

## **ДОПРИНОС ПОЈЕДИНИХ ЕЛЕМЕНАТА МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ НА УКУПНУ ГРЕШКУ МЕРЕЊА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ**

**Т. Цинцар-Вујовић, Дирекција за мере и драгоцене метале, Србија  
Д. Хорват, Дирекција за мере и драгоцене метале, Србија**

### **УВОД**

Као последица индустријске политике Европске заједнице (у даљем тексту Заједница), а у циљу стварања јединственог унутрашњег тржишта мерних инструмената који подлежу законској регулативи, настао је предлог Директиве Европског парламента и Савета о мерним инструментима (Директива). Постојање оваквог унутрашњег тржишта захтева усклађивање техничких прописа по различитим елементима конкурентности, при чему све ово нема за циљ да ограничи произвођача већ повећава његову улогу у обезбеђењу квалитета производа и оставља му слободу у смислу иновација, усавршавања производа и прилагођавања променама у савременој технологији. Директива успоставља законске услове у вези тачности и других метролошких карактеристика мерила. Циљеви директиве су: израда основних услова у области оцене усаглашености мерила уз одржавање високог нивоа заштите потрошача и обезбеђење узајамног признавања резултата оцене усаглашености мерила међу државама чланицама.

### **ОСНОВНИ ЗАХТЕВИ ДИРЕКТИВЕ**

Основни захтеви за бројила електричне енергије које Директива прописује обухватају обезбеђење: прописаних граница грешке мерења, поновљивости, осетљивости и поузданости мерења, заштите од кварења, основних података о називним метролошким карактеристикама придружених појединачном мерилу, једнозначности резултата мерења и процене усклађености унутар одређених климатских, механичких и електромагнетних услова радног окружења.

### **ПОСТУПЦИ ОЦЕНЕ УСАГЛАШЕНОСТИ**

Поступци оцене усаглашености су савремени поступци усвојени у оквиру глобалног приближавања у области испитивања и сертификације. Они јачају улогу и одговорност произвођача у оцени усаглашености уз асимилацију принципа обезбеђења квалитета. Директива прописује 14 модела поступака процене усаглашености за све мерне инструменте који су обухваћени скалом Европске заједнице.

У случају бројила електричне енергије Директива прописује следеће поступке оцене усаглашености:

- испитивање типа у комбинацији са поступком оцене усаглашености са типом заснованим на верификацији производа,
- испитивање типа у комбинацији са поступком оцене усаглашености са типом заснованим на потврди гаранцији квалитета производног процеса,
- поступак оцене усаглашености заснованим на гаранцији система квалитета и испитивању дизајна.

## ИСПИТИВАЊЕ ТИПА

Испитивање типа је део процедуре поступка за оцену усаглашености у коме сертификационо тело по избору произвођача испитује техничко решење конструкције, тј. дизајн мерног инструмента и утврђује да ли техничка конструкција задовољава услове прописане Директивом. Сертификационо тело одлучује о примењеном начину испитивања и о узорку, а са произвођачем се договара о месту спровођења ових испитивања.

## МЕТОДА МЕРЕЊА

Метода мерења је логичан редослед поступака, општеописаних, који се обављају приликом мерења. [1] Методе мерења могу да се квалификују на различите начине, а овде је реч о директној методи поређења бројила електричне енергије са референтним еталоном. Поступак мерења је скуп поступака, посебно описаних, који се обављају код појединачних мерења сагласно датој методи. [1]

У ДМДМ за одређивање основне грешке бројила у референтним условима, као део испитивања типа, се користи метода поређења са референтним еталоном (RS).

## ЕТАЛОНИ У МЕРНОЈ МЕТОДИ

За еталонирање бројила електричне енергије користи се референтни еталон електричне енергије. Референтни еталон електричне енергије је следећих карактеристика:

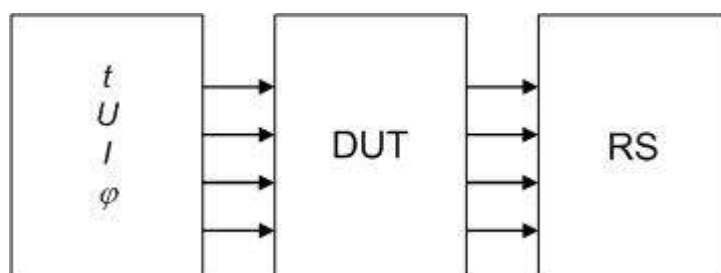
- опсег електричне струје од 0,001 А до 160 А
- опсег електричног напона од 10 V до 500 V
- опсег фреквенције од 15 Hz до 70 Hz за основне хармонике и до 3500 Hz за више хармонике
- класа тачности овог еталона је  $\pm 0,02\%$ .

Овај еталон има метролошку следивост до Српског еталона електричне енергије и мерну несигурност од 100  $\mu\text{Wh}/\text{VA}$ .

Референтни услови су услови употребе прописани за испитивање могућности мерила или за међусобно поређење резултата мерења. [1] Референтни услови углавном обухватају референтне вредности или референтне опсеге за утицајне величине које делују на еталон или мерило. Мерења се врше у лабораторијским условима при температури околине  $23\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$  и релативној влажности ваздуха:  $65\% \pm 10\%$ .

Упрошћена шема веза приказана је на слици 1.

СЛИКА 1 - Упрошћена блок шема веза



## РЕЗУЛТАТИ ЕТАЛОНИРАЊА БРОЈИЛА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Да би смо добили модел мерења, пошли смо од основне једначине којом се одређује грешка бројила у процентима по формули:

$$\varepsilon = ((E_{\text{DUT}} - E_{\text{RS}}) / E_{\text{RS}}) \times 100\% \quad (1)$$

Где је:

- $\varepsilon$  - релативна грешка у процентима
- $E_{\text{DUT}}$  - енергија коју показује бројило електричне енергије (DUT)
- $E_{\text{RS}}$  - енергија коју показује референтни еталон

Модел мерења у ДМДМ представљен је једначином:

$$e_X = e_{RS} + \delta e_{RS} + \delta e_{RS\_cal} + \delta e_{res} \quad (2)$$

Где је:

$e_X$  - грешка испитиваног узорка бројила електричне енергије, у процентима (%),

$e_{RS}$  - грешка коју измери референтни еталон, у процентима (%),

$\delta e_{RS}$  - корекција због тачности референтног еталона, у процентима (%),

$\delta e_{RS\_cal}$  - корекција због мерне несигурности еталонирања референтног еталона, у процентима (%) и

$\delta e_{res}$  - корекција због резолуције референтног еталона, у процентима (%).

Остале доприносе мерној несигурности, као што су: корекција због дуготрајне стабилности референтног еталона, корекција због утицаја DUT, корекција због утицаја веза (каблова), смо занемарили.

Комбинована стандардна мерна несигурност  $u_C$  придружена процени грешке испитиваног узорка бројила електричне енергије за некорелисане улазне величине, рачуна се по формули:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u_i^2} \quad (3)$$

и дата је једначином:

$$u_C = \sqrt{(c_1 \cdot u_{e_{RS}})^2 + (c_2 \cdot u_{\delta e_{RS}})^2 + (c_3 \cdot u_{\delta e_{RS\_cal}})^2 + (c_4 \cdot u_{\delta e_{res}})^2} \quad (4)$$

а коефицијенти осетљивости добијени из једначине (2) су  $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$ .

## ИЗВОРИ МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

Елементи мерне несигурности из једначине (4) су:

1) Из 10 поновљених мерења референтним еталоном израчуна се средња вредност  $e_{RS}$  и стандардна девијација. Мерна несигурност  $u_{e_{RS}}$  се добија дељењем стандардне девијације са  $\sqrt{10}$ . То је тип А мерне несигурности, нормална расподела, 9 степени слободе.

2) Мерна несигурност  $u_{\delta e_{RS}}$  се израчуна када се спецификација произвођача за тачност референтног еталона подели са  $\sqrt{3}$ . То је тип Б мерне несигурности, правоугаона расподела, број степени слободе бесконачан.

3) Мерна несигурност  $u_{\delta e_{RS\_cal}}$  се израчунава тако што се проширена мерне несигурност из уверења о еталонирању за референтни еталон подели са 2. То је тип Б мерне несигурности, нормална расподела, број степени слободе 50. Уверење за референтни еталон дао је ДМДМ према српском еталону електричне енергије чији су резултати мерења следиви до националног еталона Немачке.

4) Мерна несигурност  $u_{\delta e_{res}}$  је мерна несигурност услед резолуције референтног еталона.

Израчунава се тако што се реолуција подели са  $2\sqrt{3}$ . То је тип Б мерне несигурности, правоугона расподела, број степени слободе бесконачан.

### ПРИМЕР РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Према протоколу испитивања, DUT се еталонира у тачакама од 1 %  $I_n$  до 120 %  $I_n$ . У раду је приказан резултат за једну мерну тачку. У табели 1 дати су резултати за грешку DUT и средњу вредност грешке мерења електричне енергије за мерну тачку: електрични напон 3 x 58/100 V, електрична струја 5 A, фактор снаге 1, фреквенција 50 Hz.

ТАБЕЛА 1 - Резултати за грешку DUT

Редни број мерења	грешка $e_X$ (%)
1	0,0091
2	0,0091
3	0,0088
4	0,0092
5	0,0090
6	0,0095
7	0,0090
8	0,0093
9	0,0093
10	0,0093
Средња вредност	0,0092

За приказане резултате мерења, израчуната је стандардна девијација грешке: 0,0002 % и мерна несигурност тип А: 0,000064 %.

Буџет мерне несигурности дат је у табели 2, а израчунат је за средњу вредност грешке за мерну тачку: електрични напон 3 x 58/100 V, електрична струја 5 A, фактор снаге 1, фреквенција 50 Hz.

ТАБЕЛА 2 - Буџет мерне несигурности

Величина	Процена (%)	Стандардна несигурност $u_i$ (%)	Расподела вероватноће	Коефицијент осетљивости $c_i$
$e_{RS}$	0,0092	0,000064	нормална	1
$\delta e_{RS}$	0	0,012	правоугаона	1
$\delta e_{RS\_cal}$	0	0,0048	нормална	1
$\delta e_{res}$	0	0,0000289	правоугаона	1
$e_X$	0,0092			

Комбинована стандардна мерна несигурност  $u_c = 0,013$  %.

Број степени слободе  $\nu_{eff} = 1,56 \cdot 10^{10}$  израчунат је према Welch-Satterthwaite формули:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(x)}{\nu_i}} \quad (5)$$

где је:

$u_c(y)$  – укупна стандардна мерна несигурност мерене величине,  
 $u_i(x)$  – стандардна мерна несигурност појединих утицајних величина,  
 $v_i$  – број степени слободe појединих утицајних величина.

Проширена мерна несигурност израчунава се по формули:

$$U = k \cdot u_c \quad (6)$$

И за задату мерену тачку износи:  $U = 0,026 \%$ .

Наведена проширена мерна несигурност дата је као стандардна мерна несигурност, помножена фактором прекривања/обухвата  $k = 2$ , који за нормалну расподелу одговара вероватноћи прекривања/обухвата приближно 95 %.

## ЗАКЉУЧАК

Директива "новог приближавања" има за циљ да успоставио унутрашње тржиште за инструменте који подлежу законској метролошкој контроли:

- Израдом основних услова и услова у области процене усаглашеност, уз одржавање високог нивоа заштите потрошача и
- Обезбеђењем узајамног признавања међу државама чланицама резултата процене усаглашености.

Како се основни услови односе чешће на перформансе него на спецификације у вези концепције, тада ће бити много мање осетљиви на технолошку еволуцију, што ће знатно смањити потребу за будућим адаптацијама у вези технолошког прогреса.

Поступци процене усаглашености су савремени поступци усвојени у оквиру глобалног приближавања у области испитивања и сертификације. Они ојачавају улогу одговорности произвођача у области процене усаглашености уз асимилацију принципа обезбеђења квалитета.

Део процене мерне несигурности мерења електричне енергије код бројила електричне енергије у поступку испитивања типа бројила електричне енергије, само је један део обавезних поступака еталонирања и испитивања, у сврху приближавања Директиви и Европској Унији, где не може да постоји ни један национални паралелни систем законске контроле инструмената.

## КЉУЧНЕ РЕЧИ

Директива о мерилима, бројила електричне енергије, процена мерне несигурности

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] SRPS ISO/IEC Guide 43-1:2008 *Ispitivanje osposobljenosti međulaboratorijskim poređenjem – Deo 1: Razvoj i primena šema za ispitivanje osposobljenosti*, Institut za standardizaciju Srbije, Beograd, 2008.
- [2] ISO, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, Int. Org. for Standardization, Geneva, Switzerland, 1995.
- [3] EA-4/02 *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, 1999.
- [4] ISO 13528 *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*, Geneva, Switzerland, 2005.