

METROLOGY ASSURANCE OF THE ELECTRICAL POWER QUALITY CONTROL

Plamen Tzvetkov¹⁾, Georgi Mitushchev¹⁾, Nikolay Gourov¹⁾, Vasil Vasilev¹⁾, Iliana Marinova²⁾

¹⁾ Technical University of Sofia, Department of Electrical Measurements,

email: tzvetkov@tu-sofia.bg, gm@tu-sofia.bg, nrg@tu-sofia.bg, vassilev@unitech-bg.com

²⁾ Technical University of Sofia, Department of Electrical Apparatus,

e-mail: iliana@tu-sofia.bg

Abstract: In the article an overview analysis of the specifics of the electrical energy as a good, the respective quality characteristics, different aspects, bodies and normative base of the electrical power quality control is made. On the aims and tasks of the metrology assurance of the quality control, the present Bulgarian state norms and standards, related with the electrical power quality, are systematic. The elements of the metrology assurance are separated and a process approach to reach reliable results and correct conclusions from the inspection was proposed.

Keywords: metrology assurance, energy, quality, control, inspection, conformity assessment

МОДЕЛ НА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТТА ПРИ КАЛИБРИРАНЕ НА РАБОТНИ СРЕДСТВА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА МОЩНОСТ С КАЛИБРАТОР СХ 1651

Доц., д-р инж. Георги Милушев¹⁾, Маг. инж. Камелия Кирилова²⁾
¹⁾ ТУ-София, 1797, София, бул. Кл. Охридски №8, gm@tu-sofia.bg, www.tu-sofia.bg
²⁾ ТУ-София, 1797, София, бул. Кл. Охридски №8, kate_to@abv.bg, www.tu-sofia.bg

Резюме: В доклада се представя работен модел на неопределеността при калибриране на работни средства за измерване на мощност с калибратор СХ 1651. Моделът е основа за създаване на методика за калибриране на ватметри и енергоанализатори за нуждите на контрола и оценката на съответствието на параметри на електрохранването. Предлаганият модел може да се ползва, както в процедури за вътрешно калибриране, така и при въвеждане на публична услуга за обезпечаване на проследимостта на единиците за електрическа мощност и енергия.

Ключови думи: - калибриране, модел, мощност, неопределеност, работни средства за измерване

1. Въведение

Калибрирането е дейност, установяваща надеждността, съвместимостта и достоверността на резултатите от измерването. Калибрирането на средствата за измерване се изпълнява по документирани процедури (методики), които описват подробно начина за осъществяване на тази метрологична дейност. Процедурата е съвкупност от действия и правила, показващи начина на извършване на измерването и получаване на резултатите от него. Нейната цел е да осигури валидни, проследими и надеждни резултати от измерванията, удовлетворяващи изискванията за предвидената употреба.

Предложеният в този доклад работен модел на неопределеността за процедура за калибриране на работни средства може да бъде използван като основа за създаване на методика за калибриране на работни средства за измерване. Разработването на работни средства за измерване за вътрешно калибриране и последващо независимо калибриране на ватметри и енергоанализатори. Разработеният модел е ориентиран към цифрови уреди, каквито са преобладаващите в практиката.

2. Модел

Оценката на абсолютната грешка на ватметра ДР във [W], се изразява със следния математически модел:

$$\Delta P = P_{DUT} - P_{CAL} - \delta P_{CAL+DR} + \delta P_{DIS.DUT} + \delta P_R - \delta P_{I,CAL} + \delta P_{I,DUT} + \delta P_{VAT.DUT} + \delta P_{H.DUT} \quad (1)$$

където:

- P_{DUT} – мощност на ватметра във [W];
 - P_{CAL} – мощност от калибратора, във [W];
 - δP_{CAL+DR} – оценка на грешката на калибратора + оценка на грешката от дрейф на калибратора, във [W];
 - $\delta P_{DIS.DUT}$ – оценка на грешката от дискретизация на ватметра, във [W];
 - δP_R – оценка на случайната грешка, във [W];
 - $\delta P_{I,CAL}$ – оценка на температурната грешка на калибратора във [W];
 - $\delta P_{I,DUT}$ – оценка на температурната грешка на ватметра във [W];
 - $\delta P_{VAT.DUT}$ – оценка на грешка от батерията на ватметра във [W];
 - $\delta P_{H.DUT}$ – оценка на грешка от относителна влажност на ватметра във [W];
- При многократно измерване оценката на мощността, измерена с цифровият ватметър и оценката на мощността, измерена с калибратора, представляват средно-аритметичните стойности от измерванията съответно с ватметъра и с калибратора.

$$P_{DUT} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{DUT,j}, \quad P_{CAL} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{CAL,j} \quad (2)$$

където:

j – индекс за всяко измерване;

n – брой на измерванията.

Оценката на грешката на калибратора оценка + оценка на грешката от дрейфна калибратора δP_{CAL+DR} се взема от ръководството за неговата експлоатация [1], където тя е представена от неговият производител. Оценката се изчислява по следният начин:

- за активна мощност

$$dP = \sqrt{(dU^2 + dI^2 + dPF^2 + 0.03^2)} [\%]$$

- за реактивна мощност

$$dQ = \sqrt{(dU^2 + dI^2 + dPF^2 * 2 + 0.03^2)} [\%]$$

- за пълна мощност

$$dS = \sqrt{(dU^2 + dI^2 + 0.03^2)} [\%]$$

където:

dP , dQ и dS са неопределености съответно за активна, реактивна и пълна мощност, изразена в [%];

dU е неопределеност на напрежението, изразена в [%];

dI е неопределеност на тока, изразена в [%];

dPF е неопределеност на фактора на мощност, изразена в [%].

За пресмятането на dPF се използва следната формула:

$$dPF = (1 - \cos(\varphi + d\varphi) / \cos \varphi) * 100$$

където

φ е фазова разлика между ток и напрежение;

$d\varphi$ е неопределеност на фазовата разлика, показана в таблица 1.

Таблица 1

Честота [Hz]	Неопределеност на фазова разлика [°]
40 - 200	0.15
200 - 400	0.25

dPF^* е неопределеност на $\sin \varphi$ [%] и се изчислява по формула:

$$dPF^* = (1 - \sin(\varphi + d\varphi) / \cos \varphi) * 100$$

3. Пример:

Задани параметри: $U = 100$ V, $I = 10$ A,

$\cos \varphi = 0.5$, $f = 50$ Hz, показаната стойност в активна мощност W .

Неопределеност на изходното напрежение:

$$dU = 0.025\% \text{ стойност } + 0.010\% \text{ обхват } = 0.045\%$$

Неопределеност на изходния ток:

$$dI = 0.10\% \text{ стойност } + 0.03\% \text{ обхват } = 0.7\%$$

Неопределеност дължаща се на фазовата разлика:

Фактор на мощност 0.5, съответства на отместване от 60°:

$$dPF = (1 - \cos(60 + 0.15) / \cos 60) * 100 = (1 - 0.4977 / 0.5) * 100 = 0.45\%$$

Неопределеност на изходната мощност:

$$dP = \sqrt{0.045^2 + 0.7^2 + 0.45^2} = 0.95\%$$

Грешката от разделителната способност на отчитащото устройство на калибрирания цифров ватметър се определя като величина с правоъгълно разпределение и оценка $\delta P_{DIS,DUT}$ [2].

Оценката на грешката от дискретизация на ватметъра $\delta P_{DIS,DUT}$ се определя като величина с правоъгълно разпределение [2].

Оценката на случайната грешка δP_R се определя като величина нормално разпределение.

Оценката на температурната грешка на калибратора $\delta P_{T,CAL}$ се определя като величина с правоъгълно разпределение.

Оценките на температурната грешка на ватметъра $\delta P_{T,DUT}$, грешката от батерията на ватметъра $\delta P_{BAT,DUT}$ и грешка от относителна влажност на ватметъра $\delta P_{H,DUT}$ се определят като величини с правоъгълно разпределение.

4. Анализ на неопределеността

Средно квадратичната неопределеност от многократните измервания се изчислява по формула (3):

$$u(\delta P_R) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (P_{DUT,i} - P_{DUT-CP})^2} \quad (3)$$

Средноквадратичната неопределеност (P_{CAL+DR}), дължаща се на калибратора, се взема от ръководството му за употреба. При дълъг разширена неопределеност U и при вероятност на доверителен интервал приблизително 95% се изчислява по формулата:

$$u(\delta P_{CAL+DR}) = \frac{D_P}{2} \quad (4)$$

Средноквадратичната неопределеност ($\delta P_{DIS,DUT}$) от дискретизация на калибрирания цифров ватметър се определя като величина с правоъгълно разпределение, равни на половината от най-малката стъпка на показанието на цифровия ватметър.

$$u(\delta P_{DIS,DUT}) = \sqrt{\frac{(0.5 \cdot a)^2}{3}} \quad (5)$$

където a е най-малката стъпка на показанието на цифровия ватметър, изразена в единици на измерваната величина.

Средноквадратичната неопределеност ($\delta P_{T,CAL}$) от температурната грешка на калибратора се определя като величина с правоъгълно разпределение, равни на половината от най-малката стъпка на показанието на калибратора.

$$u(\delta P_{T,CAL}) = \sqrt{\frac{(0.5 \cdot a)^2}{3}} \quad (6)$$

където a е най-малката стъпка на показанието на калибратора, изразена в единици на измерваната величина.

Средноквадратичната неопределеност ($\delta P_{I,DUT}$) от температурната грешка на ватметъра се определя като величина с правоъгълно разпределение, равни на половината от най-малката стъпка на показанието на цифровия ватметър.

$$u(\delta P_{I,CAL}) = \sqrt{\frac{(0.5 \cdot a)^2}{3}} \quad (7)$$

където a е най-малката стъпка на показанието на цифровия ватметър, изразена в единици на измерваната величина.

Средноквадратичната неопределеност ($\delta P_{BAT,DUT}$) от грешка от батерията на ватметъра се определя като величина с правоъгълно разпределение, равни на половината от най-малката стъпка на показанието на цифровия ватметър [4].

$$u(\delta P_{T,CAL}) = \sqrt{\frac{(0.5 \cdot a)^2}{3}} \quad (8)$$

където a е най-малката стъпка на показанието на цифровия ватметър, изразена в единици на измерваната величина.

Средноквадратичната неопределеност ($\delta P_{H,DUT}$) от относителна влажност на ватметъра се определя като величина с правоъгълно

разпределение, с граници равни на половината от най-малката стъпка на показанието на цифровия ватметър.

$$u(\delta P_{T,CAL}) = \sqrt{\frac{(0.5 \cdot a)^2}{3}} \quad (9)$$

където a е най-малката стъпка на показанието на цифровия ватметър, изразена в единици на измерваната величина.

Средноквадратичната неопределеност от измервания на мощността се изчислява по формула (10):

$$u(P) = \sqrt{c_1^2 u^2 (\delta P_{CAL+DR}) + c_2^2 u^2 (\delta P_{DIS,DUT}) + c_3^2 u^2 (\delta P_R) + c_4^2 u^2 (\delta P_{T,CAL}) + c_5^2 u^2 (\delta P_{I,DUT}) + c_6^2 u^2 (\delta P_{BAT,DUT}) + c_7^2 u^2 (\delta P_{H,DUT})} \quad (10)$$

където коефициентите на чувствителност C_i , свързани с входните оценки, са равни на:

$$c_1 = \frac{\partial \Delta P}{\partial \delta P_{CAL+DR}} = -1; \quad c_2 = \frac{\partial \Delta P}{\partial \delta P_{DIS,DUT}} = 1;$$

$$c_3 = \frac{\partial \Delta P}{\partial P} = 1; \quad c_4 = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{T,CAL}} = -1;$$

$$c_5 = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{I,DUT}} = 1; \quad c_6 = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{BAT,DUT}} = 1;$$

$$c_7 = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{H,DUT}} = 1 \quad (11)$$

Разширената неопределеност от измерването се определя по формулата:

$$U = k \cdot u(P) \quad (12)$$

където:

k – коефициент на покритие на доверителен интервал.

Коефициентът на покритие k се избира в зависимост от оценката на ефективните степени на свобода n_{eff} на средноквадратичната неопределеност $u(\Delta P)$ свързана с изходната оценка ΔP и се изчислява по следната формула:

$$n_{eff} = \frac{u^4(\Delta P)}{\sum_{i=1}^N u_i^4(P)}, \quad (13)$$

където:

$u_i(P)$ – отделните приноси на неопределеността на входните величини
 n_i – ефективните степени на свобода на $u_i(P)$
 i – индекс на всеки отделен принос на неопределеността

N – броя на приносите на неопределеността
За средноквадратичната неопределеност,

получена от n -кратно измерване (тип А) [5], степените на свобода са: $n_1 = n - 1$

Степените на свобода на средноквадратичната неопределеност, получена на базата на правогоълно разпределение (тип В) [5], се приема, че клони към безкрайност.

Въз основа на получената оценка за n_{eff} от таблица Е1 на ЕА-4/02 се избира стойност на коефициента на доверителен интервал за вероятност 95 %. Ако за n_{eff} не се получава цяло число, то тя се закръглява до съседното по-малко цяло число.

5. Заключение

За разработването на представения в тази работа модел на неопределеността, след направените измервания в множество точки и за различни стойности по обхвата, се установи необходимостта от автоматизация на експериментите и реализацията на модела [3].

Автоматизацията може да бъде осъществена със софтуерна реализация базирана на концепцията за виртуализация, ползвайки средата на LabVIEW, (калибраторът и работните СИ имат интерфейс GPIB 488, RS 232 – оптичен и USB),

което ще бъде последваща задача на колективна подготовка на настоящия материал.

6. Литература

[1] User's manual for Multifunctional calibrator Metrix 1651, Chauvin Arnoux, Ed. 1-10/2006.

[2] User's manual for wattmeter PX 110/PX 120 Metrix, Ed. 1-12/2000.

[3] Кирилова К., Милушев Г., „Калибриране и проверка на средства за измерване с калибратор CX 1651“, Международна Конференция Автоматика '2012 - „50 години обучение по Автоматика“, 1 – 4 Юни 2012, Созопол, Годешник на ТУ-София, Том 62, книга 1, 2012г., стр. 387-396, ISSN 1311-0829

[4] Ръководство за калибриране EURAMET/sg-15/v.01 “Указания за калибриране на цифрови мултиметри”, май 2007г.

[5] EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Edition December 1999.

Данни за авторите:

1) Георги Сашов Милушев, доктор, маг. инженер, доцент в катедра „Електроизмервателна техника“, факултет Автоматика на ТУ - София.

2) Камелия Симеонова Кирилова, маг. инженер, редовен докторант в катедра „Електроизмервателна техника“, факултет Автоматика на ТУ - София.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София 2012 г., договор № 122ПД0028-8

MODEL UNCERTAINTY IN CALIBRATION OF WORKING MEASURING MEANS OF MEASURING POWER WITH CALIBRATOR CX 1651

George Milushev¹⁾, Kameliya Kirilova²⁾

¹⁾ Technical University of Sofia, 8, Kl.Ohridski St. Sofia 1797, gm@tu-sofia.bg, www.tu-sofia.bg

²⁾ Technical University of Sofia, 8, Kl.Ohridski St. Sofia 1797, kame_to@abv.bg, www.tu-sofia.bg

Abstract: The report presents a working model of uncertainty in the calibration of working means of measuring power with calibrator CX 1651. The model is the basis for establishing a methodology for calibrating wattmeters and energy analyzer meters for control purposes and conformity assessment of electrical parameters. The proposed model can be used both in the internal calibration procedures and the introduction of public service to ensure traceability of units for electric power and energy.

Key-Words: calibration, model, power, uncertainty, working measuring means

МЕТОДИКА ЗА КАЛИБРИРАНЕ НА КАЛИБРАТОР НА ТЕСТЕРИ ЗА ИЗМЕРВАНЕ И КОНТРОЛ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИНСТАЛАЦИИ TRANSMILLE 3200

Кирил Банев¹⁾, Галина Пешева²⁾, Момчил Лазаров³⁾, Бисер Борисов⁴⁾, Васил Василев⁵⁾

¹⁾ “АЕЦ Козлодуй” ЕАД, отдел “Метрологично осигуряване”, kbaney@npp.bg

²⁾ “АЕЦ Козлодуй” ЕАД, отдел “Метрологично осигуряване”, gpesheva@npp.bg

³⁾ “АЕЦ Козлодуй” ЕАД, отдел “Метрологично осигуряване”, mglazarov@npp.bg

⁴⁾ “АЕЦ Козлодуй” ЕАД, отдел “Метрологично осигуряване”, bborisov@npp.bg

⁵⁾ “Унитех Контрол” ЕООД, u.vassilev@unitech-bg.com

Резюме: В доклада е представена разработката от отдел „Метрологично осигуряване“ в “АЕЦ Козлодуй” съвместно с “Унитех Контрол” ЕООД – София метода за калибриране на калибратор на тестери за измерване и контрол на характеристиките на електрически инсталации до-напътък в текста, калибратор на тестери/Transmillе 3200 и по-специално при работа в режимите “LOOP” и “RCD”. В режим “LOOP” се задава калибрационна стойност на съпротивление на защитен контур R_{sh}/I_{cp} , а в режим “RCD” се задава защитен прехвърляч /ЗП/ калибрирани стойности на ток I_{cp} / време t_{cp} / на сработване.

Методиката е разработена с цел осигуряване на проследимост на резултатите от измерванията в “АЕЦ Козлодуй”. Разгледани са основни раздели на методиката, определящи условията, средствата и същността на калибриране, както и обработката на резултатите от калибрирането.

Ключови думи: съпротивление на контур, тестер, ток и време на задействане на ЗП, калибратор, проследимост

1. Въведение

В електрически мрежи за напрежение до 1000 V с директно заземен звезден център TN, един от начините за определяне ефективността на мултиването е чрез измерване импеданса на контура фаза - защитен проводник, R_{sch}/Z_s и сравняването му с допустимата стойност за съответното съоръжение [2]. Също така, за електрически мрежи с напрежение до 1000 V, в които се прилага защита от опасно напрежение, на периодична проверка подлежи изправността на защитните прехвърлячи /ЗП/. При ЗП съществени характеристики са тока I_{cp} / и времето t_{cp} / на сработване В АЕЦ „Козлодуй“ броят на контролни точки по горепосочените характеристики е не по-малък от около 10000, контролът на които се осъществява със специално предназначени за тези цели тестери на електрически инсталации.

В предвид значимостта на тези измервания и с цел повишаване качеството и осигуряване на проследимост на резултатите от измерванията на горепосочените характеристики на електрически инсталации, в “АЕЦ Козлодуй” през 2009 г. е извършен многофункционален калибратор Transmillе 3200 за калибриране и проверка на тестери, със сертификат за калибриране от

ноември 2008 г. от акредитирана от UKA Calibration под № 0324 лаборатория за калибраторе на Transmillе Ltd. /калибраторът да възможност за калибриране на t_{cp} , което е ново не само за централата, но и за страната/

След изтичане срока на валидност на сертификатта за калибриране се оказва, че в настоящия момент в България не е възможно да бъде извършено калибриране на калибратора Transmillе 3200 при режими на работа: “LOOP” и “RCD” които са специфични и основно предимство на калибратора. Останалите режими на калибратора могат да бъдат дублирани от други многофункционални калибратори или многостойностни резистори и се калибрират по съществуващи методики за калибриране на тези средства измерване.

Представената методика определя условията методите и средствата за калибриране на калибратора Transmillе 3200 именно в спецификите за него режими на работа “LOOP” и “RCD” с което се осигурява проследимост на резултатите от измерванията на характеристиките на електрически инсталации R_{sch} , I_{cp} и t_{cp} в АЕЦ „Козлодуй“.