

УДК 398.1

О.О. Матвеева, В.М. Чинков

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

**МОДУЛЯЦІЙНІ ВИМІРЮВАЧІ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЗМІННОГО СТРУМУ**

В статті досліджуються цифрові методи вимірювання активної потужності змінного струму на основі використання модуляційних перетворювачів сигналів з подвійною модуляцією.

**Ключові слова:** активна потужність змінного струму, модуляційний вимірювач, метод вимірювання, градуовальна характеристика.

**Вступ**

**Постановка задачі.** В теперішній час значно зростає науковий та прикладний інтерес до методів вимірювання активної потужності, оскільки потужність є важливим параметром електричних і радіотехнічних кіл, технічних засобів, систем, приладів, приймальних та передавальних пристроїв. При цьому особливу увагу приділяють цифровим методам, як найбільш досконалим і перспективним на сучасному етапі розвитку цифрової мікросхемотехніки. Проте даний напрямок цифрової вимірювальної техніки став розвиватися порівняно недавно, а тому цифрові вимірювачі потужності та енергії за своїми метрологічними та експлуатаційними показниками поки що далекі від вимог практики і потребують подальшого удосконалення. Отже, задача розробки та дослідження цифрових методів і засобів вимірювання активної потужності є досить актуальною.

**Аналіз літератури.** У відомій літературі наведені різні підходи до класифікації методів вимірювання активної потужності, розглянуті деякі методи та засоби вимірювання оцінки окремих видів похибок [1, 2]. Особливу увагу цифровим методам вимірювання активної потужності приділено в [3 – 5]. Аналіз указаної та іншої літератури показав, що досить перспективними є модуляційні методи вимірювання.

**Мета статті** полягає в дослідженні можливостей технічної реалізації цих методів, які підтверджуються градуовальними характеристиками вимірювачів.

**Основний матеріал**

Як відомо, активна потужність визначається за формулою

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt, \quad (1)$$

де  $p(t)$  – миттєва потужність;  $u(t)$  – напруга;  $i(t)$  – струм;  $T$  – період змінювання напруги та струму.

З формули (1) видно, що основною операцією при вимірюванні активної потужності  $P$  є операція множення двох змінних сигналів –  $u(t)$  та  $i(t)$ . На відміну від класичних перемножувачів сигналів для

миттєвої потужності  $p(t) = i(t) \cdot u(t)$  більш високі технічні характеристики вимірювачів потужності можуть забезпечувати модуляційні вимірювальні перетворювачі потужності (ВПП) [1 – 3].

Модуляційні ВПП ґрунтуються на одночасній модуляції двох параметрів періодичної послідовності прямокутних імпульсів сигналами напруги та струму у контрольованому вимірювальному колі, при цьому використовуються дві комбінації видів модуляції: амплітудно-імпульсна (АІМ) і широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), широтно-імпульсна модуляція та частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ).

Суть ВПП з модуляцією ШІМ-АІМ полягає в тому, що у вихідній послідовності прямокутних тактових імпульсів піддаються модуляції один із часових параметрів (або тривалість однополярних імпульсів, або відносна різниця тривалості двополярних імпульсів) та амплітуда. Модулюючими параметрами є напруга та струм контрольованого електричного кола. Середнє значення (постійна складова), отриманих після подвійної модуляції послідовності прямокутних імпульсів, пропорційне активній потужності. Покажемо це.

Прямокутні імпульси, припустимо одно-полярні із заданими амплітудою і часовими параметрами, з тактового генератора поступають на ШІМ, на управляючий (модулюючий) вхід якого через вхідний блок подається одна з вхідних величин – напруга або струм. Наприклад, миттєве значення напруги  $u(t_q)$ , відповідно моментам часу  $t_q (q = \overline{1, m})$  надходження тактових імпульсів, впливають на параметри ШІМ так, що здійснюється модуляція (пропорційне змінювання) тривалості імпульсів  $\tau$ , тобто

$$\tau_q = k_u k_{\text{ШІМ}} u_q, \quad (2)$$

де  $k_u$  – коефіцієнт передачі вхідного пристрою напруги;  $k_{\text{ШІМ}}$  – коефіцієнт передачі широтного модулятора прямокутних імпульсів;  $\tau_q$  – тривалість  $q$ -го прямокутного імпульсу.

Амплітуда прямокутних імпульсів, модульованих по тривалості, зберігається постійною.

Послідовність імпульсів з виходу ШІМ поступає на АІМ, в якому здійснюється їх модуляція по амплі-

туді другою вхідною величиною приладу, тобто струмом. На виході АІМ утворюється послідовність прямокутних імпульсів, амплітуда яких дорівнює

$$U_{\max a} = k_u k_{AM} i_q, \quad (3)$$

де  $k_{AM}$  – коефіцієнт передачі модулятора прямокутних імпульсів;  $k_i$  – коефіцієнт передачі вхідного пристрою струму;  $i_q$  – миттєве значення струму в момент часу  $t_q$ .

Тривалість імпульсів  $\tau_q$  на виході АІМ не змінюється. Полярність вихідних імпульсів АІМ визначається знаком добутку миттєвих значень напруги і струму  $u_q \cdot i_q$ : якщо знаки  $u_q$  та  $i_q$  однакові, то імпульс позитивний, якщо ж знаки протилежні, то імпульс від’ємний.

Прямокутні імпульси, модульовані по тривалості та амплітуді, з виходу АІМ поступають на інтегратор, яким виділяється середнє значення (або постійна складова)  $\bar{U}$  напруги цієї послідовності імпульсів. Воно визначається виразом

$$\bar{U} = k_{\text{інт}} \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m U_{\max q} \tau_q, \quad (4)$$

де  $k_{\text{інт}}$  – коефіцієнт передачі інтегратора;  $m$  – кількість тактових імпульсів на період  $T$  вхідних сигналів.

З попередніх трьох виразів (2), (3), (4) маємо

$$\bar{U} = k_i k_{\text{інт}} k_{AM} k_{\text{ШМ}} \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m u_q i_q = k_{\text{ВПП}} P,$$

де  $P = \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m u_q i_q$  – активна потужність;

$k_{\text{ВПП}} = k_i k_{\text{інт}} k_{AM} k_{\text{ШМ}}$  – коефіцієнт передачі ВПП.

Постійна напруга  $\bar{U}$  вимірюється цифровим вольтметром постійної напруги зі шкалою, проградуваною в одиницях активної потужності. Тоді градувальна характеристика вимірювача активної потужності з модуляційним перетворювачем ШІМ-АІМ має вигляд

$$N_p = k_{\text{ЦВ}} \bar{U} = k_{\text{ЦВ}} k_{\text{ВПП}} P = k_p P,$$

де  $k_p = k_{\text{ЦВ}} k_{\text{ВПП}}$  – коефіцієнт передачі вимірювача активної потужності;  $k_{\text{ЦВ}}$  – коефіцієнт передачі цифрового вольтметра.

У ватметрі на основі подвійної модуляції ШІМ-ЧІМ миттєве значення напруги  $u_u(t)$  в момент дискретизації  $t_q$  за допомогою ШІМ перетворюється в прямокутні імпульси, тривалість  $\tau_q$  яких пропорційна значенням  $u_u(t_q)$  та визначається виразом (2).

Модуль напруги  $u_i(t)$  або струму  $i_i(t)$  за допомогою ЧІМ неперервно перетворюється в пропорційну частоту імпульсів  $f(t)$ , яка є функцією часу і повторює закон змінювання струму  $i(t)$ :

$$f(t) = k_{\text{ЧІМ}} |u_i(t)| = k_i k_{\text{ЧІМ}} |i(t)|, \quad (5)$$

де  $k_{\text{ЧІМ}}$  – коефіцієнт передачі частотно-імпульсного модулятора.

Кожним вихідним імпульсом ШІМ відкривається часовий селектор на час  $\tau_q$  і через нього на суматор-подільник поступають імпульси частоти  $f(t)$  з ЧІМ. Кількість або пакет цих імпульсів в  $q$ -му інтервалі  $\tau_q$  дорівнює:

$$N_q = \int_{t_q}^{t_q + \tau_q} f(t) dt = \tau_q \bar{f}_q, \quad (6)$$

де  $\bar{f}_q = \frac{1}{\tau_q} \int_0^{\tau_q} f(t) dt$  –

середнє значення частоти в інтервалі  $\tau_q$ .

Підставляючи в формулу (7) нерівність (5), маємо

$$\bar{f}_q = k_i k_{\text{ЧІМ}} \frac{1}{\tau_q} \int_0^{\tau_q} |i(t)| dt = k_i k_{\text{ЧІМ}} \bar{i}_q, \quad (8)$$

де  $\bar{i}_q = \frac{1}{\tau_q} \int_0^{\tau_q} |i(t)| dt$  – середнє по модулю значення струму  $i(t)$  в інтервалі  $\tau_q$ .

Пакети імпульсів  $N_q$  накопичуються в суматорі дільнику алгебраїчно, його режим роботи (сумування та віднімання) задається блоком управління, який за знаками миттєвих значень напруги та струму визначає знак добутку  $u_q i_q$ . Після сумування всіх  $m$  пакетів імпульсів  $N_q$  з коефіцієнтом ділення  $m$  в суматор-подільник з урахуванням (6) утворюється код

$$N_p = \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m N_q = \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m \tau_q \bar{f}_q.$$

З урахуванням (2) та (8) маємо вираз для градувальної характеристики

$$N_p = k_i k_{\text{ЧІМ}} k_{\text{ШМ}} \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m u_q \bar{i}_q = k_p P, \quad (9)$$

де  $k_p = k_i k_{\text{ЧІМ}} k_{\text{ШМ}}$  – коефіцієнт передачі приладу.

Код  $N_p$  є результатом вимірювання активної потужності, який відображається блоком індикації приладу.

## Висновок

1. В статті показані можливості технічної реалізації досить перспективних модуляційних перетворювачів потужності для множення змінних сигналів напруги та струму на типових широтно-імпульсних і амплітудно-імпульсних модуляторах сигналів закордонних форм.

2. Для методичного забезпечення проектування цифрових вимірювачів активної потужності з модуляційними перетворювачами одержані їх найважливіші метрологічні характеристики.

**Список літератури**

1. Безикович А.Я. Измерение электрической мощности в звуковом диапазоне частот / А.Я. Безикович, Е.З. Шапиро. – Л.: Энергия. Ленингр. отд., 1980. – 168 с.

2. Мартьяшин А.И. Преобразователи электрических параметров для систем измерения и контроля / А.И. Мартьяшин, Э.К. Шахов, В.М. Шляндин. – М.: Энергия, 1976. – 170 с.

3. Горлач А.А. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике / А.А. Горлач, М.Я. Минц, В.Н. Чинков. – К.: Техника, 1985. – 151 с.

4. Асеева К.О. Метод вимірювання потужності на основі цифрової обробки сигналів / К.О. Асеева, В.М. Чинков // Системи озброєння і військової техніки. – 2011. –

№ 1(25). – С. 160-170.

5. Беликова Ю.А. Оцінка похибки вимірювання потужності з модуляційним перемноженням напруги і струму типу ШИМ-ЧИМ / Ю.А. Беликова, В.М. Чинков // Системи озброєння і військової техніки. – 2011. – № 1(25). – С. 171-174.

Надійшла до редколегії 18.04.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**МОДУЛЯЦИОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ  
АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

О.А. Матвеева, В.Н. Чинков

*В статье исследуются цифровые методы измерения активной мощности переменного тока на основе использования модуляционных преобразователей сигналов с двойной модуляцией.*

**Ключевые слова:** активная мощность переменного тока, модуляционный измеритель, метод измерения, градуировочная характеристика.

**MODULATION MEASURING DEVICES  
TO ACTIVE POWER OF ALTERNATING CURRENT**

O.A. Matveeva, V.N. Chinkov

*In the article the digital methods of measuring of active power of alternating current are probed on the basis of the use of modulation transformers of signals c by double modulation.*

**Keywords:** active-power of alternating current, modulation measuring device, measuring method, calibration description.