

## Лекція 6 ЕЛЕКТРОННІ ВОЛЬТМЕТРИ (продовження)

### 6.1 Електронні вольтметри середньовипрямлених значень

Вольтметри середньовипрямлених значень будуються за схемою «підсилювач-перетворювач». На рис 6.1 наведені спрощена структурна схема таких вольтметрів (рис. 6.1, а), а також схеми основних блоків: перетворювача напруги змінного струму у напругу постійного струму та перемикача межі вимірювань.

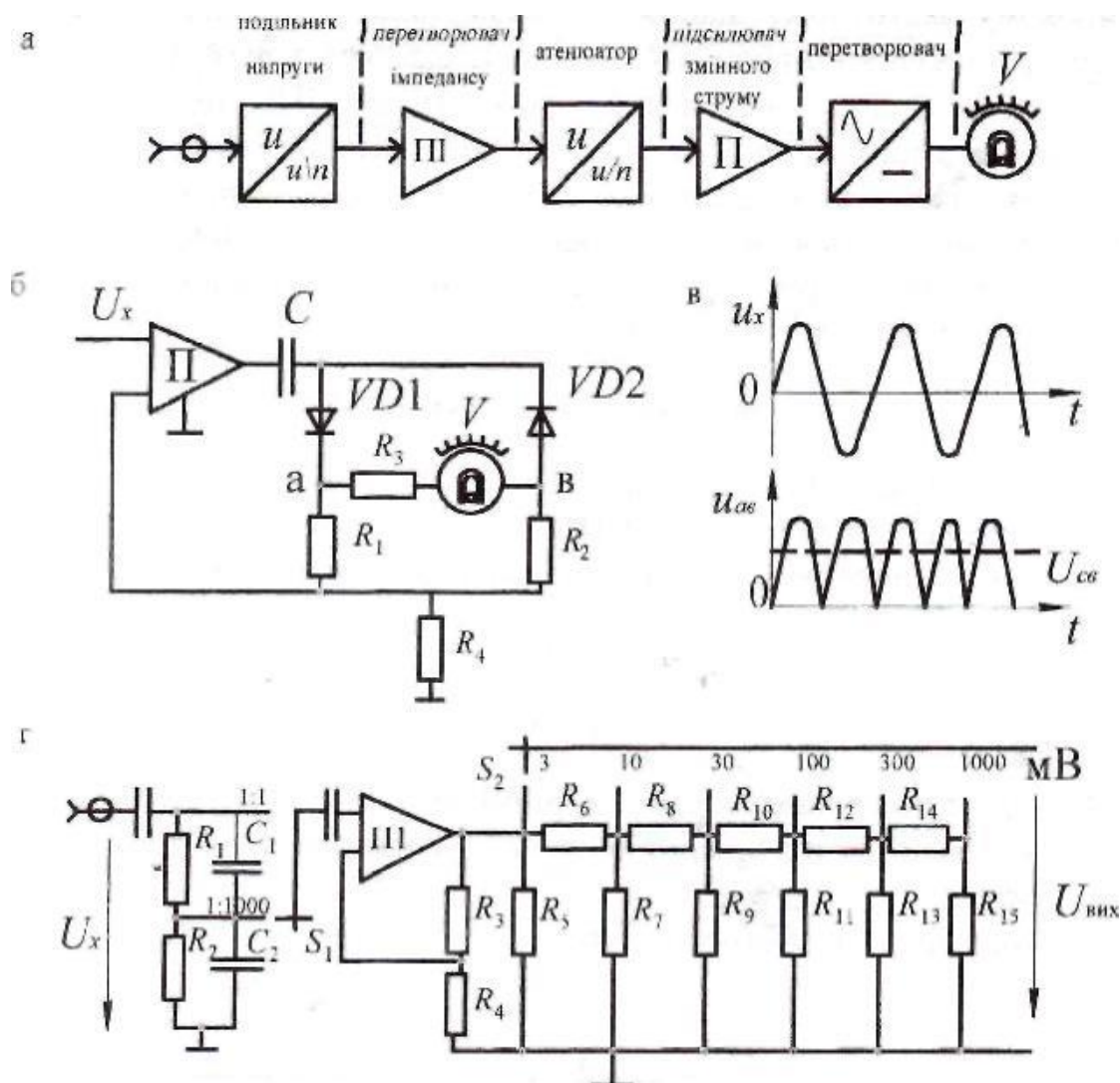


Рисунок 6.1 – Схеми вольтметрів середньовипрямлених значень

Перетворювач (рис. 6.1, б) являє собою двопівперіодну схему випрямлення, охоплену глибоким від’ємним зворотним зв’язком. Напруга зворотного зв’язку знімається з резистора  $R_4$  і подається на вхід підсилювача П. Завдяки зворотному зв’язку виключається вплив діодів на коефіцієнт перетворення перетворювача. Крім того, покращуються характеристики підсилювача,

зменшується нестабільність та нелінійність його амплітудної характеристики. У діагональ діодного мосту включається магнітоелектричний прилад, який реагує на середньовипрямлене значення напруги  $U_{св}$  (рис. 6.2, в). Проте, шкалу приладу градуують не в середньовипрямлених значеннях, а в діючих значеннях напруги синусоїдної форми, тобто на шкалі наносять позначки, що відповідають середньовипрямленому значенню напруги, помноженому на коефіцієнт форми синусоїди  $1,11U_{св}$ . Тому при вимірюванні несинусоїдної напруги показання вольтметра не відповідають її діючому значенню. Залежність показань від форми кривої напруги є істотним недоліком вольтметрів середньовипрямлених значень.

На рис. 6.1, г показана одна з можливих схем перемикача меж вимірювань. Він складається з вхідного компенсованого по частоті подільника напруги та атенюатора. Вхідний подільник напруги  $R_1C_1-R_2C_2$  вводиться в роботу перемикачем  $S_1$  на межах вимірювань від 3 В до 300 В і здійснює ослаблення сигналу в 1000 разів. Атенюатор разом із перемикачем  $S_2$  створює межі вимірювань 3; 10; 30; 100; 300; 1000 мВ. Перетворювач імпедансу ПІ призначається для створення високого вхідного опору приладу і є підсилювачем з безпосереднім зв'язком. Високий вхідний опір забезпечується глибоким негативним зворотним зв'язком (резистор  $R_4$ ). Вольтметри ВЗ-38, ВЗ-39 забезпечують вимірювання діючих значень синусоїдної напруги в діапазоні частот 20 Гц...10 МГц. Межа основної допустимої похибки становить 2,5 % на піддіапазонах 3...1000 мВ і 4 % на інших піддіапазонах. Вхідний опір приладів – 4...5 МОм.

## 6.2 Електронні вольтметри діючих значень

Вольтметри діючих значень будуються за схемою «підсилювач-перетворювач» і призначені для вимірювання діючих значень напруги довільної форми. Перетворювачі напруги змінного струму в напругу постійного струму таких вольтметрів повинні мати квадратичну характеристику. У вимірювальній техніці використовується кілька видів таких перетворювачів.

У вольтметрах ВЗ-40, ВЗ-42, ВЗ-48 та деяких інших використовуються компенсаційні схеми вмикання термоперетворювачів, які забезпечують лінійність функції перетворення та працездатність в широкому частотному діапазоні. Схема такого лінійного перетворювача показана на рис. 6.2. Вона складається з двох термоперетворювачів та підсилювача постійного струму ППС, побудованого за схемою «модулятор-демодулятор». Нагрівач термоперетворювача  $T_1$  вмикається на вхід широкосмугового підсилювача (ШП), а нагрівач термоперетворювача  $T_2$  – на вихід ППС через подільник зворотного зв'язку. Термопари вмикаються назустріч одна одній, тому напруга на виході підсилювача

$$U_3 = K_y(E_1 - E_2), \quad (6.1)$$

де  $E_1$  і  $E_2$  – термо-ЕРС термопар;  $K_y$  – коефіцієнт підсилення ППС.

Кожний перетворювач має квадратичну характеристику

$$E_1 = K_T (K_u U_x)^2,$$

$$E_2 = K_T (\beta U_3)^2,$$

де  $K_T$  – коефіцієнт перетворення термопар;

$K_u$  – коефіцієнт підсилення широкосмугового підсилювача і вхідного кола;

$\beta$  – коефіцієнт зворотного зв'язку.

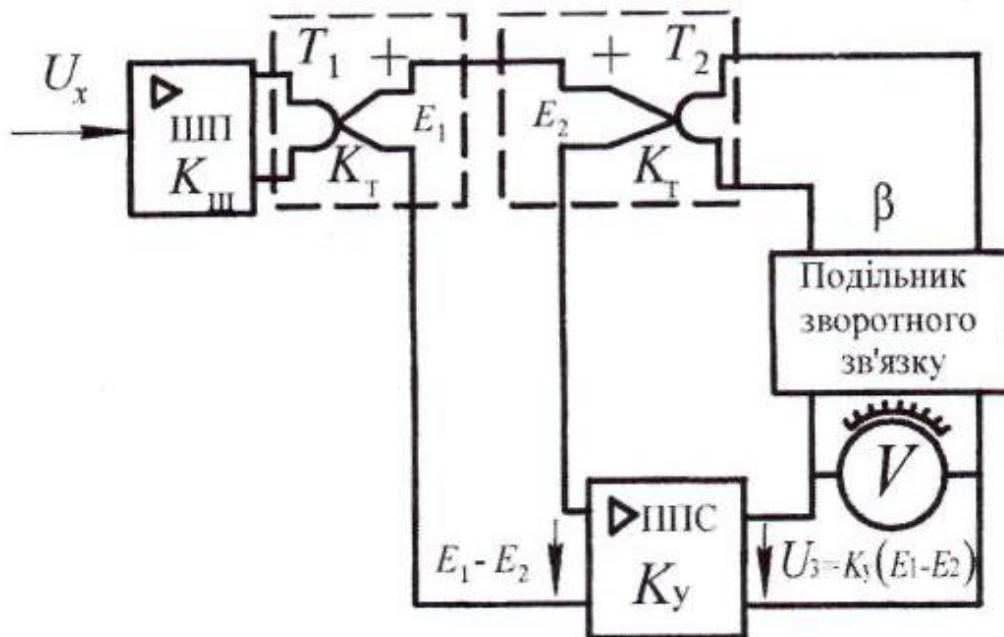


Рисунок 6.2 – Компенсаційна схема вмикання термоперетворювачів

Підставляючи значення  $E_1$  і  $E_2$  в рівняння (6.1), дістанемо

$$K_y K_T K_u^2 U_x^2 - K_y K_T \beta^2 U_3^2 = U_3,$$

або

$$K_y K_T K_u^2 U_x^2 = K_y K_T \beta^2 U_3^2 + U_3.$$

Якщо коефіцієнт підсилення ППС  $K_y$  вибрати великим (500 і більше), то значенням  $U_3$  в правій частині останнього рівняння можна знехтувати порівняно з першою складовою. Тоді

$$U_3 = \frac{K_u}{\beta} U_x,$$

тобто рівняння перетворення лінійне. Це означає, що шкала вольтметра рівномірна.

### 6.3 Універсальні електронні вольтметри

Універсальні вольтметри призначені для вимірювання напруг постійного і змінного струму. На рис. 6.3 наведена спрощена схема такого вольтметра. При вимірюванні напруги постійного струму універсальний вольтметр працює як звичайний вольтметр постійного струму, а при вимірюванні напруги змінного струму – як вольтметр максимальних значень. Напряга постійного струму подається безпосередньо на підсилювач постійного струму, а напруга змінного струму – на цей підсилювач через амплітудний детектор.

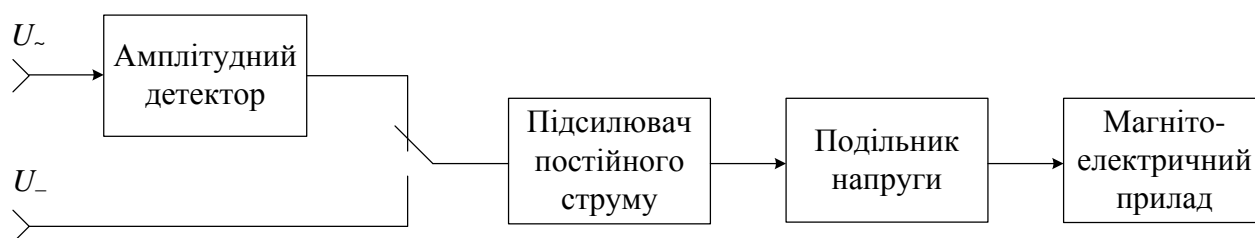


Рисунок 6.3 – Спрощена структурна схема універсального електронного вольтметра

Сьогодні експлуатуються вольтметри типів В7-29, В7-30, В7-36, В7-42. При наявності зовнішніх подільників напруги ці універсальні вольтметри дозволяють вимірювати напруги постійного та змінного струму від 0,3 В до 1000 В в діапазоні частот до 700...1000 МГц. Основна похибка становить  $\pm(2,5...4)\%$  при вимірюванні напруги постійного струму і  $\pm(4...6)\%$  при вимірюванні синусоїдних напруг.

### 6.4 Електронні селективні вольтметри

Електронні селективні вольтметри призначаються для дослідження та вимірювання гармонічних складових складних сигналів, параметрів сигналів при наявності завад або наведень в електричних колах, для дослідження спектральної щільності шумових сигналів та ін. Селективні вольтметри мають високу чутливість, що дозволяє вимірювати напругу починаючи з 1 мкВ. Селективні вольтметри поділяються на низькочастотні та високочастотні.

Структурна схема низькочастотного селективного вольтметра наведена на рис. 6.4, а. Досліджуваний сигнал через вхідний масштабний перетворювач ВМП подається на вхід селективного підсилювача СП, частоту настроювання якого можна плавно змінювати. Робочий частотний діапазон вольтметра розбивається на піддіапазони. Перехід з одного частотного діапазону на інший здійснюється перемиканням конденсатора  $C$  в колі зворотного зв'язку підсилювача СП. Настроювання в межах кожного піддіапазону на частоту вимірюваної гармоніки виконується вручну з двоєним резистором  $R_1$  (грубо) і резистором  $R_2$  (точно). Вихідний сигнал підсилювача детектується та вимірюється магнітоелектричним приладом, шкала якого градується в діючих значеннях напруги.

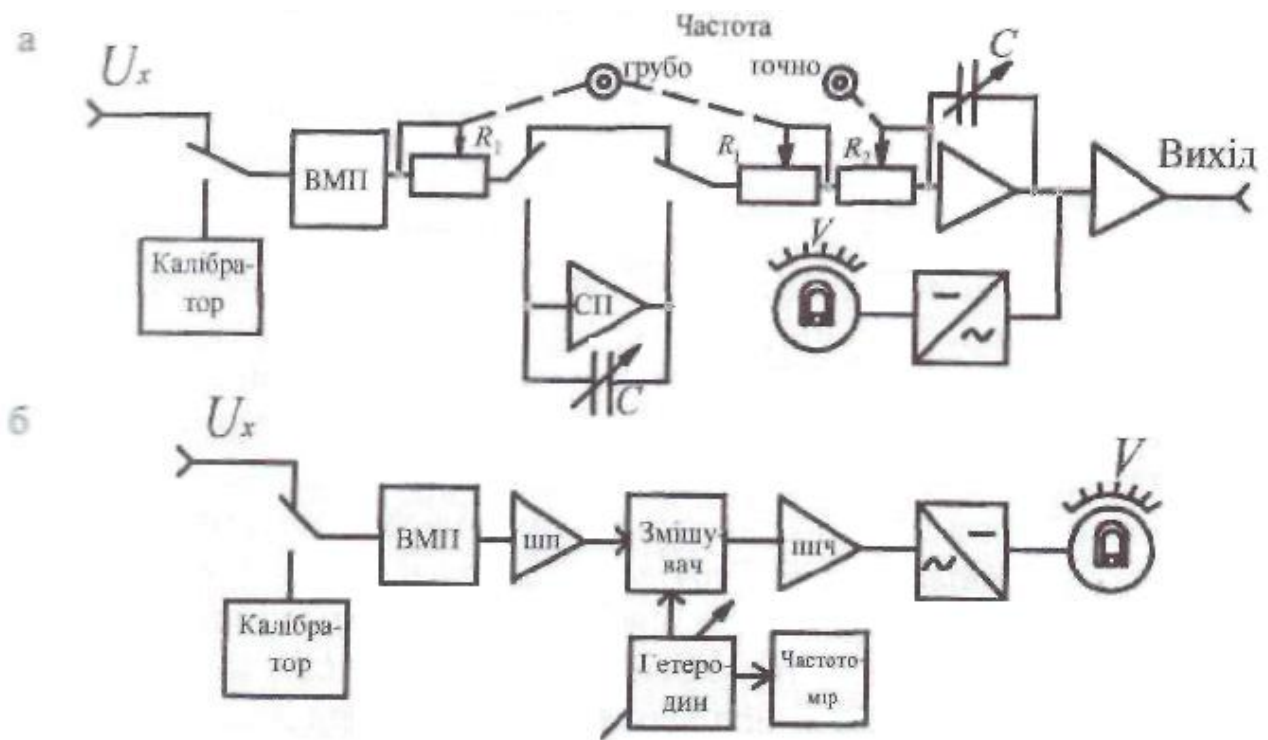


Рисунок 6.4 – Структурні схеми електронних селективних вольтметрів

Селективний вольтметр має спеціальний вихід, до якого може підключатися частотомір. Тоді, плавно змінюючи частоту настроювання селективного підсилювача, можна послідовно виміряти діючі значення та частоти гармонік. Межа допустимої похибки вимірювання становить  $\pm (6...10) \%$ .

У високочастотному селективному вольтметрі (рис. 6.4, б) для настроювання на частоту будь-якої гармоніки сигналу використовується гетеродинний перетворювач частоти. Для настроювання приладу на частоту заданої гармоніки змінюють частоту гетеродина до тих пір, поки на виході змішувача не виникне гармоніка, частота якої дорівнює різниці частот вимірюваного сигналу та гетеродина і збігається з частотою настроювання підсилювача проміжної частоти ППЧ. Ця гармоніка виділяється підсилювачем ППЧ, детектується та вимірюється магнітоелектричним приладом. Значення частоти відфільтрованої гармоніки вимірюється частотоміром, вмонтованим в корпус вольтметра. Селективні вольтметри, як правило, обладнані калібратором, вихідна напруга і частота якого відомі з наперед заданою точністю.

## 6.5 Імпульсні вольтметри

Імпульсні вольтметри призначені для вимірювання максимальних значень періодичних імпульсних сигналів. Відрізняють діодно-конденсаторні, компенсаційні та автокомпенсаційні імпульсні вольтметри.

*Діодно-конденсаторні вольтметри* виконуються за схемою «перетворювач-підсилювач». Вхідним перетворювачем імпульсної напруги в

напругу постійного струму є амплітудний детектор (переважно із закритим входом). Детектор монтується у виносному пробнику, що дає можливість зменшити до мінімуму паразитні ємності монтажу.

Показання діодно-конденсаторних вольтметрів значною мірою залежать від шпаруватості імпульсної напруги  $Q = T/\tau$  (тут  $T$  – період слідування імпульсів;  $\tau$  – їх тривалість). При низькій шпаруватості, коли постійна складова імпульсної напруги  $U_0 = U_m \cdot \tau/T$  досить значна, відлік  $U'_m$  по шкалі приладу відрізняється від дійсного значення амплітуди  $U_m$  на величину постійної складової  $U_0$  (рис. 6.5)

$$U'_m = U_m - U_m \cdot \tau/T = U_m(1 - \tau/T).$$

При цьому відносна похибка

$$\delta = \frac{U'_m - U_m}{U_m} = -\frac{\tau}{T}$$

стає досить суттєвою. Наприклад, при  $\tau = T/4$  відносна похибка сягає  $-25\%$ .

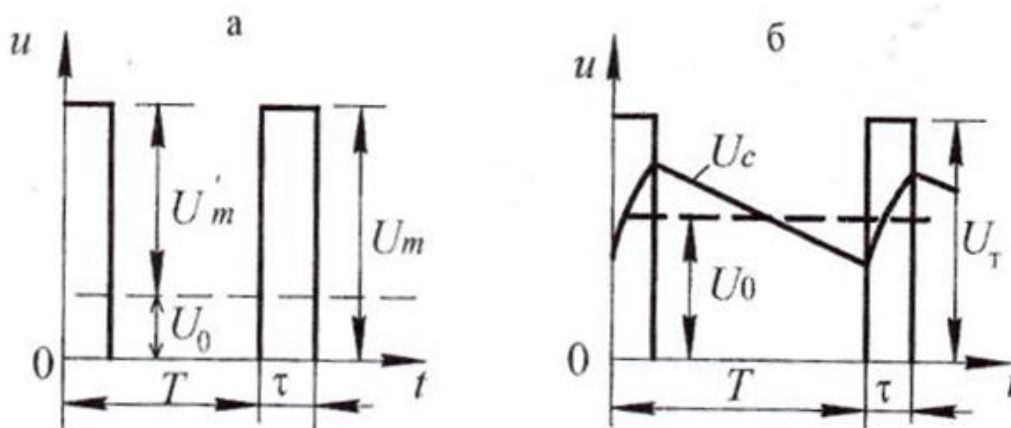


Рисунок 6.5 – Вплив шпаруватості імпульсної напруги на показання діодно-конденсаторних вольтметрів

При великих значеннях шпаруватості закритий вхід детектора практично не впливає на показання вольтметра, оскільки постійна складова мала. Похибка в такому разі спричинена тим, що за час, поки триває імпульс, конденсатор детектора не встигає зарядитися до значення  $U_m$ , а під час паузи між імпульсами він істотно розряджається (рис. 6.5, б).

Імпульсні вольтметри за схемою «перетворювач-підсилювач» не випускаються, але спосіб перетворення імпульсної напруги в напругу постійного струму використовується в різних ЗВТ.

*Компенсаційні імпульсні вольтметри* забезпечують найвищу точність вимірювань напруги імпульсів, включаючи імпульси мікро- і наносекундної тривалості.

Схема вольтметра, який реалізує компенсаційний метод, показана на рис. 6.6. Вимірювана імпульсна  $U_{mx}$  і компенсаційна  $U_k$  напруги включаються

назустріч одна одній, і на резисторі  $R_v$  виділяється різниця  $U_{mx} - U_k$ . Різницева напруга підсилюється і подається на вхід порогового пристрою. На виході нього пристрою виникає імпульсна напруга тільки тоді, коли підсилена напруга  $U_{mx} - U_k$  буде більше рівня спрацьовування  $\Delta U$  порогового пристрою

$$k(U_{mx} - U_k) > \Delta U,$$

де  $k$  – коефіцієнт підсилення імпульсного підсилувача.

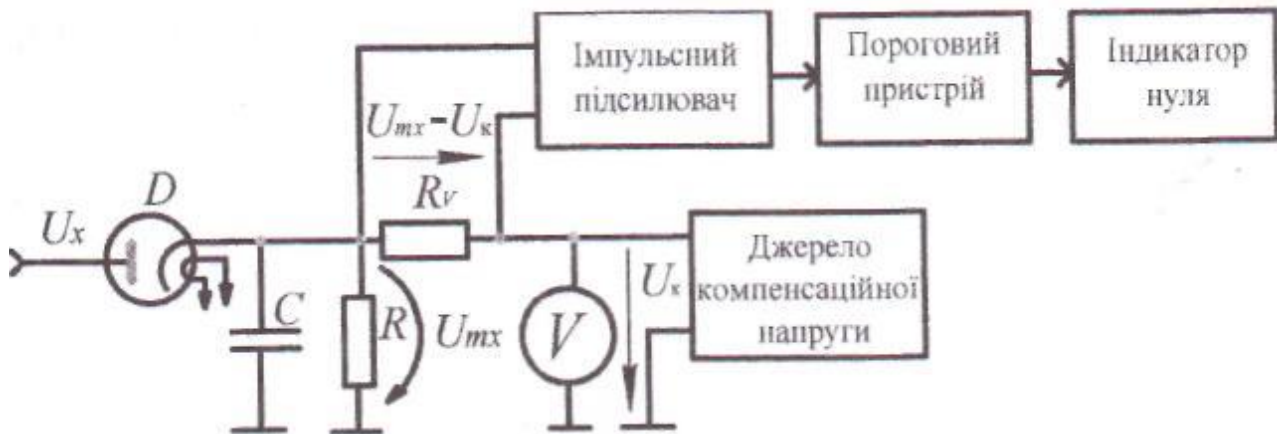


Рисунок 6.6 – Схема компенсційного імпульсного вольтметра

Змінюючи компенсаційну напругу, досягають нульових показань індикатора нуля, що відповідає умові

$$k(U_{mx} - U_k) < \Delta U,$$

тоді

$$U_{mx} < \frac{\Delta U}{k} + U_k.$$

При високій чутливості порогового пристрою та великому коефіцієнті підсилення можна знехтувати величиною  $\frac{\Delta U}{k}$  і вважати, що  $U_{mx} \approx U_k$ .

Точність вимірювання імпульсної напруги визначається практично тільки точністю вимірювання компенсаційної напруги.

Вольтметр В4-11, побудований за розглянутим принципом, забезпечує вимірювання імпульсної напруги з похибкою  $\pm (0,15 + 0,12U_{\max})\%$  ( $U_{\max}$  – показання вольтметра у вольтах). Він також використовується як робочий еталон при повірці імпульсних вольтметрів інших типів.

*Автокомпенсаційні імпульсні вольтметри* випускаються двох типів: зі статичним і астатичним компенсаційними перетворювачами. Схема вольтметра зі статичним перетворювачем наведена на рис. 6.7, а.

Емітерний повторювач монтується у виносному пробнику і призначений для узгодження високого входного опору з низьким опором подільника напруги. Вхідним елементом статичного компенсаційного перетворювача є амплітудний

детектор з відкритим, входом  $VD_1 R_1 C_1$ , завданням якого є розширення, перш за все, імпульсів нано- та мікросекундної тривалості. Розширені імпульси підсилюються та потрапляють на вхід другого амплітудного детектора. Цей детектор і фільтр  $R_\phi C_\phi$  формують з розширених імпульсів напругу постійного струму. Ця напруга як компенсаційна подається через резистор зворотного зв'язку  $R_{33}$  на катод діода  $VD_1$ . В сталому режимі, коли компенсаційна напруга, що сформована на конденсаторі  $C_\phi$ , досягне рівня амплітуди імпульсної напруги, діод  $VD_1$  закриється, і доступ імпульсів на статичний перетворювач припиняється. Компенсаційна напруга, яка дорівнює амплітуді вимірюваних імпульсів, вимірюється магнітоелектричним приладом.

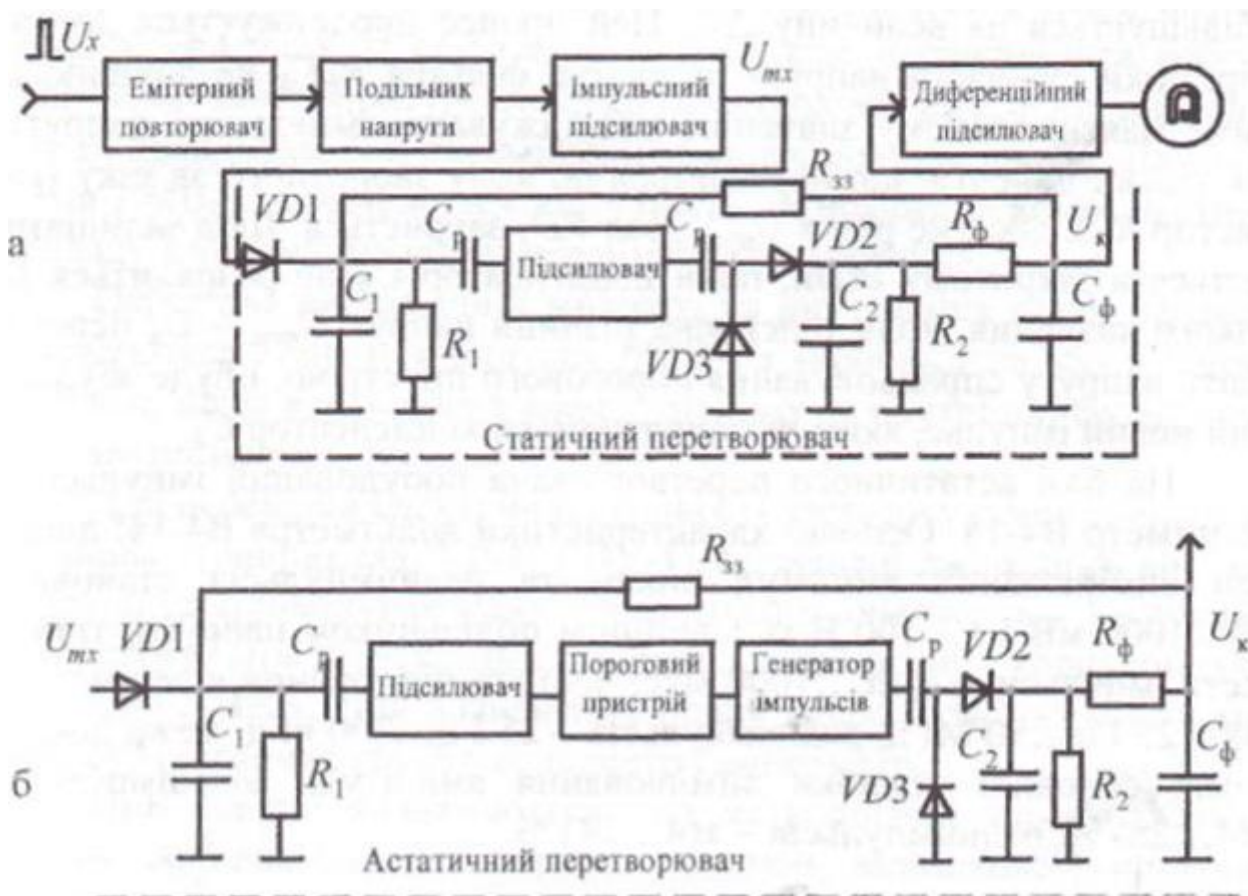


Рисунок 6.7 – Схема автокомпенсаційного імпульсного вольтметра

На рис. 6.7, б показана схема астатичного компенсаційного перетворювача. Вона відрізняється від схеми статичного перетворювача тим, що після підсилювача включається пороговий пристрій та генератор імпульсів прямокутної форми. Останній являє собою одновібратор, що формує імпульси заданого рівня і тривалості. З надходженням кожного такого імпульсу напруга на конденсаторі  $C_2$  збільшується на величину  $\Delta U$ . Цей процес продовжується до тих пір, поки східчаста напруга на виході фільтра  $R_\phi C_\phi$  не дорівнюватиме максимальному значенню досліджуваної імпульсної напруги. Як тільки напруга, що передається по колу зворотного зв'язку (резистор  $R_{33}$ ), досягне рівня  $U_{mx}$ , діод  $VD_1$  закриється. Діод залишатиметься в закритому стані, поки конденсатор  $C_\phi$  не



розрядиться до такого значення, коли підсилена різниця напруг  $U_{mx} - U_k$  перевищить напругу спрацьовування порогового пристрою, і буде збуджений новий імпульс, яким підзаряджається конденсатор  $C_2$ .

На базі астатичного перетворювача побудований імпульсний вольтметр В4-14. Основні характеристики вольтметра В4-14: діапазон вимірюваних амплітуд відео- та радіоімпульсів становить 10...1000 мВ і 1...100 В із зовнішнім подільником напруги; тривалість імпульсів – 3 нс...1000 мкс; частота повторення відеоімпульсів – 25 Гц...50 МГц, радіоімпульсів – 25 Гц...300 кГц; межа допустимої основної похибки вимірювання амплітуди відеоімпульсів  $\pm (4...25) \%$ , радіоімпульсів –  $\pm (4...14) \%$ .