

Д. т. н. І. В. ГОРБАТИЙ

Україна, Національний університет «Львівська політехніка»  
E-mail: giv@polynet.lviv.ua

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ НЕГАРМОНІЧНОГО СИГНАЛУ В УМОВАХ АДИТИВНОЇ ЗАВАДИ

*Розглянуто основні відомі методи вимірювання напруги сигналу. Проаналізовано використовувані схемотехнічні рішення при побудові цифрових вольтметрів і виявлено їх переваги та недоліки. Запропоновано вдосконалити метод безпосереднього оцінювання напруги змінного струму застосуванням розробленого способу вимірювання середньоквадратичного значення напруги змінного струму та пристрою для його здійснення. Встановлено, що використання вдосконаленого методу забезпечує підвищення точності вимірювання напруги негармонічного сигналу в умовах адитивної завади. Описано схемотехнічні рішення, що використані при виготовленні цифрового мультиметра з використанням удосконаленого методу.*

*Ключові слова: метод вимірювання, напруга, змінний струм, цифровий вольтметр, точність вимірювання, негармонічний сигнал.*

Будь-який науковий експериментальний результат можна вважати достовірним за умови, що він отриманий із використанням засобів вимірювальної техніки, які забезпечують необхідну точність вимірювань. Вимірювання технічних параметрів чи характеристик технічних пристроїв та систем у процесі їх розроблення, виробництва або подальшої експлуатації також необхідно здійснювати з використанням відповідних засобів вимірювальної техніки, які забезпечують необхідну точність вимірювань. Таким чином, наявність точних засобів вимірювальної техніки є необхідною для підтвердження достовірності експериментально отриманих наукових чи технічних результатів.

У наш час спостерігається активний розвиток науки та техніки, який є неможливим без відповідного розвитку вимірювальної техніки, зокрема електрорадіовимірювальної. У зв'язку з появою радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, радіотехнічних та телекомунікаційних систем, у яких застосовують нові технічні рішення, виникає необхідність вимірювати електромагнітні характеристики в нових умовах із заданою точністю, зменшити вплив завад на процес вимірювання, скоротити час вимірювання, зменшити вплив людини на результат вимірювання, отримати результат у цифровій формі, придатній для подальшого оброблення за допомогою комп'ютерної техніки. Ці задачі можуть бути вирішені з використанням но-

вих чи вдосконалених засобів цифрової вимірювальної техніки.

Серед електромагнітних величин найчастіше вимірюють напругу сигналів, тому цифрові вольтметри належать до найбільш уживаних засобів вимірювальної техніки. Схемотехніка цифрових вольтметрів постійно вдосконалюється, що пов'язано, наприклад, з необхідністю вимірювати напругу сигналів складної форми (негармонічних сигналів) в умовах завад, що притаманні певним видам телекомунікаційних каналів. Незважаючи на значну кількість публікацій з цього напрямку [1–5], розроблення нових та вдосконалення відомих цифрових вольтметрів із метою підвищення точності вимірювання напруги негармонічних сигналів в умовах адитивних завад залишається актуальною науковою задачею.

Метою цієї роботи є вдосконалення методів та схемотехнічних рішень для підвищення точності вимірювання напруги негармонічного сигналу в умовах адитивної завади.

### Відомі методи вимірювання напруги сигналу

Сигнали, які застосовують у радіотехніці та телекомунікаціях, є складними функціями часу, і саме тому можна вважати, що в загальному випадку напруга сигналу також залежить від часу. Доцільно використовувати такі значення напруги, які є характеристиками сигналів довільної форми. Серед них найбільш часто застосовують середньоквадратичне  $U_{СК}$  (діюче  $U_D$ ), пікове  $U_P$

або найбільше абсолютне (амплітудне  $U_m$  для гармонічних сигналів), середнє  $U_{\text{СЕР}}$  (постійна складова сигналу) та середньовипрямлене  $U_{\text{СВ}}$  значення з усіх миттєвих значень напруги  $u(t)$  за час накопичення або за період періодичного сигналу  $T$  [5, 6]:

$$U_{\text{СК}} = U_{\text{Д}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}; \quad (1)$$

$$U_{\text{П}} = \max_T [u(t)]; \quad (2)$$

$$U_{\text{СЕР}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt; \quad (3)$$

$$U_{\text{СВ}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt. \quad (4)$$

У загальному випадку додатні та від'ємні пікові значення напруги змінного двополярного сигналу є різними.

Діюче, пікове та середньовипрямлене значення напруги певної форми пов'язані між собою через коефіцієнт амплітуди  $k_a$ , коефіцієнт форми  $k_{\text{Ф}}$  та коефіцієнт усереднення  $k_y$ :

$$k_a = U_{\text{П}} / U_{\text{Д}}; \quad (5)$$

$$k_{\text{Ф}} = U_{\text{Д}} / U_{\text{СВ}}; \quad (6)$$

$$k_y = k_a k_{\text{Ф}}. \quad (7)$$

Оскільки напруга  $u(t)$  на елементі електричного кола та струм  $i(t)$  через цей елемент пов'язані законом Ома, за певних обставин зручніше користуватись поняттями середньоквадратичного  $I_{\text{СК}}$  (діючого  $I_{\text{Д}}$ ), пікового  $I_{\text{П}}$  (амплітудного  $I_m$  для гармонічних сигналів), середнього  $I_{\text{СЕР}}$  та середньовипрямленого  $I_{\text{СВ}}$  значення струму, які визначають за допомогою співвідношень, аналогічних (1)–(4).

Розглянемо детальніше методи вимірювання напруги сигналу складної форми та їх вплив на точність вимірювання, основними з яких є метод безпосереднього оцінювання та метод порівняння [4–6].

Для вимірювання напруги сигналу складної форми (напруги змінного струму) методом безпосереднього оцінювання її перетворюють в напругу постійного струму, яку далі і оцінюють. Для отримання середньоквадратичних значень напруги змінного струму [7] випрямляють позитивну півхвилю вимірюваної напруги (однопівперіодне випрямлення), яка пропорційна її середньоквадратичному значенню, та вимірюють її значення відносно нульового потенціалу з урахуванням форми сигналу за допомогою масштабного коефіцієнта  $k_{\text{Ф}}$ .

Для сигналу без постійної складової площа, обмежена огинаючою додатної полярності

сигналу й віссю абсцис, та площа, обмежена огинаючою від'ємної полярності сигналу й віссю абсцис, рівні між собою. Оскільки така площа за повний період сигналу дорівнює його середньовипрямленому значенню, для отримання  $U_{\text{СВ}}$  синусоїдального сигналу з однаковими амплітудами додатної та від'ємної полярностей достатньо виміряти середньовипрямлене значення, наприклад, додатної полярності сигналу й помножити його на два. Середньоквадратичні значення напруги  $U_{\text{СК}}$  періодичних сигналів з однаковими амплітудами додатної та від'ємної полярностей  $U^+$  та  $U^-$ , відповідно, можна отримати, збільшивши в  $k_{\text{Ф}}$  разів середньовипрямлене значення таких сигналів. Значення  $U_{\text{СК}}$  для синусоїдального сигналу отримують, збільшивши середньовипрямлене  $U_{\text{СВ}}$  в  $k_{\text{Ф}} = 1,11$  разів (див. формули (5)–(7)).

Однак метод, що базується на випрямленні однієї півхвилі та вимірюванні її значення, характеризується тим, що при вимірюванні середньоквадратичного значення напруги змінного струму несинусоїдальної форми збільшується похибка вимірювання для сигналів, у яких амплітуди додатної та від'ємної полярностей сигналу неоднакові, наприклад сигналів у вигляді неперервної послідовності прямокутних імпульсів.

При вимірюванні напруги сигналу складної форми (напруги змінного струму) другим вказаним методом її порівнюють зі зразковою напругою відомої величини за допомогою схеми порівняння. На цьому принципі базується, зокрема, відомий спосіб вимірювання середньоквадратичного значення змінної напруги синусоїдальної форми [2], що полягає в порівнянні вхідної синусоїдальної напруги з постійною опорною напругою, коректуванні значення постійної опорної напруги за результатами цього порівняння та вимірюванні значення цієї постійної опорної напруги. При цьому одночасно порівнюють позитивну й негативну півхвилі вимірюваної змінної напруги з, відповідно, позитивною й негативною опорними напругами, що однакові за своїм абсолютним значенням. Це значення дорівнює середньоквадратичному значенню вимірюваної синусоїдальної напруги в момент, коли дорівнює нулю постійна складова напруги, що утворюється шляхом виконання логічної операції «АБО» над імпульсними послідовностями, які формуються в результаті порівняння. При цьому, порівняння вхідної змінної напруги з постійною опорною напругою в момент вимірювання здійснюють на рівні  $U_m / \sqrt{2}$ , де крутість вхідного сигналу дорівнює  $1 / \sqrt{2} \approx 0,707$ . Однак використання такого способу обмежується його складністю та тим, що він придатний

лише для вимірювання середньоквадратичного значення змінної напруги синусоїдальної форми.

Важливою характеристикою будь-якого методу вимірювання напруги є його стійкість до впливу завад. У загальному випадку розрізняють адитивні та мультиплікативні завади. При атестації комутованих і виділених телефонних каналів зв'язку на основі симетричних чи коаксіальних ліній зв'язку на процес вимірювання найбільш суттєво впливають промислові завади частотою 50 Гц. У таких каналах також присутні флуктуаційні та імпульсні завади. У радіоканалах суттєвий вплив можуть мати мультиплікативні завади, що спричинюють завмирання сигналу.

На результати вимірювання напруги сигналу складної форми з використанням відомих методів впливають завади. Так, розглянутий метод безпосереднього оцінювання напруги характеризується низькою завадостійкістю при дії адитивної низькочастотної завади (зокрема частотою 50 Гц). У такому випадку напруга завади додається до напруги сигналу, що не дає змоги, наприклад, здійснювати вимірювання напруги сигналу та рівня шуму при атестації комутованих і виділених телефонних каналів зв'язку. Вплив мультиплікативних завад у таких каналах менш суттєвий, мінімізувати його можна лише спеціальними методами цифрового оброблення сигналу, що переважно застосовують не у вольтметрах, а в цифрових аналізаторах спектра.

#### Схемотехнічні рішення при побудові цифрових вольтметрів

У наш час для вимірювання напруги сигналу переважно використовують цифрові вольтметри. За типом вхідних сигналів розрізняють вольтметри постійного та змінного струму. За типом перетворення можна виділити цифрові вольтметри прямого та врівноважуючого перетворення [5, 6]. Цифрові вольтметри прямого перетворення поділяють на прилади із часовим або частотним проміжним перетворенням. Серед них вагоме місце займають інтегруючі цифрові вольтметри з підвищеною завадостійкістю. Цифрові вольтметри врівноважуючого перетворення по-

діляють на прилади розгортаючого (циклічного) та слідкуючого перетворення.

Цифрові вольтметри прямого перетворення найбільш уживані та прості у виконанні. У загальному випадку до складу таких засобів вимірювання входить вхідний пристрій, підсилювач, детектор напруги змінного струму, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), цифровий відліковий пристрій (індикатор) та пристрій сполучення (інтерфейс). Детектор напруги змінного струму призначений для перетворення напруги змінного струму в напругу постійного струму та необхідний лише у вольтметрі змінного струму. Заміною вхідного пристрою вольтметр постійного струму може бути перетворений в амперметр постійного струму, а вольтметр змінного струму — в амперметр змінного струму. Типова структурна схема цифрового вольтметра прямого перетворення зображена на **рис. 1**.

Вхідний пристрій виконують у вигляді високоомного подільника напруги (переважно із вхідним опором 10 МОм) із частотною компенсацією. Вхідний опір підсилювача має бути значно вищим від подільника напруги і забезпечувати необхідний коефіцієнт підсилення в заданому діапазоні частот. АЦП має перетворювати підсилений до необхідного рівня сигнал у цифровий вигляд для подальшого відображення на індикаторі чи передавання інтерфейсом до засобів комп'ютерної техніки для подальшого оброблення.

Цифрову частину вольтметра в багатьох випадках виконують у вигляді спеціалізованих інтегральних схем, які задають точність перетворення напруги постійного струму в заданому обмеженому діапазоні допустимих рівнів вхідного сигналу. Крім того, найбільш суттєво на точність вимірювання впливає аналогова частина вольтметра, на розроблення якої слід звертати значну увагу. При виготовленні високоомного подільника напруги для досягнення заданого коефіцієнта передавання за напругою в широкому діапазоні частот мають використовуватись високо-точні та високостабільні резистори та конденсатори. При виготовленні шунта для вимірювання сили струму також необхідно забезпечити високу точність його компонентів.

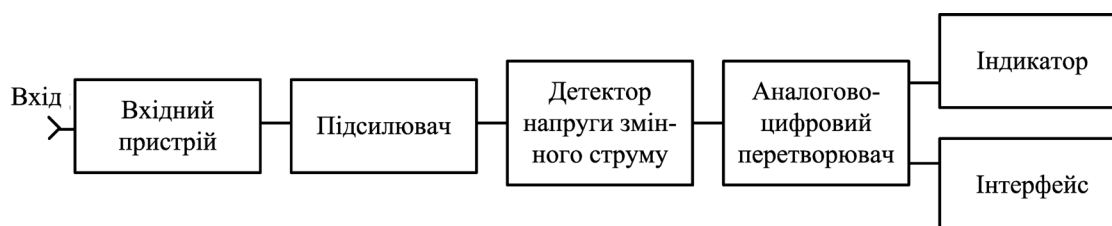


Рис. 1. Типова структурна схема цифрового вольтметра прямого перетворення

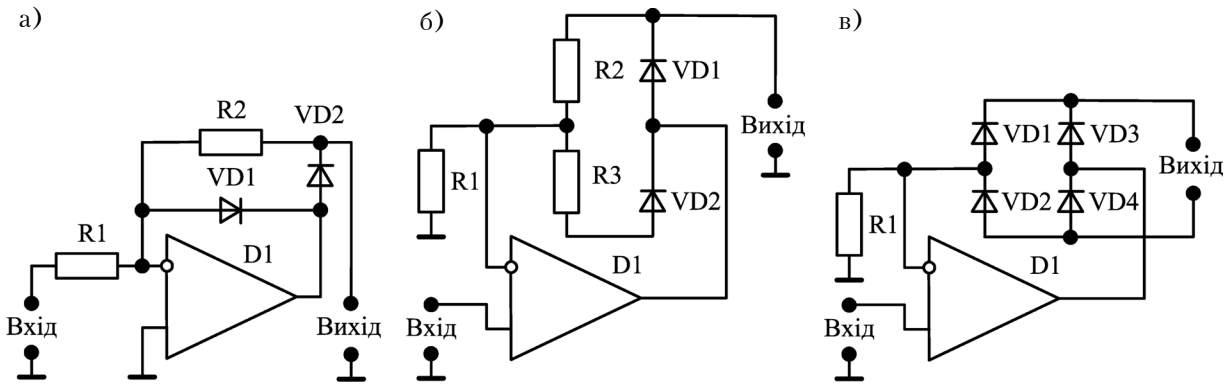


Рис. 2. Варіанти схем детектора середньовипрямленого значення напруги змінного струму

При розробленні аналогової частини цифрового вольтметра найбільшу увагу слід звертати на рішення, використані в схемах підсилювача та детектора напруги змінного струму. Вимоги до підсилювача при вимірюванні напруги постійного струму та напруги змінного струму є різними: у першому випадку дуже важливим є забезпечення малого дрейфу нуля підсилювача, у другому — широка смуга пропускання підсилювача. Тому доцільно ці підсилювачі виконувати у вигляді окремих модулів. Проблеми, що пов'язані з розробленням детектора напруги змінного струму, розглянуто нижче більш детально.

Найбільш уживані варіанти схем детектора напруги змінного струму наведено на **рис. 2**. Серед них найпростішим є однопівперіодний детектор середньовипрямленого значення напруги змінного струму (рис. 2, *a*) [7], тому саме він знайшов застосування в багатьох вольтметрах. Цей детектор містить операційний підсилювач D1, діоди VD1 та VD2, резистори R1 та R2. Подібну схему використано в однопівперіодному детекторі середньовипрямленого значення напруги змінного струму (рис. 2, *б*), який, зокрема застосований у універсальному цифровому вольтметрі B7-21A [8]. Однак, як це виходить з описаних недоліків методів вимірювання, детектор, що базується на випрямленні однієї півхвилі та вимірюванні її значення, характеризується великою похибкою вимірювання середньоквадратичного значення напруги змінного струму несинусоїдальної форми з неоднаковою амплітудою сигналу додатної та від'ємної полярностей. Так, виміряна напруга додатної полярності неперервної послідовності прямокутних імпульсів тривалістю  $t_i$ , періодом  $T$ , щільністю  $Q > 2$  та амплітудою  $U_+ > U_-$  буде нижчою за середньоквадратичне значення через особливості роботи детектора при його практичному застосуванні. До того ж, такий пристрій має низьку заводостійкість при дії адитивної низькочастотної завади.

При вимірюванні напруги негармонічних сигналів доцільніше застосовувати двопівперіодний детектор (рис. 2, *в*), проте на його виході необхідно використовувати АЦП із диференціальним входом. Крім того, чутливість такого детектора є меншою, ніж у однопівперіодного детектора, оскільки має місце спад напруги сигналу на виході операційного підсилювача на двох послідовно включених діодах для кожної (додатної та від'ємної) півхвилі сигналу на відміну від спаду напруги на одному діоді в однопівперіодному детекторі.

Для побудови детектора напруги змінного струму відомі також інші, складніші, схемні рішення, зокрема з використанням декількох операційних підсилювачів [7].

Цифрові вольтметри врівноважуючого перетворення можуть бути побудовані, зокрема, за наведеною на **рис. 3** схемою з використанням відомого пристрою для вимірювання середньоквадратичного значення змінної напруги синусоїдальної форми [2]. Однак такий вольтметр придатний лише для вимірювання середньоквадратичного значення змінної напруги синусоїдальної форми та достатньо складний.

Таким чином, проведений аналіз вказує на те, що існує потреба в удосконаленні відомих ме-

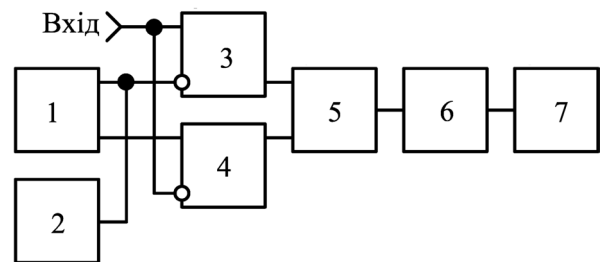


Рис. 3. Структурна схема детектора напруги змінного струму на основі врівноважуючого перетворення: 1 — генератор опорних напруг; 2 — вимірювач постійної напруги; 3, 4 — компаратори; 5 — логічний елемент «АБО»; 6 — інтегратор; 7 — нуль-індикатор

тодів та схемотехнічних рішень для вимірювання напруги змінного струму з метою підвищення точності вимірювання напруги негармонічного сигналу в умовах адитивної завади.

#### Підвищення точності вимірювання напруги негармонічного сигналу в умовах адитивної завади

За результатами проведених досліджень було запропоновано вдосконалити метод безпосереднього оцінювання напруги змінного струму застосуванням розробленого способу вимірювання середньоквадратичного значення напруги змінного струму та пристрою для його здійснення [9]. Це забезпечить точне вимірювання середньоквадратичних значень напруги сигналів синусоїдальної форми та інших періодичних сигналів (з урахуванням коефіцієнта форми вимірюваного сигналу) з однаковими амплітудами додатної та від'ємної полярностей сигналу, а також більш точне вимірювання для сигналів несинусоїдальної форми з різними амплітудами додатної та від'ємної полярностей сигналу, до того ж підвищить завадостійкість при дії адитивної низькочастотної завади.

При застосуванні удосконаленого методу випрямляють додатну та від'ємну півхвилі вимірюваної напруги, які пропорційні її середньоквадратичному значенню, та вимірюють їх значення відносно нульового потенціалу з урахуванням масштабного коефіцієнта, відповідного формі вимірюваної напруги. За допомогою АЦП з диференційним входом визначають різницю значень напруги постійного струму, отриманих у результаті випрямлення додатної та від'ємної півхвиль.

Схема пристрою (детектора напруги змінного струму), принцип дії якого оснований на вдо-

сконаленому методі вимірювання, наведена на **рис. 4**. При його застосуванні для вимірювання середньоквадратичних значень напруги сигналів несинусоїдальної форми з  $U_+ \neq U_-$  й щільністю  $Q > 2$  спостерігається зменшення точності вимірювання тієї півхвилі, що має більшу амплітуду. Наприклад, у випадку  $U_+ > U_-$  при випрямленні додатної півхвилі такого сигналу, на відміну від випрямлення від'ємної півхвилі, конденсатори в згладжуючому фільтрі низької частоти, заряджені імпульсом на виході детектора, повністю розряджуються за період часу  $T - t_i$ , тобто ще до появи наступного імпульсу. Але оскільки в такому пристрої середньоквадратичне значення напруги змінного струму залежить від результатів вимірювання напруги обох полярностей, точність вимірювання підвищується порівняно з однопівперіодним детектором, до того ж у запропонованій схемі неточність номіналів елементів у фільтрах нижніх частот менше впливає на результати вимірювання.

Запропонований пристрій забезпечує вимірювання напруги сигналу при дії низькочастотної адитивної завади. Зокрема, така завада частотою 50 Гц та амплітудою, яка може перевищувати в декілька разів тестовий сигнал або амплітуду шуму, найбільш часто спостерігається при визначенні амплітудно-частотної характеристики й пропускну здатності каналу зв'язку. Підвищення завадостійкості до адитивної низькочастотної завади пояснюється тим, що в такому пристрої одночасно здійснюють випрямлення як позитивної, так і негативної півхвиль, при цьому адитивна низькочастотна завада додається одночасно з тим же знаком до сигналів, отриманих в результаті випрямлення додатної та від'ємної півхвиль вхідного сигналу.

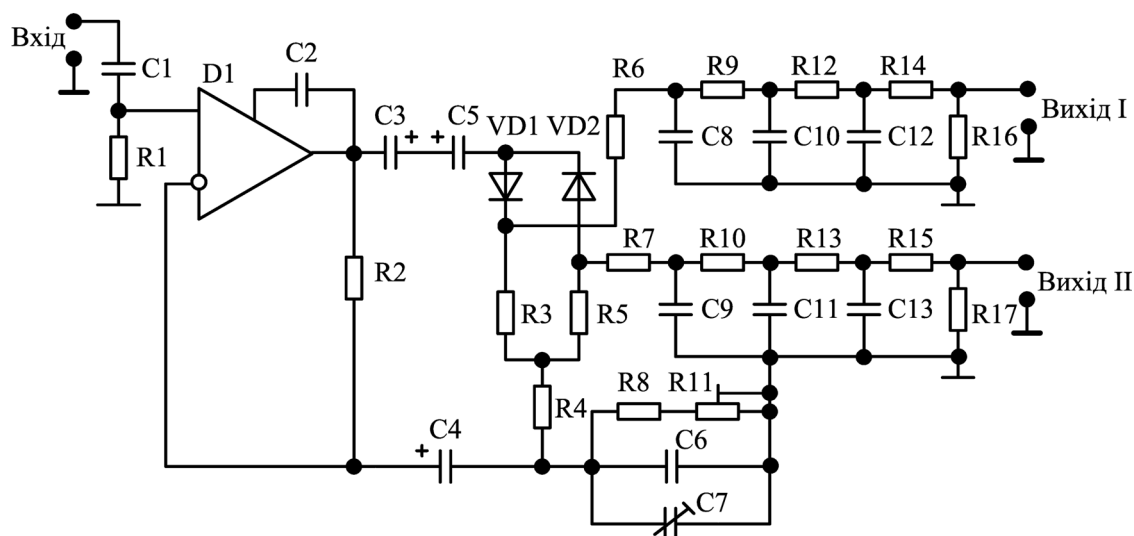


Рис. 4. Електрична принципова схема запропонованого детектора напруги змінного струму

Тому при відніманні напруг сигналів, отриманих у результаті випрямлення, така адитивна завада компенсується. Це дає можливість, наприклад, при атестації комутованих і виділених телефонних каналів зв'язку, а саме при визначенні їх амплітудно-частотних характеристик і пропускних здатностей, виконувати вимірювання середньоквадратичних значень напруги тестового сигналу синусоїдальної форми та рівня шуму (при відсутності тестового сигналу) навіть у випадку, коли амплітуда низькочастотної адитивної завади в декілька разів перевищує амплітуду сигналу або шуму.

**Цифровий мультиметр із використанням удосконаленого методу**

За результатами проведених досліджень було виготовлено макет мультиметра (рис. 5) для вимірювання напруги та сили постійного струму, напруги та сили змінного струму, опору, ємності,

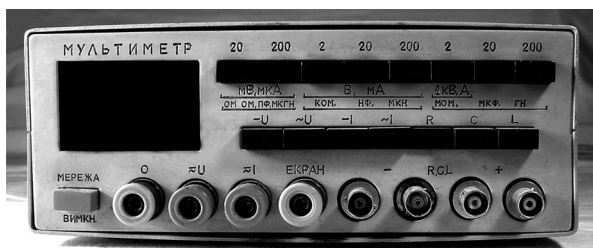


Рис. 5. Макет мультиметра

індуктивності, спаду напруги на напівпровідникових елементах. Його технічні характеристики наведено в таблиці (ВВ — високовольтний, ВЧ — високочастотний).

При побудові макету мультиметра використано наступні схемні рішення.

У підсилювачі напруги постійного струму, схему якого наведено на рис. 6, для забезпечення високого входного опору застосовано операційний підсилювач із високим входним опором, що працює в режимі повторювача напруги, підсилювача напруги в 10 разів або атенюатора напруги в 10 разів.

Вибір необхідного коефіцієнта підсилення здійснюють за допомогою сигналів управління реле Упр. 1 та Упр. 2. У підсилювачі передбачено схему корекції нуля. На вході підсилювача є пристрій захисту входного сигналу від високої напруги, що не впливає на входний опір підсилювача при напрузі входного сигналу в межах ±7 В і витримує пікове значення напруги входного сигналу ±310 В.

Підсилювач напруги змінного струму (рис. 7) для забезпечення високого входного опору містить два каскади: перший каскад із високим входним опором працює в режимі повторювача напруги або атенюатора напруги в 10 разів, другий — в режимі повторювача напруги або підсилювача напруги в 10 разів. Вибір необхідного

*Технічні характеристики макета мультиметра*

Вимірювана величина		Діапазон вимірювання, у т. ч. з додатковим обладнанням (вказане в дужках)
Напруга постійного струму, В		1·10 <sup>-5</sup> – 1·10 <sup>3</sup>
		10 – 1·10 <sup>4</sup> (ВВ-подільник №1)
		1·10 <sup>2</sup> – 3·10 <sup>4</sup> (ВВ-подільник №2)
Сила постійного струму, А		1·10 <sup>-8</sup> – 2
		1·10 <sup>-2</sup> – 20 (шунт)
Напруга змінного струму, В, у різних частотних діапазонах, Гц	20 – 1·10 <sup>5</sup>	1·10 <sup>-5</sup> – 1·10 <sup>3</sup>
	20·10 <sup>3</sup> – 1·10 <sup>8</sup>	0,1 – 1,2 (ВЧ-детектор)
	20·10 <sup>3</sup> – 3·10 <sup>7</sup>	0,1 – 12 (ВЧ-детектор)
	20 – 5·10 <sup>4</sup>	10 – 1·10 <sup>4</sup> (ВВ-подільник №1)
	20 – 3·10 <sup>4</sup>	1·10 <sup>2</sup> – 3·10 <sup>4</sup> (ВВ-подільник №2)
Сила змінного струму, А, у частотному діапазоні, Гц	20 – 20·10 <sup>3</sup>	1·10 <sup>-8</sup> – 2
		1·10 <sup>-2</sup> – 20 (шунт)
Активний опір, Ом		1·10 <sup>-2</sup> – 2·10 <sup>8</sup>
Ємність, Ф		1·10 <sup>-13</sup> – 2·10 <sup>-4</sup>
Індуктивність, Гн		1·10 <sup>-7</sup> – 200
Напруга на напівпровідниковому елементі, В		1·10 <sup>-4</sup> – 10

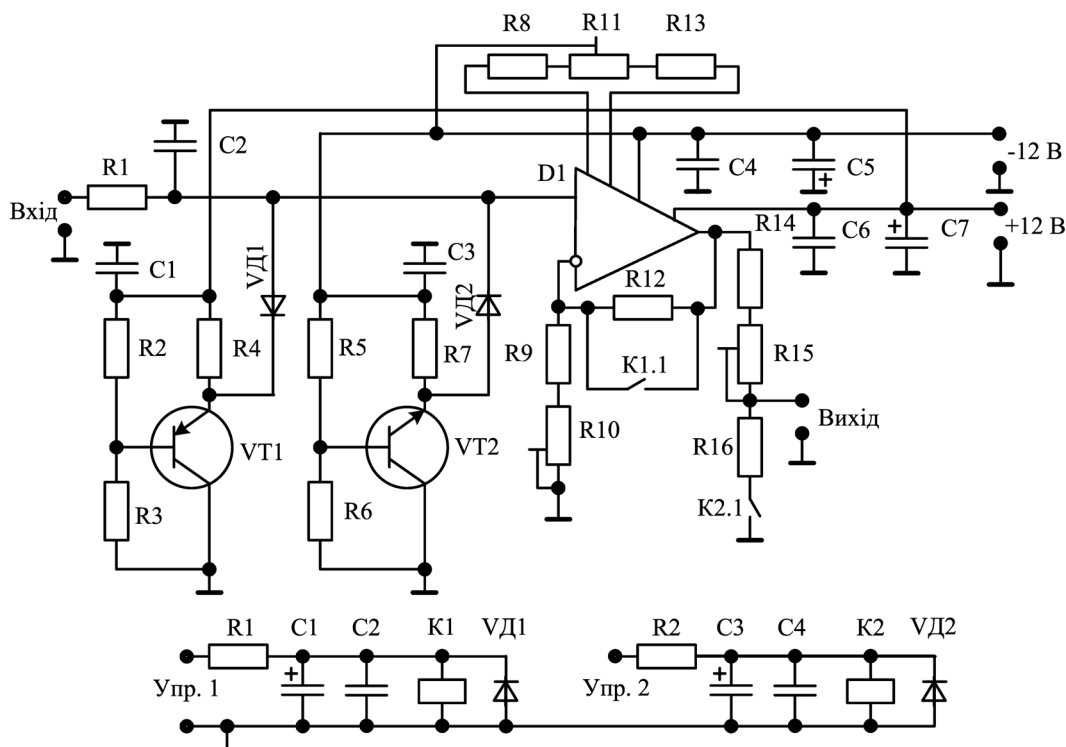


Рис. 6. Електрична принципова схема підсилювача напруги постійного струму

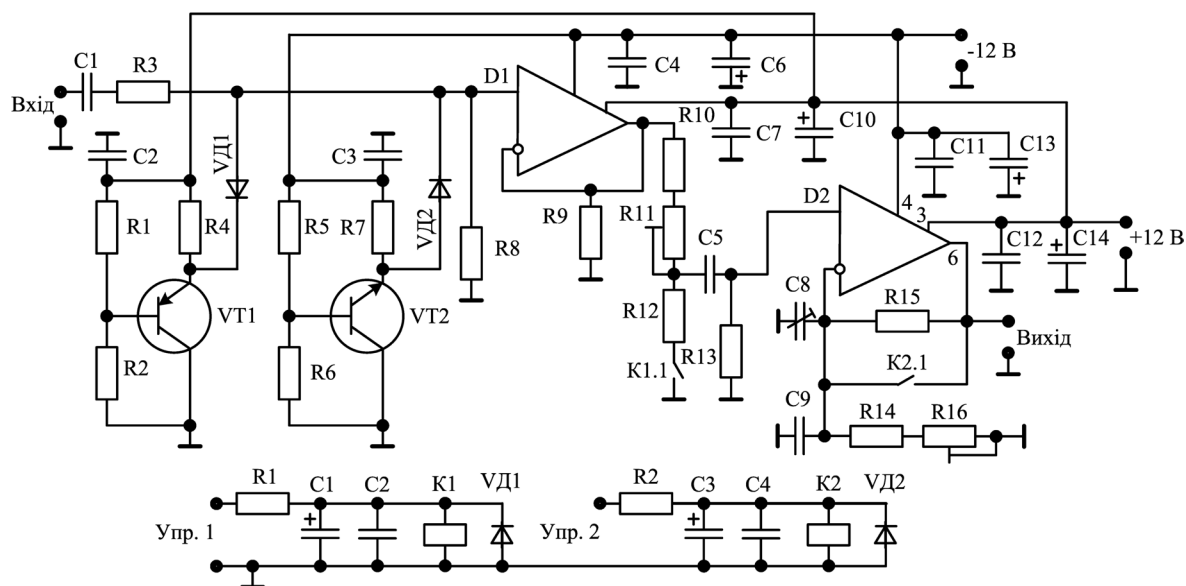


Рис. 7. Електрична принципова схема підсилювача напруги змінного струму

коефіцієнта підсилення здійснюють за допомогою сигналів управління реле Упр. 1 та Упр. 2. На вході підсилювача є пристрій захисту від високої напруги вхідного сигналу, що не впливає на вхідний опір підсилювача при напрузі вхідного сигналу в межах  $\pm 7$  В і витримує пікове значення напруги вхідного сигналу  $\pm 310$  В.

Для усунення недоліків розглянутих вище схем детекторів напруги змінного струму вдосконалено схему детектора (рис. 2, б) викори-

станням розробленого способу вимірювання напруги змінного струму та пристрою для його здійснення (рис. 3). Запропонований детектор є детектором середніх значень, що проградуєований у середньоквадратичних значеннях напруги змінного струму синусоїдальної форми. У схемі детектора забезпечено диференційний вихід, завдяки чому підвищилась точність вимірювання параметрів послідовностей імпульсів із щільністю, відмінною від 2, а також підвищити

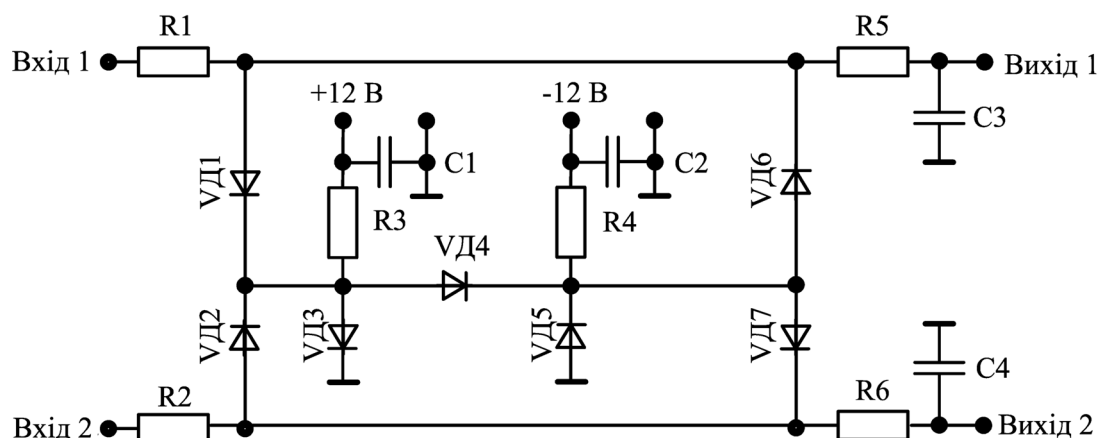


Рис. 8. Електрична принципова схема пристрою захисту входу АЦП

точність вимірювання напруги змінного струму в умовах низькочастотної адитивної завади.

Для вимірювання напруги постійного струму використано АЦП прямого перетворення з подвійним інтегруванням із диференціальним входом в інтегральному виконанні. У режимі перевантаження вхідним сигналом напруга на виході детектора або підсилювача постійної напруги може перевищити допустиму напругу на вході АЦП. Тому на вході АЦП використано розроблений пристрій захисту від високої напруги вхідного сигналу, що не впливає на вхідний опір АЦП при напрузі вхідного сигналу в межах  $\pm 0,26$  В і витримує пікове значення напруги сигналу  $\pm 100$  В (рис. 8).

Розглянуті складові цифрового вольтметра також використані при вимірюванні сили постійного струму та сили змінного струму, при цьому замість подільника напруги використано набір шунтів.

### Висновки

Таким чином, на основі проведених досліджень удосконалено метод безпосереднього оцінювання напруги змінного струму, який дає можливість більш точно, порівняно з відомими методами, оцінювати сигнали негармонічної форми, а при атестації комутованих і виділених телефонних каналів зв'язку виконувати вимірювання в умовах адитивних завад. На його основі побудовано макет мультиметра для вимірювання напруги та сили постійного струму, напруги та сили змінного струму, опору, ємності, індуктивності, спаду напруги на напівпровідникових елементах. Практичне використання макету підтвердило його переваги порівняно із приладами промислового виробництва, такими як універсальний цифровий вольтметр В7-21а та мультиметр у телестеті Ласпи-ТТ-01, зокрема при дослідженні параметрів негармонічних сигналів і дослідженні характеристик симетричних ліній зв'язку в умовах адитивних завад.

метр у телестеті Ласпи-ТТ-01, зокрема при дослідженні параметрів негармонічних сигналів і дослідженні характеристик симетричних ліній зв'язку в умовах адитивних завад.

### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Kampik M., Laiz H., Klonz M. Comparison of three accurate methods to measure AC voltage at low frequencies // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. — 2000. — Vol. 49, iss. 2. — P. 429. — 433.
2. Пат. 36074 України. Спосіб вимірювання середньоквадратичного значення змінної напруги синусоїдальної форми та пристрій для його здійснення / Г. Ю. Трояннов, І. В. Троцишин. — 2001. — Бюл. № 3.
3. Пат. 65555 Україна. Спосіб вимірювання середньоквадратичного значення напруги змінного струму / Ю.М. Туз, О.М. Кривченкова. — 2011. — Бюл. № 23.
4. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник. — Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2005. — Т. 2. Вимірювальна техніка.
5. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах : учебное пособие / Под ред. Б. Н. Тихонова. — Москва: Горячая линия—Телеком, 2007.
6. Винокуров В. И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения: учеб. пособие для радиотехнич. спец. вузов. — Москва: Высшая школа, 1986.
7. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. — Ленинград: Энергия. 1980.
8. Вольтметр универсальный В7-21А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, атд2.710.003 ТО. — Каунас : НИИРИТ, 1988.
9. Пат. 62369А України. Спосіб вимірювання середньоквадратичного значення напруги змінного струму та пристрій для його здійснення / І.В. Горбатий. — 2003. — Бюл. № 12.

*Дата надходження рукопису до редакції 13.02 2017 р.*



ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ  
НЕГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ АДДИТИВНОЙ ПОМЕХИ

*Рассмотрены основные известные методы измерения напряжения сигнала. Проанализированы используемые схемотехнические решения при построении цифровых вольтметров. Выявлены их преимущества и недостатки. Предложено усовершенствовать метод непосредственного оценивания напряжения переменного тока применением разработанного способа измерения среднеквадратичного значения напряжения переменного тока и устройства для его осуществления. Установлено, что использование усовершенствованного метода обеспечивает повышение точности измерения напряжения негармонического сигнала в условиях аддитивной помехи. Описаны схемотехнические решения, которые использованы при изготовлении цифрового мультиметра с использованием усовершенствованного метода.*

*Ключевые слова: метод измерения, напряжение, переменный ток, цифровой вольтметр, точность измерения, негармонический сигнал.*

DOI: 10.15222/TKEA2017.1-2.07  
UDC 621.37+621.39

I. V. HORBATYI

Ukraine, Lviv Polytechnic National University  
E-mail: giv@polynet.lviv.ua

IMPROVING MEASURING ACCURACY OF INHARMONIOUS SIGNAL  
VOLTAGE UNDER THE ADDITIVE NOISE CONDITION

*The basic known methods of signal voltage measuring were considered. The circuit solutions used in the construction of digital voltmeters were analyzed. Their advantages and defects were analyzed. Method of direct assessment of alternating current voltage is proposed to improve by using the developed method for measuring root-mean-square value of alternating current voltage and the device for the realization of the method. It is set, that the use of improved method provides an increase of the inharmonic signal voltage measuring accuracy in conditions of additive noise. Circuit solutions that used for making of digital multimeter using the improved method for measuring of alternating current voltage were described.*

*Keywords: measuring method, voltage, alternating current, digital voltmeter, measuring accuracy, inharmonic signal.*

## REFERENCES

1. Kampik M., Laiz H., Klonz M. Comparison of three accurate methods to measure AC voltage at low frequencies // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2000, Vol. 49, Iss. 2, pp. 429–433.
2. Trojanov H.Yu., Trotsyshyn I.V. *Sposib vimiryuvannya seredn'okvadraticznogo znachennya zminnoyi naprugi sinusoidal'noyi formi ta pristirii dlya iogo zdiisnennya* [Method for measurement of root-mean-square value of alternating voltage with sinusoid form and appliance for its implementation]. Patent Ukraine, no 36074, 2001. (Ukr)
3. Tyz Yu. M., Kryvchenkova O. M. [Method for measurement of root-mean-square value of alternating current voltage]. Patent Ukraine, no 65555, 2011. (Ukr)
4. Dorozhovets M., Motalo V., Stadnyk B., Vasyliuk B., Borek R., Kowalczyk A. *Osnovi metrologiyi ta vimiryval'noyi tekhniki : pidruchnik* [Fundamentals of metrology and measuring technique: textbook]. Lviv: Publishing House of the Lviv National Polytechnic University, 2005, Vol. 2, 656 p. (Ukr)
5. Tikhonov B. N. ed. *Metrologiya i elektroradioizmereniya v telekommunikatsionnykh sistemakh : uchebnoe posobie* [Metrology and electro radio measuring in telecommunication systems : textbook]. Moscow, Goryachaya liniya-Telecom, 2007, 374 p. (Rus)
6. Vinokurov V. I., Kaplin S.I., Petelin I.G. *Elektro radioizmereniya : ucheb. posobie dlya radiotekhnich. spets. vuzov* [Electro radio measuring: textbook for radio eng. spec. of high schools]. Moscow, Vysshaya shkola, 1986, 351. (Rus)
7. Gutnikov V.S. *Integral'naya elektronika v izmeritel'nykh ustroystvakh* [Integrated electronics in measuring devices]. Leningrad, Energy, 1980, 248 p. (Rus)
8. [Universal voltmeter V7-21A. *Technical description and operation instruction, atd 2.710.003 TO*]. Kaunas, SRIRMT, 1988, 128 p. (Rus)
9. Horbatyi I.V. [Method for measuring root-mean-square value of alternating voltage and the device for the realization of the method]. Patent Ukraine, no 62369, 2003. (Ukr)