

УДК 681.2.089

О.А.-Б. Ахмадов, С.О. Ахмадов, В.С. Писчиков

СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВТОРИННОГО ЕТАЛОНУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ РОЗШИРЕНОГО ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ

ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

У статті розкрито запитання створення вторинного еталону електричної потужності для розширеного діапазону частот. Описано принципи дії блоків, що входять до комплексу обладнання еталону. Наведено результати досліджень еталону.

Ключові слова: електрична потужність, розширений діапазон частот, вторинний еталон електричної потужності для розширеного діапазону частот.

Вступ. Метрологічне забезпечення експлуатації та виробництва засобів вимірювання електричної потужності в Україні реалізується згідно з вимогами ДСТУ 4116-2002 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань електричної потужності (ЕП) і коефіцієнта потужності у діапазоні частот від 40 до 20000 Гц». Державний еталон одиниць електричної потужності та коефіцієнта потужності зберігається у місті Києві в ДП «Укрметртестстандарт». В зв'язку з необхідністю запобігання державного еталона від передчасного зносу Програмою розвитку національної еталонної бази України 2006-2010 рр. передбачено розроблення вторинного еталона одиниць електричної потужності для розширеного діапазону частот.

Метрологічні характеристики вторинного еталона: діапазон значень одиниць електричної потужності, що зберігається вторинним еталонном - від 0,01 Вт до 6000 Вт при значеннях напруги від 60 В до 600 В, сили струму від 0,01 А до 10 А та частоти від 40 Гц до 1000 Гц; сумарне середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань s_{Σ} при зверненні вторинного еталона з державним еталонном по електричній потужності знаходиться в межах від $2 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-4}$.

Опис та склад еталона. Вторинний еталон одиниць електричної потужності для розширеного діапазону частот призначений для зберігання одиниць електричної потужності від 0,01 Вт до 6000 Вт при значеннях напруги від 1 В до 600 В, сили струму від 0,01 А до 10 А та частоти від 40 Гц до 1000 Гц і передавання розміру одиниці за допомогою робочих еталонів робочим засобом вимірювальної техніки (ЗВТ), до складу якого входять: комплект формувачів струму та напруги з можливістю регулювання кута зсуву фази між ними; вимірювач електричної потужності однофазний; комплект еталонних перетворювачів «струм-струм»; комплект еталонних перетворювачів «струм-напруга»; комплект еталонних перетворювачів «напруга-напруга»; комп'ютер; комплект допоміжного обладнання.

Функціональна схема вторинного еталона включно з комплектом обладнання для вимірювання електричної потужності в розширеному діапазоні частот наведена на рис. 1

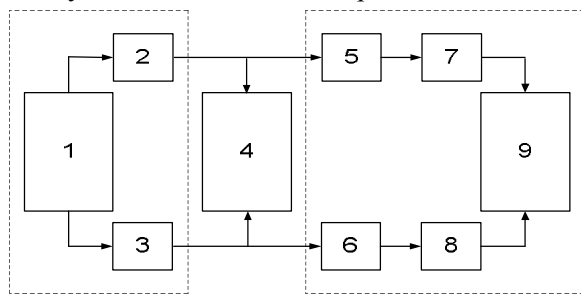


Рис. 1. Функціональна схема вторинного еталона електричної потужності в розширеному діапазоні частот

електричної потужності в розширеному діапазоні частот наведена на рис. 1

На схемі позначено: 1 – однофазний генератор; 2, 3 – блоки однофазних підсилювачів струму та напруги; 4 – ЗВТ, що перевіряються, (вимірювачі електричної потужності в розширеному діапазоні частот, тощо); 5, 6 – комплекти допоміжного обладнання (комплект перетворювачів «струм-напруга»); 7, 8 – комплект допоміжного обладнання (комплект перетворювачів «напруга-напруга»); 9 – вимірювач електричної потужності однофазний.

Блоки 1, 2, 3 – являються комплектом пристроїв для генерації струмів та напруг в розширеному діапазоні частот. Блоки 5, 6, 7, 8, 9 – комплект пристроїв для відтворення та вимірювання електричної потужності з високою точністю.

Відповідно до схеми на рисунку 1 до Вторинного еталону входять пристрої для високоточного вимірювання та відтворення ЕП в розширеному діапазоні частот. Далі наведено перелік пристроїв та їх характеристики.

До комплексу допоміжного обладнання вторинного еталона входить калібратор, в комплекті з яким використовуються блок «підсилювач напруги» та блок «перетворювач струм-

напруга». Використання їх дозволяє розширити діапазони відтворюваних струмів і напруг. Основні характеристики калібратора.

Діапазони відтворення: змінного струму: 1нА – 30 А (діапазон частот: 0,1 Гц – 10 кГц); напруги змінного струму: 0,1 В – 700 В (діапазон частот: 0,1 Гц – 1 МГц); постійного струму: 1нА – 30 А; напруги постійного струму: 0,1 мВ – 1000 В.

На рис. 2 зображено блок еталонних перетворювачів струму, який призначено для точного перетворення струмів 100 А у струм 1 А та 10 А у струм 1 А.

Високі метрологічні характеристики цих перетворювачів досягаються завдяки використанню багатоступневих трансформаторів з комбінованими обмотками і додатковими каскадами перетворення.

Похибка коефіцієнта перетворення струму не перевищує 0,005 % на частоті 50 Гц. Тому при відтворенні одиниці електричної потужності та при високоточних вимірюваннях реалізовано алгоритм опосередкованого вимірювання, при якому сигнали струму та напруги перетворюються в напругу змінного струму, а далі, після перетворення напруги змінного струму в напругу постійного струму, відбувається вимірювання напруги постійного струму.



Рис. 3. Міра напруги постійного струму Н4-9

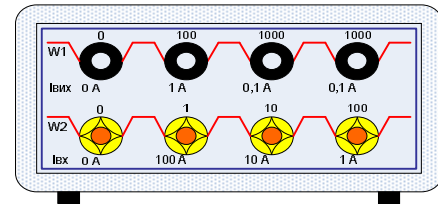


Рис. 2. Блок еталонних перетворювачів струму

Міра призначена для передавання одиниці напруги постійного струму. Має наступні метрологічні характеристики: відтворення напруги: 1,018 В; 10 В; нестабільність за 1 рік: 0,0005 %; коефіцієнт температурної нестабільності: $0,35 \cdot 10^{-6}$ С.

Відтворення одиниці ЕП базується на методі різночасового порівняння напруги, які по черзі підключаються до кіл постійного та змінного струмів. Для відтворення одиниці ЕП виконують такі операції:

- 1) підключають еталонний вимірювач до двоканального генератора напруги та струму;
- 2) за допомогою двоканального генератора встановлюють необхідне значення напруги (1; 10; 60; 100; 240; 300; 600 В) та струму (0,01; 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 5; 10 А);
- 3) встановлюють кут зсуву фаз між струмом та напругою, рівним 0;
- 4) в канал напруги, паралельно, підключають термоелектричний перетворювач з подільником напруги;
- 5) за допомогою еталонного нановольметра (ЕНВ) вимірюють значення постійної напруги на виході термоелектричного перетворювача;
- 6) термоелектричний перетворювач від'єднують від генератора напруги змінного струму і підключають до генератора напруги постійного струму;
- 7) регулюють значення постійної напруги до отримання на виході термоелектричного перетворювача того ж значення напруги, що і при подачі напруги змінного струму;
- 8) за допомогою (ЕНВ) вимірюють значення постійної напруги на вході термоелектричного перетворювача;
- 9) змінюють полярність постійної напруги на вході термоелектричного перетворювача;
- 10) регулюють значення напруги постійного струму до отримання на виході термоелектричного перетворювача того ж значення напруги, що і при подачі напруги змінного струму;
- 11) за допомогою еталонного вольтметра (ЕВ) вимірюють значення постійної напруги на вході термоелектричного перетворювача;
- 12) в канал струму, послідовно з еталонною мірою електричного опору, підключають термоелектричний перетворювач;
- 13) за допомогою (ЕНВ) вимірюють значення напруги постійного струму на виході термоелектричного перетворювача;
- 14) термоелектричний перетворювач від'єднують від генератора змінного струму і підключають до генератора постійного струму;
- 15) регулюють значення постійного струму до отримання на виході термоелектричного перетворювача того ж значення напруги, що і при подачі змінного струму;
- 16) за допомогою еталонної міри електричного опору та прецизійного вольтметра знаходять значення сили постійного струму на вході термоелектричного перетворювача;

- 17) змінюють полярність постійного струму на вході термоелектричного перетворювача;
 - 18) регулюють значення постійного струму до отримання на виході термоелектричного перетворювача того ж значення напруги, що і при подачі змінного струму;
 - 19) за допомогою еталонної міри електричного опору та прецизійного вольтметра вимірюють значення постійного струму на вході термоелектричного перетворювача.
- Розмір відтворюваної таким чином одиниці електричної потужності знаходиться з рівняння:

$$EP = \frac{U_{U+} + U_{U-}}{2} \cdot \frac{U_{I+} + U_{I-}}{2} \cdot \cos \varphi. \quad (1)$$

де: U_{U+} - значення постійної напруги, отримане при виконанні п. 8; U_{U-} - значення постійної напруги, отримане при виконанні п. 11; U_{I+} - значення постійної напруги, отримане при виконанні п. 16; U_{I-} - значення постійної напруги, отримане при виконанні п. 19; R - номінальне значення опору еталонної міри електричного опору; φ - кут зсуву фаз між напругою та струмом.

Вторинний еталон одиниці електричної потужності для розширеного діапазону частот представлено в цілому вигляді на рис. 4.

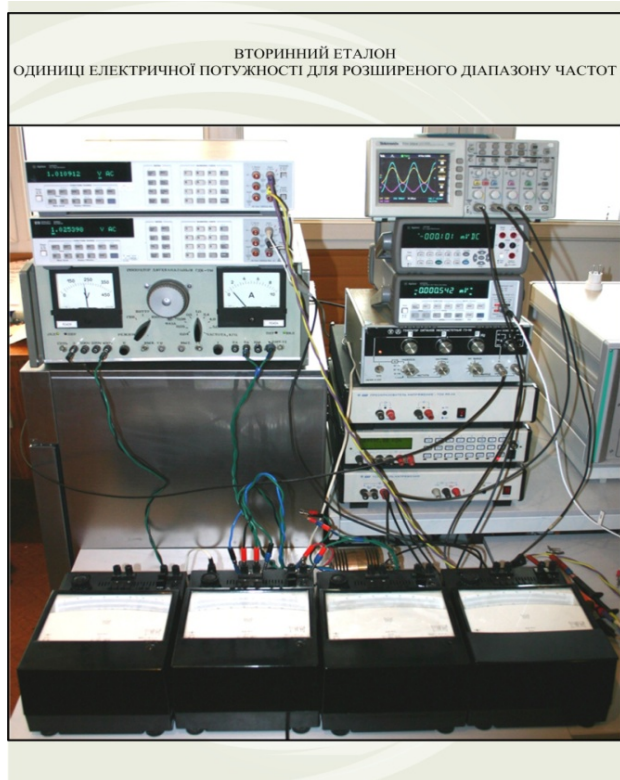


Рис. 4. Вторинний еталон одиниці електричної потужності для розширеного діапазону частот

Відповідно до ПМА 081/11.255-2009. Вторинний еталон одиниці електричної потужності для розширеного діапазону частот. Програма та методика державної метрологічної атестації та відповідно до схеми, наведеної на рисунку 1 було проведено ряд вимірювань з використанням високоточного нановольтметра Agilent 34420 А та мультиметра HP 3458 А. Вимірювання проводились при струмах до 10 А, напругах до 600 В та при частоті сигналу від 40 Гц до 1000 Гц. Кут зсуву фаз між сигналами струму та напруги становить 0°. Відповідно до ПМА сигнали струму та напруги з калібратору Н4-7 за допомогою перетворювачів «струм-напруга» та «напруга-напруга» подаються на вакуумні термоперетворювачі. Отримані значення постійної напруги вимірюються за допомогою нановольтметра Agilent 34420 А. Таким чином було отримано результати наведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1
Результати вимірювання за допомогою комплекту апаратури для відтворення одиниці електричної потужності. Частота сигналу: 40 Гц

Номінальний струм, А	Значення похибки вимірювання, %				
	Номінальна напруга, В				
	1	30	120	300	600
0,01	± 0,02	± 0,03	± 0,03	± 0,04	± 0,02
0,1	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,02	± 0,01
1	± 0,01	± 0,01	± 0,02	± 0,02	± 0,02
10	± 0,02	± 0,01	± 0,02	± 0,01	± 0,01

Таблиця 2
Результати вимірювання за допомогою комплекту апаратури для відтворення одиниці електричної потужності. Частота сигналу: 1000 Гц

Номінальний струм, А	Значення похибки вимірювання, %				
	Номінальна напруга, В				
	1	30	120	300	600
0,01	± 0,02	± 0,04	± 0,03	± 0,03	± 0,03
0,1	± 0,02	± 0,03	± 0,02	± 0,02	± 0,02
1	± 0,01	± 0,02	± 0,02	± 0,01	± 0,02
10	± 0,01	± 0,02	± 0,01	± 0,01	± 0,02

Д5104 $f = 40$ Гц

Таблиця 3

U, В	I, mA	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	100	1,000458	0,100254	22	22,01	0,045
220	100	1,000543	0,100298	22	22,02	0,090
220	100	1,000352	0,100432	22	22,01	0,045

Д5104 $f = 500$ Гц

Таблиця 4

U, В	I, mA	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	100	1,000253	0,100235	22	22,01	0,045
220	100	1,000341	0,100421	22	22,01	0,045
220	100	1,000242	0,100132	22	22,02	0,090

Д5104 $f = 1000$ Гц

Таблиця 5

U, В	I, mA	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	100	1,000228	0,100125	22	22,02	0,090
220	100	1,000247	0,100398	22	22,01	0,045
220	100	1,000135	0,100232	22	22,00	0,000

Д5105 $f = 40$ Гц

Таблиця 6

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	0,5	1,000238	0,500261	110	110,1	0,090
220	0,5	1,000243	0,500229	110	110,0	0,000
220	0,5	1,000352	0,500343	110	110,1	0,090

Д5105 $f = 500$ Гц

Таблиця 7

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	0,5	1,000158	0,500283	110	110,1	0,090
220	0,5	1,000331	0,500214	110	110,1	0,090
220	0,5	1,000236	0,500237	110	110,0	0,000

Д5105 $f = 1000$ Гц

Таблиця 8

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	0,5	1,000112	0,500145	110	110,1	0,090
220	0,5	1,000167	0,500198	110	110,0	0,000
220	0,5	1,000198	0,500225	110	110,1	0,090

Д5106 $f = 40$ Гц

Таблиця 9

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	1,5	1,000255	1,500156	330	330,1	0,030
220	1,5	1,000154	1,500122	330	330,1	0,030
220	1,5	1,000135	1,500173	330	330,1	0,030

Д5106 $f = 500$ Гц

Таблиця 10

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	1,5	1,000331	1,500243	330	330,1	0,030
220	1,5	1,000243	1,500268	330	330,2	0,060
220	1,5	1,000223	1,500341	330	330,2	0,060

Д5106 $f = 1000$ Гц

Таблиця 11

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	1,5	1,000177	1,500244	330	330,1	0,030
220	1,5	1,000193	1,500281	330	330,2	0,060
220	1,5	1,000234	1,500125	330	330,1	0,030

Д5107 $f = 40$ Гц

Таблиця 12

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	3,0	1,000265	3,000154	660	660,2	0,030
220	3,0	1,000223	3,000148	660	660,1	0,015
220	3,0	1,000152	3,000231	660	660,3	0,045

Д5107 $f = 500$ Гц

Таблиця 13

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	3,0	1,000175	3,000211	660	660,3	0,045
220	3,0	1,000223	3,000198	660	660,6	0,090
220	3,0	1,000197	3,000227	660	660,4	0,060

Д5107 $f = 1000$ Гц

Таблиця 14

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
220	3,0	1,000195	3,000209	660	660,3	0,045
220	3,0	1,000204	3,000195	660	660,2	0,030
220	3,0	1,000255	3,000132	660	660,5	0,075

Під час досліджень вторинного еталона електричної потужності в розширеному діапазоні частот було проведено також ряд вимірювань з використанням ватметрів Д5104, Д5105, Д5106, Д5107 та інші. на частотах сигналів 40 Гц, 500 Гц, 1000 Гц. Результати досліджень робочих еталонів з використанням вторинного еталона електричної потужності наведено в таблицях 3-17.

Ц301 $f = 40$

Гц Таблиця 15

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
127	1,0	0,5794	1,000254	127	127,8	0,6
127	1,0	0,5803	1,000298	127	127,6	0,5
127	1,0	0,5815	1,000432	127	128,0	0,8

Ц301 $f = 500$ Гц

Таблиця 16

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
127	1,0	0,5774	1,000254	127	128,5	1,2
127	1,0	0,5795	1,000298	127	128,2	0,9
127	1,0	0,5787	1,000432	127	128,5	1,2

Ц301 $f = 1000$ Гц

Таблиця 17

U, В	I, А	U (1В)	I (1В)	W, Вт	W вим., Вт	Відн.похибка вимірюв. %
127	1,0	0,5808	1,000254	127	128,0	0,8
127	1,0	0,5834	1,000298	127	128,7	1,4
127	1,0	0,5823	1,000432	127	128,2	0,9

Одержані значення похибок не перевищують допустимих границь, зазначених у паспорті вторинного еталона одиниці електричної потужності для розширеного діапазону частот, технічному опису та інструкції з експлуатації на вторинний еталон. Результати проведених вимірювань для ватметрів Д5401, Д5405, Д5406, Д5407 класу точності 0,1 засвідчує, що відносна похибка вимірювань не перевищує 0,1%.

Висновки

Умови зберігання і застосування еталона відповідають вимогам, встановленим правилами зберігання та застосування. За своїми метрологічними і технічними характеристиками еталон відповідає вимогам ДСТУ 3864-99 щодо вторинних еталонів. Точність еталона та точність передавання розміру одиниці електричної потужності в розширеному діапазоні частот робочим еталонам та робочим засобам вимірювальної техніки, що застосовуються в країні, відповідає вимогам та можливостям національної економіки.

Метрологічні характеристики еталона відповідають вимогам ТЗ на розроблення еталона. Еталон досліджений в достатньому обсязі і знаходиться в робочому стані.

Список літературних джерел

1. Ахмадов А.А.-Б., Проненко В.И. Диапазонные фазометрические преобразователи частоты с неперестраиваемым по частоте гетеродином. Измерительная техника. – М.: Издательство стандартов, 1974, №1. – С. 21-25.
2. Ахмадов С.А. Система передачи размера единицы электрической мощности в Украине. - Х.: Сборник трудов конференции «Метрология и измерительная техника». Том 7., 2005 – С. 79-81.
3. Ахмадов А.А.-Б., Егоров В.А., Маркевич В.М., Фомин В.М. Двухканальный генератор с регулируемым здвигом фаз между током и напряжением. Измерительная техника. – М.: Издательство стандартов, 1985., №6. – С. 44-45.
4. Жук А.Г., Ахмадов А.А.-Б., Кисельман И.Г., Кикало В.Н. Образцовая установка для проверки энергетических фазометров в диапазоне звуковых частот. Измерительная техника. – М.: Издательство стандартов, 1974, №1. – С. 25-28.
5. Калашников В.И., Раннев Г.Г., Суругина В.А. Информационно-измерительная техника и электроника. – Издательство "Academia", 2006.