується або за допомогою допоміжної лінійно змінюваної напруги, або за допомогою інтегрування вимірюваної напруги.

Перетворення напруги  $U_x$  у часовий інтервал  $\Delta t_x$  виконується шляхом його порівняння з напругою  $U_{гзн}$ , яка періодично і лінійно змінює своє значення. Імпульс запуску  $U_{зап}$  приводить в дію ГЛЗН і одночасно перемикає тригер.

При рівності по значенню напруги  $U_{гзн}$  і  $U_x$  пристрій порівняння формує імпульс  $U_{порів}$ , який повертає тригер в початковий стан. На виході тригера утворюється імпульс тривалістю  $\Delta t_x = U_x / V$ , де  $V$  - швидкість змінювання напруги  $U_{гзн}$ .



## Питання 1.

**ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРНОЇ  
СХЕМИ ІМПУЛЬСНИХ ВОЛЬТМЕТРІВ.**

Під час вимірювання імпульсних напруг цікавляться, як правило піковим значенням, тому для цієї мети можуть застосовуватись пікові вольтметри, які побудовані на основі пікового детектора.

Імпульсні вольтметри, як правило, мають структурну схему наведену на рис.1.



Рис. 1 .

Але під час вимірювання імпульсів з великою шпаруватістю напруга на конденсаторі пікового детектора не встановлюється рівною піковому значенню, так як за час паузи конденсатор встигає розрядитись.

Основні параметри періодичної послідовності імпульсів :

Період слідкування ( повторення )  $T_i$

Частота слідкування ( повторення )  $F_i = 1/T_i$

Шпаруватість – визначається як відношення періоду повторення  $T_i$  до тривалості імпульсу  $\tau_i$

$$Q = \frac{T_i}{\tau_i} = \frac{1}{F_i \tau_i}$$

## Зворотна величина шпаруватості – коефіцієнт заповнення

$$K_3 = \frac{1}{Q} = \frac{\tau_i}{T_i} = F_i \tau_i$$

При малій шпаруватості імпульсів і застосуванні детектора з закритим входом виникає друга похибка, яка пов'язана з неврахуванням постійної складової. Оцінимо ці похибки.

Похибка, яка обумовлена неповним зарядом і значним розрядом конденсатора пікового детектора, може бути оцінена із наступних міркувань.

Будемо вважати, що напруга на конденсаторі  $U_c$  змінюється на протязі періоду незначно і її можна вважати постійною і рівною постійній складовій ( $U_c = \text{const}$ ) (рис.2)

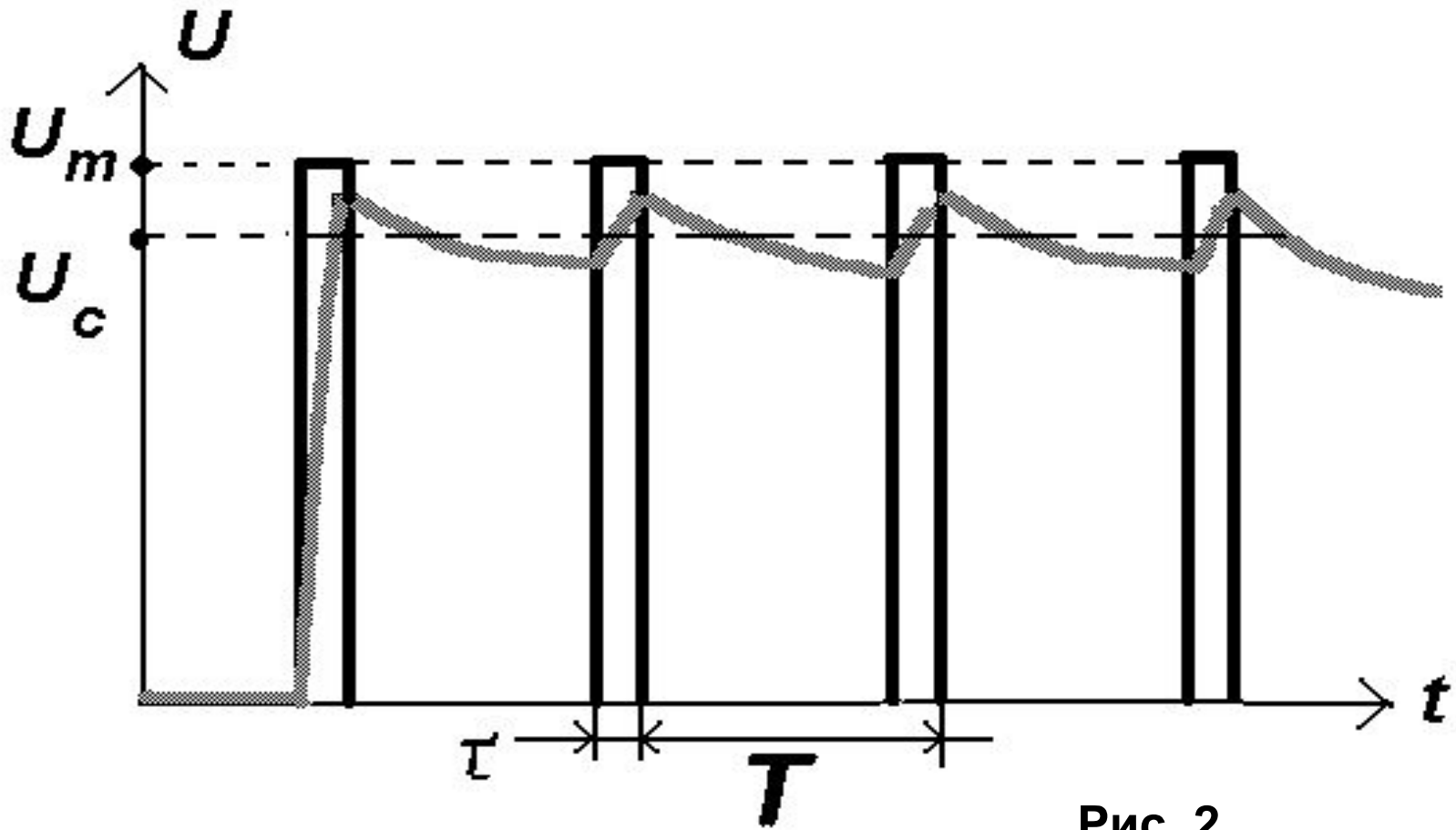


Рис. 2 .

В усталеному режимі заряд, який одержує конденсатор за час дії імпульсу  $\tau$  повинен бути рівним заряду, який втрачається за час паузи  $(T - \tau)$ .

Заряд, який одержує конденсатор

$$q_z = \int_0^T i_z(t) dt = \frac{Um - Uc}{R\omega} * \tau \quad (1)$$

який потім втрачається за час паузи

$$q_p = \int_0^T i_p(t) dt = \frac{Uc}{R} \cdot (T - \tau) \quad (2)$$



Порівнюючи заряди і враховуючи, що

$$R_d + R_i \ll R, (R_d + R_i) / R = T_3 / T_p, \quad (3)$$

а  $Q = T / \tau$ , маємо

$$U_c = \frac{U_m}{1 + \frac{T_3 \cdot Q}{T_p}} = \frac{U_m}{1 + (R_d + R_i) \cdot Q / R} \quad (4)$$

і систематична похибка

$$Y_Q = \frac{U_c - U_m}{U_m} = \frac{Q}{Q + \frac{R}{(R_d + R_i)}} \quad (5)$$

Похибка залежить як від параметрів детектора вольтметра, так і від параметрів імпульсів.

При  $R_i + R_d = 1 \text{ кОм}$ ,  $R = 1 \text{ МОм}$  при шпаруватості  $Q = 100$ , похибка  $Y$  має 1%.

При більших шпаруватостях  $Q$  похибка буде підвищуватись. На практиці мають справу з шпаруватостями до  $10^3..10^9$ .

Оцінимо похибку вимірювання пікового значення напруги послідовності імпульсів вольтметром з закритим входом, яка пов'язана з неврахуванням постійної складової.

Нехай  $U_0$  - постійна складова імпульсної напруги

$$U_0 = U_m / Q. \quad (6)$$

На навантаженні детектора з закритим входом вона не буде присутня. Тобто, постійна складова на навантаженні буде менша дійсної, відповідної піковому значенню напруги, на величину  $U_o$ .

Тоді систематична похибка

$$Y_{U_o} = \frac{U_{m\text{ввн}} - U_m}{U_m} = \frac{U_m - U_o - U_m}{U_m} = -\frac{U_o}{U_m} = -\frac{1}{Q} \quad (7)$$

Ця похибка з'являється лише під час вимірювання імпульсних послідовностей з малою шпаруватістю.

Обмеження пікових детекторів вимагає шукати технічні рішення, які ліквідують відмічені недоліки.

# Питання 2

**ПРИНЦИП ДІЇ ІМПУЛЬСНИХ  
ВОЛЬТМЕТРІВ**

## 2.1. ПІКОВИЙ ДЕТЕКТОР ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ.

У цьому вольтметрі зменшується похибка, яка пов'язана з шпаруватістю послідовності імпульсів (рис.3. )

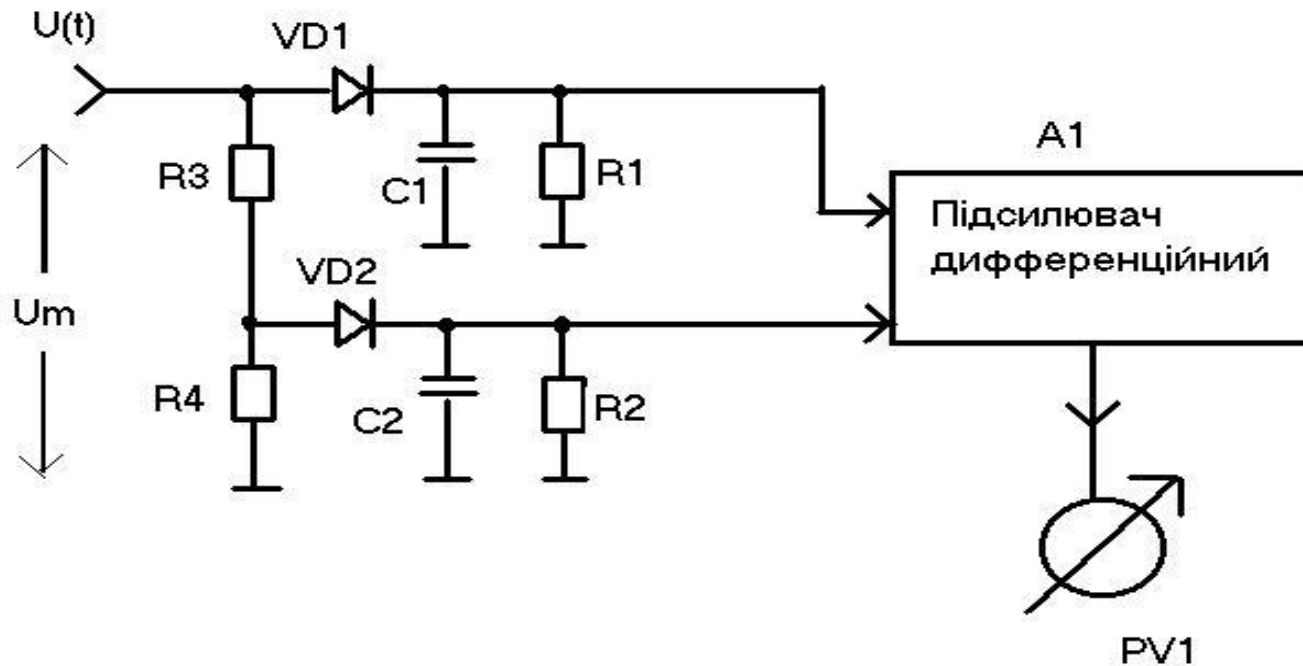


Рис. 3 .

Вимірювана напруга подається на подільник R3, R4, а з нього на два пікових детектори, які утворюють два канали вимірювання. На канал I (VD1,C1,R1) подається повна напруга, на канал II ( VD2,C2,R2 ) - зменшена в n разів. На конденсаторах C1 і C2 виділяється постійна напруга  $U_{C1}$  і  $U_{C2}$  :

$$U_{C1} \approx U_m , U_{C2} \approx U_m / n \quad (8)$$

За час паузи конденсатори C1 і C2 розряджаються через R1 і R2 відповідно.

Опір резистора R2 вибирається в n раз меншим R1. Якщо конденсатори C1 і C2 мають однакові ємності, постійна часу розряду в каналі I ( $T_1 = C1 R1$ ), буде більша постійної часу розряду в каналі II ( $T_2 = C2 R2$ ).

На початковій ділянці експоненти швидкості зменшення напруги на конденсаторах C1 і C2 будуть однаковими.

Різниця між напругою на конденсаторах майже постійна в часі і пропорційна піковому значенню  $U_m$ .

Для одержання різниці напруги  $U_{C1}$  і  $U_{C2}$  їх подають на два входи диференційного підсилювача А1.

Різниця напруги буде рівна

$$\Delta U = U_m ( n - 1 ) / n \quad (9)$$

і не буде залежати від шпаруватості. Практично приймають  $n = 2..3$ . Точність вимірювання підвищується в 2 - 3 рази. Двоканальний метод може покращувати характеристики і інших перетворювачів, побудованих на заряді-розряді конденсатора.

## 2.2. КОМПЕНСАЦІЙНІ ІМПУЛЬСНІ ВОЛЬТМЕТРИ.

Для вимірювання імпульсної напруги, включаючи мікро і наносекундні тривалості, широко застосовують компенсаційні вольтметри.

Принцип дії компенсаційного імпульсного вольтметра полягає в тому, що на деякому пристрої, (дискримінаторі), здійснюється порівняння пікового значення імпульсу  $U_m$  з постійною напругою компенсації  $U_K$ , яка регулюється до досягнення рівності  $U_m \approx U_K$  і є мірою пікового значення. Регулювання здійснюється вручну (режим повної компенсації, астатична характеристика зрівноважування) або автоматично (режим неповної компенсації, статична характеристика системи врівноваження).



Найпростіша схема компенсаційного імпульсного вольтметра (рис.4) складається з діода  $VD1$  (дискримінатора) з навантаженням  $R1$ , імпульсного підсилювача  $A1$ , граничного індикатора  $HL1$  з неонову лампою, джерела напруги, що компенсує  $GB1$  і вольтметра постійної напруги  $PV1$

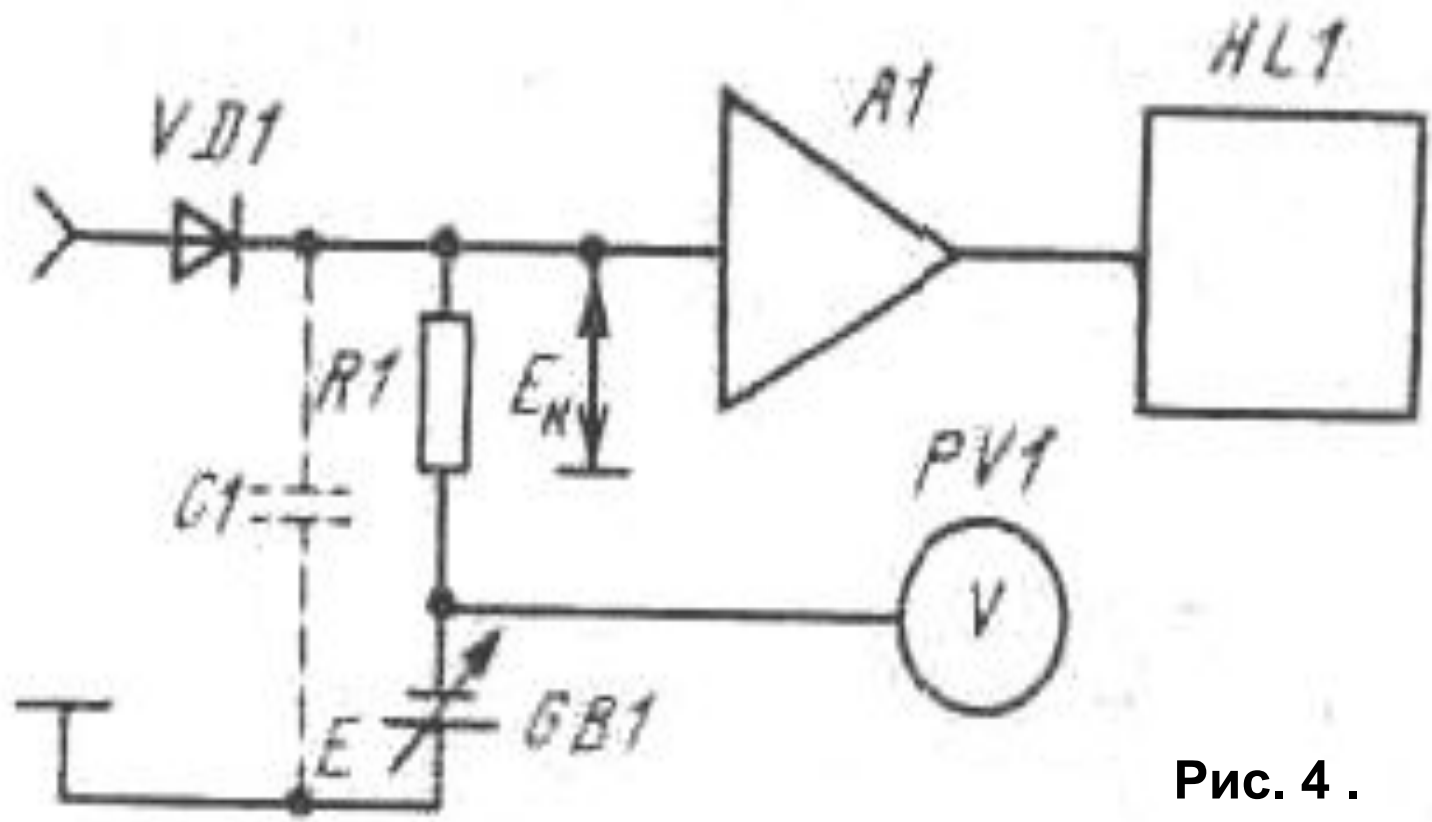


Рис. 4 .

Індикатор **HL1** може знаходитися в двох стійких станах і характеризується рівнем напруги  $U_{\text{пор}}$ , що відповідає переходу з одного стану в інший. При відсутності імпульсної напруги на вході, при напрузі компенсації, рівній нулю, встановлюється один зі станів індикатора, наприклад **0**.

При впливі вхідного сигналу на навантаженні з'являються імпульси і індикатор переходить у стан **1**. Це відбувається в момент рівності напруги  $E$  батареї **GB1** піковому значенню  $U_{mX}$ . За умови  $R_d \ll R_1$  на резисторі **R1** буде діяти напруга через неповну компенсацію:

$$\Delta U_R = U_{mX} - E$$

Це - напруга абсолютної похибки вимірювання.

Умова переходу індикатора в інший стійкий стан:

$$K \cdot \Delta U_R \leq U_{\text{пор}} \quad (10)$$

де  $K$  — коефіцієнт передачі підсилювача.

На практиці похибку не вдається зменшити тільки шляхом збільшення коефіцієнта передачі підсилювача чи чутливості індикатора. Це зв'язано з тим, що робоча точка на вольт-амперній характеристиці переходить в експонентну область.

Недоліком схеми є пряме проходження імпульсу на вхід імпульсного підсилювача через прохідну ємність діода  $C_d$ . Зменшити вплив прохідної ємності можна, якщо підключити паралельно навантаженню  $R$  діода конденсатор  $C_1$ , що разом з  $C_d$  створить для прямого сигналу подільник.

Компенсуючий вольтметр (рис. 4) вимагає регулювань, прилад **PV1** не є прямопоказуючим. Цього недоліку позбавлені **автокомпенсаційні вольтметри**.

На рис. 5 зображена спрощена структурна схема одного з двох каналів (канал позитивних імпульсів) автокомпенсаційного вольтметра, що дозволяє вимірювати амплітуду відео - і радіоімпульсів, а також синусоїдальних коливань.

Ця схема покладена в основу серійного імпульсного мілівольтметра **B4-14**.

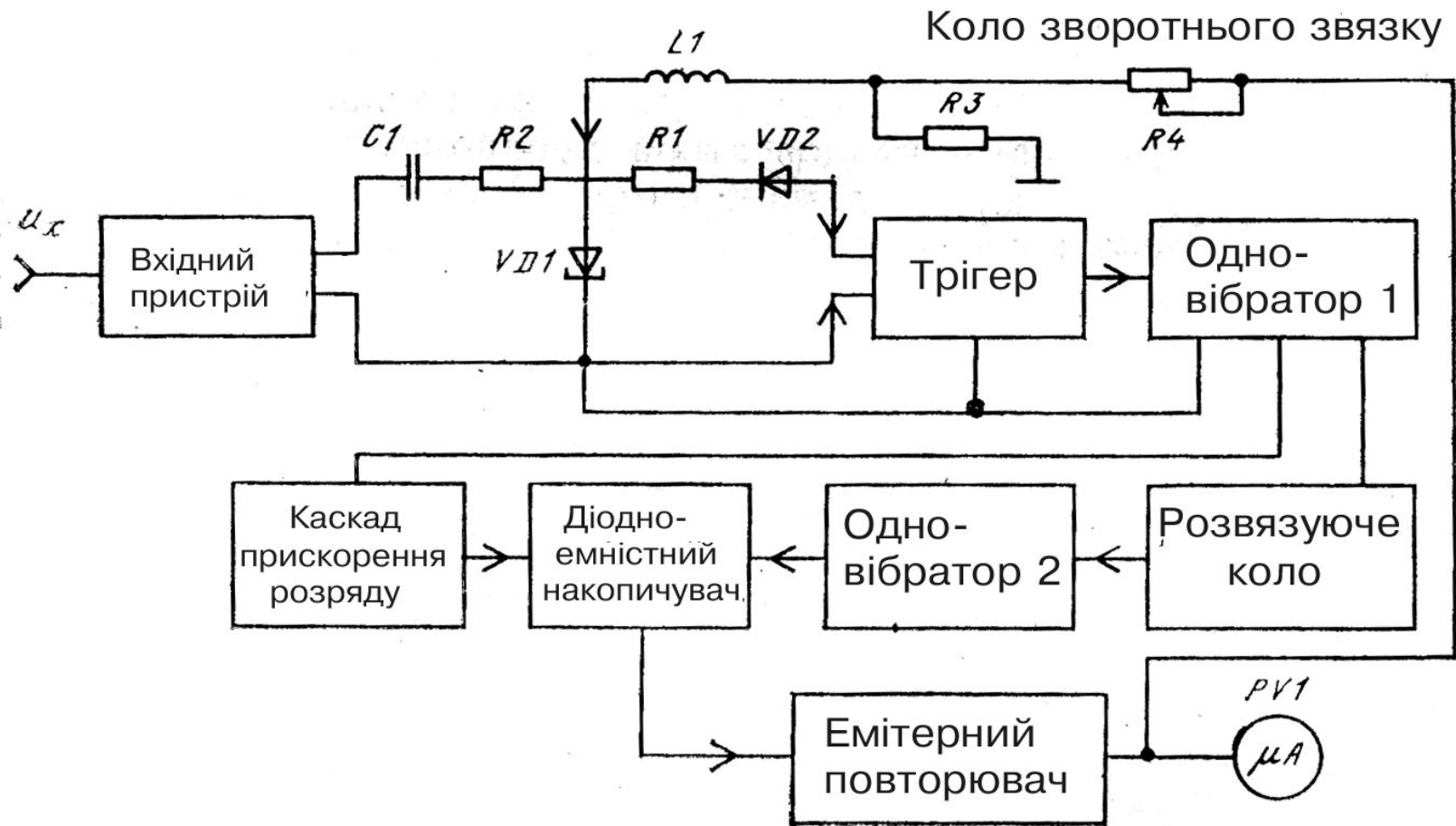


Рис. 5 .

Амплітуда вимірюваного сигналу порівнюється з напругою постійного струму замкнутої системи імпульсного авторегулювання.

Як елемент, на якому здійснюється порівняння, застосований дискримінатор на тунельному діоді *VD1*.

Вимірюваний сигнал надходить на вхідний каскад, виконаний на високочастотному транзисторі за схемою з загальним емітером і негативним зворотним зв'язком по струму, що забезпечує високий вхідний опір і необхідну розв'язку від входу.

Далі сигнал надходить на дискримінатор на тунельному діоді *VD1*, який за допомогою резисторів *R3*, *R4*, що змінюють струм від джерел, виставлений на грань спрацьовування.

Вимірюваний сигнал надходить на вхідний каскад далі сигнал надходить на дискримінатор на тунельному діоді  $VD1$ , який за допомогою резисторів  $R3$ ,  $R4$ , що змінюють струм.

Дискримінатор спрацьовує і запускає зібраний на тунельному діоді тригер, який формує імпульси, незалежні від амплітуди і тривалості імпульсів дискримінатора і забезпечує запуск наступного за ним одновібратора 1 і одновібратора 2.

Відбувається підзаряд ємності діод-ємнісного накопичувача, у результаті чого на навантаженні повторювача на виході діод-ємнісного накопичувача з'являється деяка напруга, що викликає через опір зворотного зв'язку струм, який збільшує поріг спрацьовування дискримінатора.

Процеси в схемі повторюються при надходженні на вхід приладу кожного чергового з послідовності вимірюваних імпульсів доти, поки до приходу чергового імпульсу струм у ланцюзі зворотного зв'язку не зростає настільки, що поріг дискримінатора трохи перевищить амплітуду імпульсів.

Після закінчення чергового імпульсу конденсатор діодно-ємнісного накопичувача повільно розряджається доти, поки якийсь імпульс знову не викликає спрацьовування дискримінатора.

У схемі встановлюється режим, при якому струм у ланцюзі зворотного зв'язку повільно пульсує з деякою власною частотою біля значення, рівного амплітуді струму, що створюється вимірюваним сигналом у вхідному ланцюзі дискримінатора.

Напруга з навантаження емітерного повторювача, пропорційна струму, що компенсує, подається на магнітоелектричний прилад *PV1*, шкала якого тарована в амплітудних значеннях вимірюваного сигналу.



Мілівольтметр, побудований за цією схемою,  
дозволяє вимірювати :

амплітуди відеоімпулсів, радіоімпулсів і  
синусоїдальних коливань у межах від 10 мВ до 100 В

тривалості вимірюваних відеоімпулсів 3 нс ... 100 мкс,  
радіоімпулсів — 200 нс ... 100 мкс;

частоти проходження — 25 Гц...300 кГц,  
несучої частоти — 1 ... 100 МГц.

Похибка вимірювань у межах 4...25%. Шкали  
імпульсних вольтметрів тарують по еталонам у  
пікових значеннях імпульсної напруги.

## 2.3. ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДИ ОДИНОЧНИХ ТА ІМПУЛЬСІВ, ЩО РІДКО ПОВТОРЮЮТЬСЯ

Вимірювання амплітуди періодичних послідовностей імпульсів полегшується тим, що є можливість накопичувати інформацію про напругу імпульсу при багаторазовому впливі сигналу на вимірювальну систему.

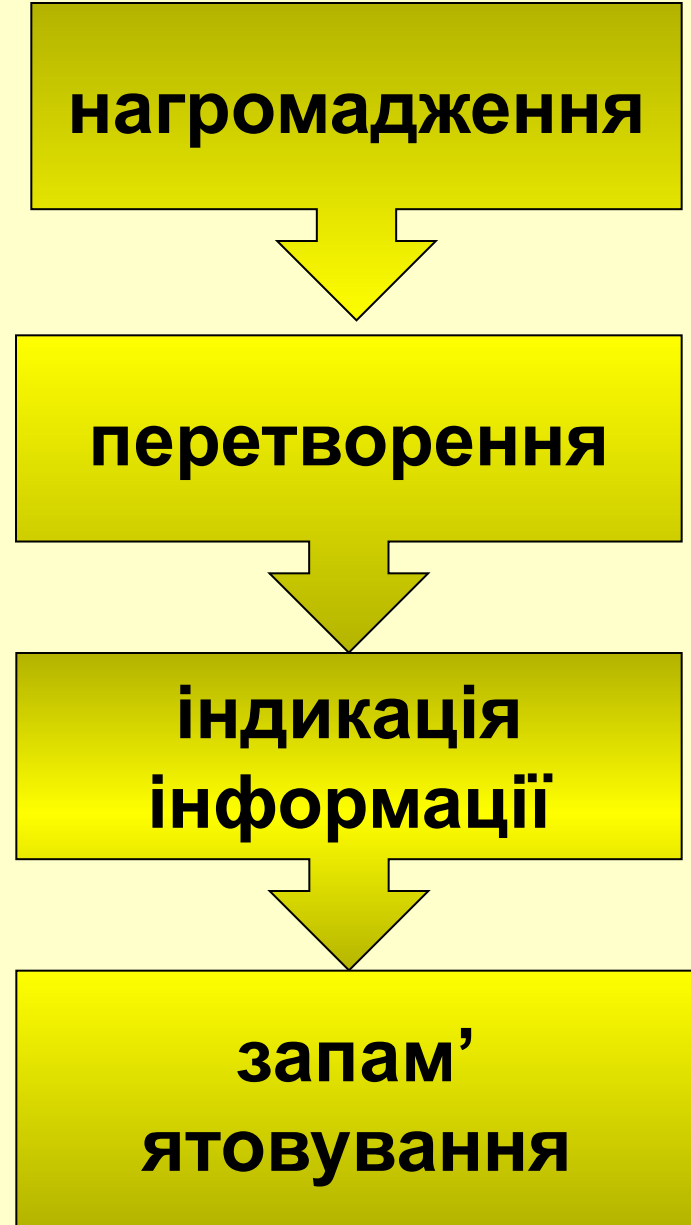
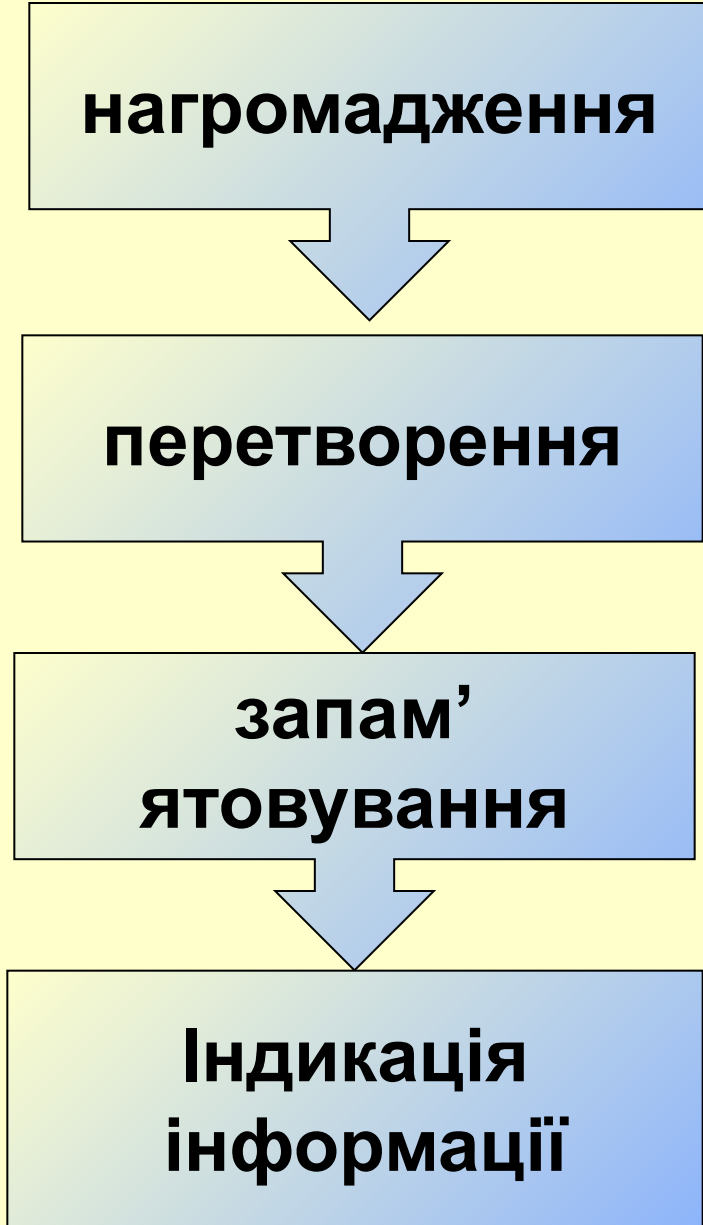
Втрата інформації про сигнал в інтервалі між імпульсами мала. Елемент перетворення протягом часу дії кожного з імпульсів періодичної послідовності заповнює ці втрати.

У зв'язку з цим при вимірюванні періодичних сигналів неважко забезпечити незалежність результатів вимірювання від енергії в імпульсі.

**Більш складною задачею є вимірювання амплітуди одиночних імпульсів у мікросекундному і наносекундному діапазонах тривалостей.**

**В області малих амплітуд і тривалостей істотного значення набувають нелінійні і інерційні властивості елементів схеми, що утрудняють перетворення інформації про амплітуду одиночного сигналу.**

# Варіанти побудови логічної схеми приладу



**Перший шлях підходить для аналогових приладів зі стрілочною індикацією, другий - для цифрових приладів.**

**Вимірювання радіоімпульсів проводять, як правило, шляхом перетворення радіоімпульсів у відеоімпульс.**

**Застосовуються три основних методи вимірювання амплітуди одиночних і рідко повторюваних імпульсів:**

**метод, заснований на перетворенні імпульсної амплітуди в квазіпостійну на заданому інтервалі часу (метод розширення імпульсів);**

**метод амплітудно-часового перетворення;  
інтегральний метод.**

# Методи вимірювання амплітуди одиночних і рідко повторюваних відеоімпульсів.

метод, заснований на перетворенні імпульсної амплітуди в квазіпостійну на заданому інтервалі часу (метод розширення імпульсів);

метод амплітудно-часового перетворення;

інтегральний метод.

# Питання 3

ПОВІРОЧНА СХЕМА, ЕТАЛОНИ І ЗАСОБИ  
ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ПОВІРКИ  
ВОЛЬТМЕТРІВ.

МЕТОДИ ПОВІРКИ ЦИФРОВИХ  
ВОЛЬТМЕТРІВ.

**Основна відмінність цифрових приладів від аналогових в наявності квантування виміряної напруги за рівнем, що обумовлює методичну складову похибки ЦВ і АЦП - похибку квантування (дискретності).**

**Похибка квантування нормується, але не повіряється, так як вона відома, не змінюється в часі і має одне і те ж крайнє значення у всіх приладах одного типу.**

**Похибка квантування - випадкова величина, закон розподілу якої можна розглядати як рівномірний у визначених границях. Ці границі визначаються тільки схемою ЦВ ( АЦП) і рівнем  $\pm 0,5 q$  (  $q$  - ступінь квантування).**



Для вирішення практичних задач, пов'язаних з повіркою ЦВ, визначають інструментальну похибку яка приведена до входу, і яка в повіряємій точці є різницею дійсного значення вхідної напруги, яка відповідна границі між двома сусідніми значеннями вихідного сигналу і номінальним значенням цієї напруги. Визначення похибки ЦВ, приведеної до виходу, виконують для ЦВ, які мають похибку, суттєво більшу ступені квантування.

У ЦВ нормують одну із нижче зазначених метрологічних характеристик:

границі допустимих значень основних похибок  $\Delta_d$  і розмір  $q$  ступеня квантування вимірюваної величини по рівню;

границі допустимих значень систематичної  $\Delta_{\text{сд}}$  і випадкової  $\sigma_{\text{д}}$  складової основної похибки; розмір  $q$  ступеня квантування;

границі допустимих значень основної похибки і її складових  $\Delta_{\text{сд}}$ ,  $\sigma_{\text{д}}$ ; розмір  $q$  ступені квантування; варіацію.

Границі основної похибки і її складових (систематичних і випадкових) нормуються у вигляді значень абсолютних, відносних або приведених похибок.

Випадкова складова похибки нормується у вигляді границь і  $\sigma_{\text{д}}$  допускаємих значень середнього квадратичного відхилення.

Помітну випадкову складову мають, як правило, ЦВ високої чутливості (1мкВ і менше).

Зараз у більшості ЦВ нормуються, як правило, границя допустимої відносної похибки, %, яка встановлюється :

$$Y = \pm ( a + b A_K / A_X ) \quad (14)$$

або у відповідності з ГОСТ 8.401 - 80

$$Y = \pm [ c + b ( |A_K / A_X | - 1 ) ], \quad (15)$$

(13)

де  $a, b$  і  $c = a + b$  - позитивні числа;

$A_K$  - найбільше значення діапазону вимірювання;

$A_X$  - значення вимірюємої величини на вході (виході) або число поділок, відрахованих по шкалі (цифровому табло).

**Методика встановлення вимог до точності зразкових засобів вимірювання, які застосовуються при повірці ЦВ і АЦП, визначається у відповідності з ГОСТ 8.009 - 72, виходячи із заданої допустимої імовірності браку повірки.**

**Такий підхід дозволяє знижувати (в розумних границях) вимоги до точності зразкових засобів вимірювання за рахунок введення двохдопускового контролю похибки.**

**Питання повірки ЦВ менш точними зразковими засобами актуальний, так як точність сучасних ЦВ наближується до точності зразкових приладів.**

Під час повірки на постійному струмі застосовують потенціометри Р345, Р363, калібратор постійної напруги і струму В1-7, В1-12, В1-13, В1-18, Ф7046, П320, П327, установки для повірки вольтметрів В1-4, В1-8, зразкові електровимірювальні прилади і ЦВ більш високої точності і чутливості, яка повинна бути на порядок вища, чим у повіряемого ЦВ (В7-28, Щ48000 і інші).

Під час повірки на змінному струмі застосовують В1-4, В1-8, калібратори змінної напруги В1-9 (з блоком підсилення напруги Я1В-20, Я1В-22), В1-15, В1-16, ГК -10, ГК-11, ГК-14, електровимірювальні прилади С53, С55, С565, Ф5653, вольтметри ВД-1, В3-49, Р386, В7-16, перетворювачі змінної напруги в постійну В9-10, В9-8, Ф7290. Під час повірки на змінному струмі методом компарування застосовують потенціометри Р345, Р363, і комплект термоперетворювачів ПНТЭ-64, ПТТЭ. В якості джерел змінної напруги застосовують різні генератори, наприклад, Г3-107, Г3-102, Г3-109.



УСТАНОВКА В14 ДЛЯ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ



55 400 1000



ЧАСТОТА Н<sub>г</sub>

СЕТЬ



РЕГ. ВЫХ. НАПРЯЖЕНИЯ



ВНЕШНИЙ ПРИБОР

5% 10%

ИЗМЕРЕНИЕ

~ + -



УСТ. НУЛЯ U~



ПОВЕРЯЕМЫЕ ОТМЕТКИ ШКАЛ



НАЛИБРОВКА

U<sub>m</sub> 0 U 0 U<sub>ср</sub>



КОНТРОЛЬ

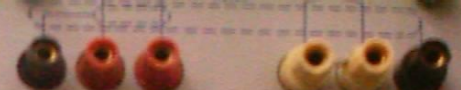


ДЕЛИТЕЛЕЙ



№8691 1978





СВЕЯНО В СССР

УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ВОЛЬТМЕТРОВ В1-4



РЕЖИМ РАБОТЫ

ПОТРЕБНОСТЬ ПРОВЕРЯЕМОГО ПРИБОРА

СЕТЬ



ЗКА



ПРОВЕРЯЕМЫЕ ОТМЕТКИ ШКАЛ



мВ V  
x10 x100 x1 x10 x100



МНОЖИТЕЛИ

УСТАНОВКА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

ГРУБО



ТОЧНО



ВЫХОД



min 4 мВ max 3 мВ



ВНЕШНИЙ ПРИБОР



*ПИТАННЯ ?*