

ИЗРАЧУНАВАЊЕ НЕСИГУРНОСТИ ПРИМАРНЕ ЛАСЕРСКО-ИНТЕРФЕРОМЕТАРСКЕ МЕТОДЕ БРОЈАЊА ПРУГА

Миодраг Цоковић, Технички опитни центар, Београд

Садржај – Предмет овог рада је одређивање проширене комбиноване несигурности преношења јединице убрзања (m/s^2) са примарног ласерско-интерферометарског еталона помераја код хармонијских вибрација на секундарне еталоне убрзања (кварцне акцелерометре са претпојачавачем), методом бројања пруга, у амплитудном опсегу од $20 m/s^2$ до $500 m/s^2$ и у фреквенцијском опсегу $20 Hz$ до $2\,500 Hz$, за опсег осетљивости акцелерометра $1 fC/ms^{-2}$ до $1 nC/ms^{-2}$.

1. УВОД

Еталонирање акцелерометра са претпојачавачем (секундарни еталон убрзања), изводи се налажењем односа између излазног напона акцелерометра са претпојачавачем и амплитуде убрзања, генерисаног вибратором, којој је акцелерометар изложен, у pC/ms^2 . Одређивање амплитуде помераја код хармонијских вибрација врши се методом поређења генерисане амплитуде помераја са таласном дужином ласерске монохроматске светлости, генерисане He-Ne ласером, називне таласне дужине $\lambda = 632,8 nm$. Ово поређење се остварује помоћу Мајкелсоновог интерферометра.

2. ПОЛАЗНИ ПОДАЦИ ЗА ПРОРАЧУН МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

Осетљивост акцелерометра се добија према следећој релацији:

$$S = \frac{u \cdot k}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot Z \cdot \frac{\lambda}{8}} \quad (1)$$

где је:

S - осетљивост наелектрисања акцелерометра, у pC/ms^2 ;
 u - излазни напон појачавача наелектрисања, у mV ;
 k - коефицијент претварања појачавача, у pC/ms^2 ;
 f - фреквенција хармонијских вибрација вибратора, у Hz ;
 Z - однос фреквенција, и
 λ - таласна дужина ласерске светлости, у m .

Услови околине при којима се остварује еталон су: температура $23\,^{\circ}C \pm 2\,^{\circ}C$; релативна влажност до 70% и напон напајања $220\,V \pm 10\%$.

Табела 1- Полазни подаци за прорачун мерне несигурности

Ред. број	Ознака утицајне величине	Опис утицајне величине
1.	$u(R)$	Утицај несигурности мерења односа фреквенција (RATIO В/А)
2.	$u(R_r)$	Утицај несигурности мерења односа фреквенција због ограниченог разлагања
3.	$u(\lambda)$	Утицај нестабилности таласне дужине He-Ne ласерске светлости
4.	$u(R_{n.o.})$	Утицај несигурности мерења односа фреквенција због нагињања огледала на вибратору
5.	$u(f)$	Утицај несигурности мерења фреквенције вибрација
6.	$u(f_i)$	Утицај нестабилности фреквенције вибрација
7.	$u(\dot{u})$	Утицај несигурности мерења излазног напона акцелерометра
8.	$u(\dot{u}_d)$	Утицај тоталног изобличења на мерење излазног напона акцелерометра
9.	$u(\dot{u}_T)$	Утицај трансверзалних убрзања и убрзања насталих од љуљања и савијања, на мерење излазног напона акцелерометра (трансверзална осетљивост)
10.	$u(\dot{u}_n)$	Утицај шума у колу акцелерометар – претпојачавач
11.	$u(\dot{u}_i)$	Несигурност појачања претпојачавача
12.	$u(S_{RE})$	Заостали утицаји на мерење осетљивости (нпр. случајни ефекти при поновљеним мерењима; експериментална стандардна девијација средње аритметичке вредности)

3. ПРОРАЧУН МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

Израчунаћемо мерну несигурност у референтној мерној тачки: амплитуда убрзања, $A = 100 m/s^2$ и фреквенција $f = 160 Hz$.

Израз (1) за одређивање осетљивости наелектрисања акцелерометра, за референтни кварцни акцелерометар

ВК 8305, серијски број 966 945, власништво ТОЦ-а, секундарни еталон убрзања, у наведеној референтној мерној тачки постаје:

$$0,12981 = \frac{93,198 \cdot 0,14142}{(2 \cdot 3,1416 \cdot 160,000)^2 \cdot 1270,0 \cdot \frac{0,63282 \cdot 10^{-6}}{8}} \quad (2)$$

Табела 2 - Прорачун мерне несигурности: компоненте стандардне несигурности

Ред. бр.	Величина X_i	Процена x_i (\pm %)	Стандардна несигурност $u(x_i)$	Расподела вероватноће	Коефицијент осетљивости c_i	Допринос несигурности $u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$ (\pm %)
1.	$u(R)$	0,2	$[0,2/\sqrt{3}] = 0,115$	правоугаона	1	0,115
2.	$u(R_r)$	0,1	$[0,1/\sqrt{3}] = 0,058$	правоугаона	1	0,058
3.	$u(\lambda)$	0,001	$[0,001/\sqrt{3}] = 0,00058$	правоугаона	1	0,00058
4.	$u(R_{n.o.})$	0,01	$[0,01/\sqrt{3}] = 0,0058$	правоугаона	1	0,0058
5.	$u(f)$	0,001	$[0,001/\sqrt{3}] = 0,00058$	правоугаона	2	0,00116
6.	$u(f_i)$	0,0125	$[0,0125/\sqrt{3}] = 0,00722$	правоугаона	2	0,01443
7.	$u(\hat{u})$	0,25	$[0,25/\sqrt{3}] = 0,144$	правоугаона	1	0,144
8.	$u(\hat{u}_a)$	0,0225	$[0,025/\sqrt{3}] = 0,0130$	правоугаона	1	0,0130
9.	$u(\hat{u}_T)$	$[a_T \cdot aT/100 \cdot a]$ $= 3 \cdot 0,004/100 = 0,012$	$[0,012/\sqrt{2}] = 0,00693$	arcsin расподела	1	0,00848
10.	$u(\hat{u}_n)$	0,01	$[0,01/\sqrt{3}] = 0,0058$	правоугаона	1	0,0058
11.	$u(\hat{u}_u)$	0,15	$[0,15/\sqrt{3}] = 0,08660$	правоугаона	1	0,08660
12.	$u(S_{RE})$	$s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0,0011$ ($n = 30$)	0,001	-	1	0,001
Комбинована несигурност:						$u(S) = 0,213$
Проширена несигурност			Фактор покривања: $k = 2$			$U(S) = 0,426$

У изразу $[a_T \cdot aT/100 \cdot a]$ (x_i на редном број 9 у Табели 2), a_T представља проценат вредности амплитуде трансверзалних убрзања у односу на амплитуду убрзања a у главној оси, T представља проценат трансверзалне осетљивости акцелерометра у односу на његову осетљивост у главној (радној) оси. За коришћени акцелерометар ВК 8305, сер. бр. 966 945, та трансверзална осетљивост износи 0,4 % од вредности главне (радне) осетљивости.

У Табели 2, коначан резултат процене мерне несигурности, $u(S)$, израчунава се помоћу следећег изрази:

$$u(S) = \sqrt{\sum_{i=1}^{12} u_i(y)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{12} (c_i \cdot u(x_i))^2} \quad (3)$$

На основу резултата из Табеле 2, добија се проширена несигурност (за $k = 2$) према следећем изразу:

$$U(S) = k \cdot u(S) = 2 \cdot 0,213 \% = 0,426 \% \quad (4)$$

Значи, добијена је вредност осетљивости акцелерометра $S = 0,12981 \text{ pC/ms}^{-2}$, у референтној мерној тачки ($A = 100 \text{ m/s}^2$, $f = 160 \text{ Hz}$), са проширеном несигурношћу ($k = 2$) $\pm 0,43$ %, односно $\pm 0,000 55 \text{ pC/ms}^{-2}$, што одговара вероватноћи покривености од приближно 95 %.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ISO 16063-1: *Methods for the calibration of vibration and shock transducers - Part 1: Basic concepts*, © ISO 1998.
- [2] ISO 16063-11: *Methods for the calibration of vibration and shock transducers - Part 11: Primary vibration calibration by laser interferometry*, © ISO 1999-12-15.
- [3] European cooperation for Accreditation: 1999, *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration – EA-4/02*

Abstract - An analysis and calculations of the components of combined expanded uncertainty for primary fringe counting laser interferometry vibration calibration method are presented in this paper. The values of uncertainty components, their functions of probability distribution, and uncertainty contributions at combined uncertainty of fringe counting method for calibration of reference accelerometer with pre-amplifier are presented, too. Calculations of uncertainty are performed at reference point: amplitude 100 m/s^2 , frequency 160 Hz . Obtained values of the combined uncertainty of fringe counting method are within the requirements of the international standard.

UNCERTAINTY CALCULATION OF PRIMARY VIBRATION CALIBRATION FOR LASER INTERFEROMETRIC FRINGE COUNTING METHOD

Miodrag Džoković