

Міжлабораторні порівняння результатів калібрування мір електричної ємності та мір індуктивності

Величко О. М.¹ , Шевкун С. М.² , Домбровський М.Г.³, Довгань В. В.⁴ 

^{1,2,3,4} ДП «Укрметртестстандарт», Україна

E-mail: m.dombrovskiu@ukr.net

Анотація

Стаття присвячена організації та проведенню двосторонніх міжлабораторних порівнянь результатів калібрування мір електричної ємності та мір індуктивності на частоті 1 кГц. Представлено результати міжлабораторних порівнянь результатів калібрування засобів вимірювання електричних величин. Проведено оцінку відхилень результатів калібрування у лабораторії за допомогою статистики функціонування – числа E_n . Проведено аналіз та зроблено висновки щодо кваліфікації лабораторії учасника.

Ключові слова: електрична ємність, індуктивність, лабораторія, учасник, міжлабораторні порівняння результатів, провайдер, розширена невизначеність.

Опубліковано
20.11.22



1. Вступ

На сучасному етапі розвитку науки і техніки одними із найбільш поширених вимірювань електромагнітних величин є вимірювання параметрів електричного імпедансу і, зокрема, електричної ємності і індуктивності. Вони здійснюються під час розробки, виробництва, налагодження, експлуатації та ремонту електричних та електронних схем та їх компонентів в таких галузях, як телекомунікації, енергетика, транспорт, телематика, навігація, радіолокація, охорона, безпека і оборона тощо.

Для забезпечення точності вимірювань параметрів імпедансу виробники засобів виміральної техніки рекомендують здійснювати їх періодичне калібрування в лабораторіях, акреди-

тованих згідно ^[1]. Національне агентство з акредитації України (НААУ) оцінює виконання вимог ^[1] випробувальними та калібрувальними лабораторіями. Цей стандарт вимагає, щоб лабораторії мали систему забезпечення якості результатів випробувань та/або калібрування, а в межах цієї системи вони мають брати участь у перевірках кваліфікації (ПК).

НААУ розглядає ПК як важливий інструмент для демонстрації компетентності та підтримання якості технічної діяльності лабораторій і вимагає, щоб лабораторії до та після акредитації регулярно брали участь у таких ПК ^[2]. ПК – це оцінювання характеристики функціонування учасника за заздалегідь встановленими критеріями за допомогою міжлабораторних порівнянь ^[3]. Міжлабораторні порівняння (МЛП) – організація, виконання та

оцінювання вимірювань або випробувань одного і того ж або декількох подібних зразків двома або більше лабораторіями відповідно до заздалегідь встановлених умов [3].

МПР широко використовуються для ряду завдань і знаходять все більше застосування на міжнародному рівні. МПР є одним із прийомів, які використовуються для валідації методів калібрування в лабораторії [4,5]. Гарантування правильності результатів вимірювань важливе не тільки для лабораторії і замовників метрологічних послуг, але і для перевіряючих органів, органів з акредитації та інших організацій, які встановлюють вимоги до лабораторій [3]. МПР для калібрувальних лабораторій є актуальним завданням.

2. Загальна характеристика МПР

ДП «Укрметртестстандарт» як науковий метрологічний центр ініціював та провів у період з квітня по жовтень 2021 року МПР калібрування мір електричної ємності Р 597 та мір індуктивності Р 596. Організація МПР виконувалась відповідно до стандартів [1,3,8] про порядок перевірки точності результатів у калібрувальних лабораторіях.

Як зразок для МПР з калібрування були обрані міри електричної ємності Р 597 та міри індуктивності Р 596. Ці робочі еталони призначені для повірки, калібрування та досліджень еталонів та засобів вимірювальної техніки.

Основні технічні характеристики мір електричної ємності Р 597:

- номінальні значення – 100 пФ, 200 пФ, 1000 пФ;
- клас точності – 0,05;
- нормальна частота сили змінного струму – 1000 Гц.

Основні технічні характеристики мір індуктивності Р 596:

- номінальні значення – 5 мГн, 50 мГн, 500 мГн;
- клас точності – 0,05;
- нормальна частота сили змінного струму – 1000 Гц.

Метою МПР є перевірка кваліфікації при калібруванні мір електричної ємності та індуктивності.

Програма МПР була реалізована відповідно до вимог [3]. У МПР взяли участь калібрувальна лабораторія та провайдер МПР. Калібрування проводилось за нормальних умов.

Вимірювання провайдером МПР електричної ємності та індуктивності проводились методом компарування. Еталонні міри електричної ємності та індуктивності, які використовувались, мають простежуваність до провідних лабораторій світу (BIPM, Франція; NIST, США). Лабораторія учасника МПР використовувала метод прямих вимірювань.

Оцінювання невизначеності вимірювань при калібруванні було виконано згідно вимог [6,7], а детальні бюджети оцінки невизначеності вимірювань провайдера МПР наведені у роботах [4,5]. Лабораторія учасник МПР надала детальні бюджети оцінки невизначеності вимірювань, аналогічні провайдеру МПР.

3. Результати МПР з калібрування

Вимірювання провайдером МПР виконувались за схемами, наведеними на Рис. 1, а, б, Рис. 2. Перед початком вимірювань електричної ємності проведено налаштування компаратора до роботи відповідно до експлуатаційної документації, при цьому проводять функцію автоматичного тестування та підстроювання його внутрішніх блоків та вузлів.

При вимірюваннях індуктивності компаратор налаштовується до роботи згідно з експлуатаційною документацією.

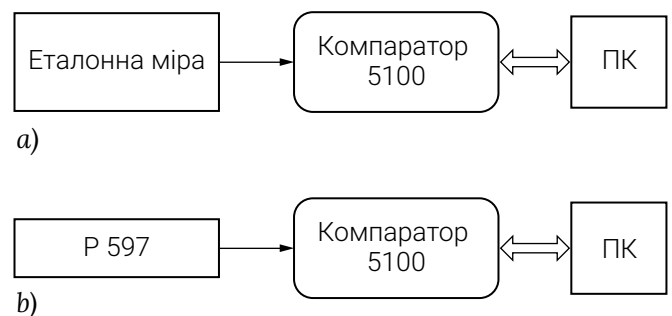


Рис. 1. Блок-схема вимірювань електричної ємності провайдером
а – стадія налаштування компаратора;
б – стадія вимірювань

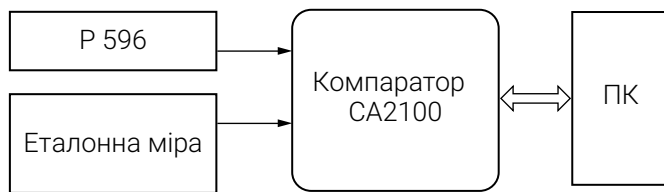


Рис. 2. Блок-схема вимірювань індуктивності провайдером

Для вимірювань електричної ємності та індуктивності лабораторія учасника використовувала

RLC-метр. На початку вимірювань проведено налаштування з вибором вимірювальної величини, діапазону вимірювань згідно з номінальним значенням мір і враховано початкові параметри.

Зовнішній вигляд вимірювальних систем, які використовувались для вимірювання електричної ємності та індуктивності провайдером, зображено на Рис. 3, 4.

Відхилення результатів вимірювання лабораторії визначалось за формулою:



Рис. 3. Вимірювальна система провайдера для вимірювання електричної ємності (1 – компаратор 5100; 2 – еталонна міра; 3 – міра P 597)

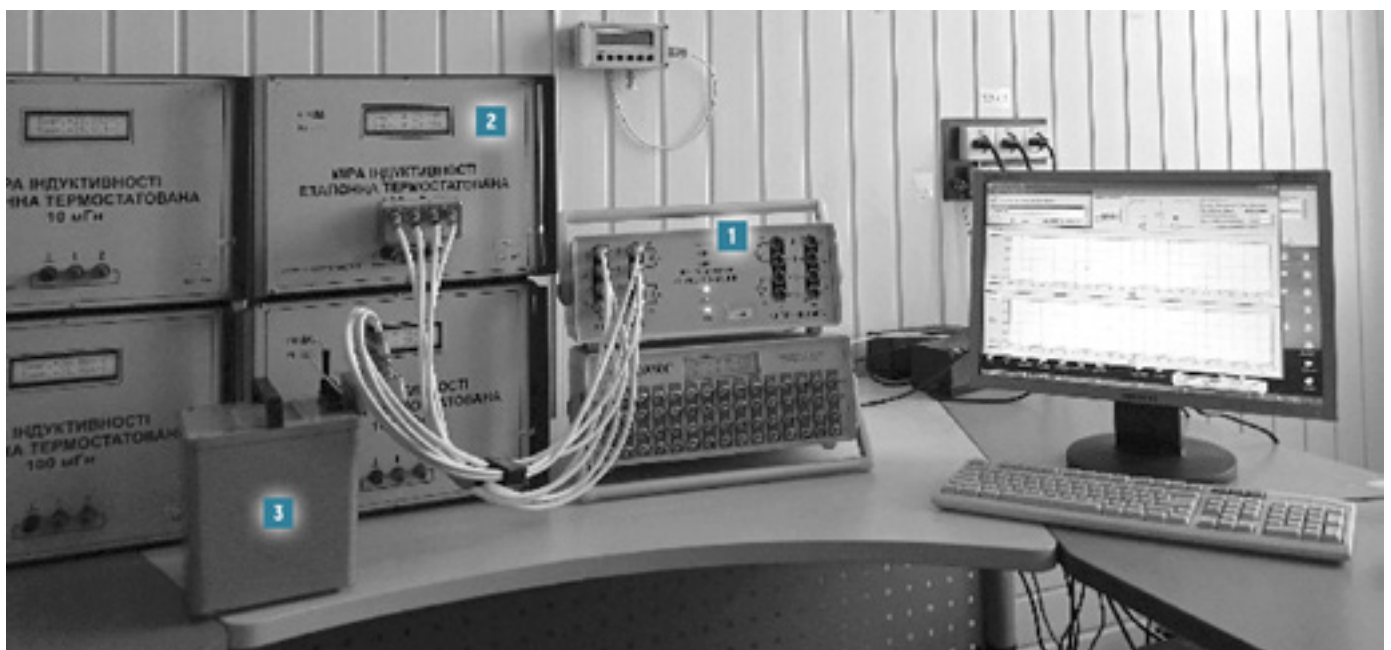


Рис. 4. Вимірювальна система провайдера для вимірювання індуктивності (1 – компаратор CA2100; 2 – еталонна міра індуктивності; 3 – міра P 596)

$$D_{lab} = x_{lab} - X_{ref}, \quad (1) \quad \text{де}$$

де

x_{lab} – середнє значення результату вимірювання виконаних лабораторією;

X_{ref} – середнє значення результату вимірювання виконаних провайдером МПР.

Оцінка результатів учасника проводилась за допомогою числа E_n , яке визначається за формулою [3, 8]:

$$E_n = \frac{x_{lab} - X_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}, \quad (2)$$

U_{lab} – розширена невизначеність вимірювань, виконаних лабораторією;

U_{ref} – розширена невизначеність вимірювань, виконаних провайдером.

При цьому, якщо:

$|E_n| \leq 1,00$ – результат не потребує заходів корегування або реагування;

$|E_n| > 1,00$ – результат потребує заходів корегування або реагування.

В Таблицях 1-2 наведено результати вимірювань, відхилення результатів вимірювання D_{lab} , розширені невизначеності U_{lab} та значення числа E_n .

Лабораторія	Номинальне значення електричної ємності, пФ	Результат вимірювання електричної ємності, пФ	D_{lab} , пФ	U_{lab} , пФ	E_n
Ref	100	100,05065	0	0,00056	-
Lab		100,0470	-0,00361	0,0100	-0,36
Ref	200	199,9271	0	0,0011	-
Lab		199,9240	-0,0031	0,0200	-0,15
Ref	1000	1000,2899	0	0,0055	-
Lab		1000,3200	0,0301	0,0600	0,50

Таблиця 1. Результати вимірювань мір електричної ємності Р 597

Лабораторія	Номинальне значення індуктивності, мГн	Результат вимірювання індуктивності, мГн	D_{lab} , мГн	U_{lab} , мГн	E_n
Ref	5	5,01189	0	0,00059	-
Lab		5,01280	0,00091	0,00097	0,80
Ref	50	50,0647	0	0,0022	-
Lab		50,0620	-0,0027	0,0096	-0,27
Ref	500	500,389	0	0,03700	-
Lab		500,376	-0,0130	0,2500	-0,05

Таблиця 2. Результати вимірювань мір індуктивності Р 596

Значення результатів $|E_n|$ для лабораторії учасниці змінюється у межах:

- від 0,15 до 0,50 при калібруванні мір електричної ємності;
- від 0,05 до 0,80 при калібруванні мір індуктивності, що повністю відповідає вказаному критерію ($|E_n| \leq 1,00$).

4. Висновок

Зважаючи на отримані результати МПР, їх учасники при виконанні вимірювань електричної ємності та індуктивності на частоті 1 кГц, задовольняють вимогам критерію ($|E_n| \leq 1,00$), що підтверджує кваліфікацію учасників при виконанні ними відповідних калібрувань.

References

1. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
2. ЗД-08.00.29 Політика НААУ щодо участі органів з оцінки відповідності у перевірках кваліфікації.
3. ДСТУ EN ISO/IEC 17043:2017 (EN ISO/IEC 17043:2010, IDT) Оцінка відповідності. Загальні вимоги до перевірки професійного рівня.
4. Velychko O., Shevkun S. 2017 *Support of metrological traceability of capacitance measurements in Ukraine*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. № 3/9 (87), pp. 4-10.
5. Velychko O., Shevkun S. 2017 *Support of metrological traceability of inductance measurements in Ukraine*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. № 5/9 (89), pp. 12-18.
6. ДСТУ ISO/IEC Guide 98-3:2018 (ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT) Невизначеність вимірювань. Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні (GUM:1995).
7. EA-4/02 M:2021 *Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration*.
8. ДСТУ ISO 13528:2016 (ISO 13528:2015, IDT) *Статистичні методи для застосування під час перевірки професійного рівня за допомогою міжлабораторних порівнянь*.