

Capitolul 5. MĂSURAREA NUMERICĂ A TENSIUNILOR

4.1. Specificarea erorilor de măsură în foaia de catalog/ fișă tehnică (*datasheet*)

4.1.1. Legătura dintre “N” cifre ale DMM – “n” biți ai CAN. ENOD.

4.1.2. Precizie, rezoluție, sensibilitate

4.1.3. Moduri de specificare a preciziei; calculul erorii

APLICAȚIA 4.1.

Un voltmetru numeric are 4 ½ digiți. Tensiunea de capăt de scară, pentru scala utilizată, este $V_{CS} = 2V$. Calculați: (a) rezoluția pe această scară; (b) numărul de biți echivalenți ai CAN-ului folosit de către voltmetru; (c) ENOD al voltmetrului bazat pe CAN-ul cu același V_{CS} și numărul de biți de la (b) rotunjit la următoarea valoare întreagă.

Soluție

- 4 1/2 digiți → numărul maxim afișat de către voltmetru (numărătorul din voltmetru) este 19999.
- pentru exemplificare, în Fig. 4.1. este ilustrat *display-ul* unui multimetru digital (DMM) cu 5 ½ digiți, a cărui fișă tehnică o putem consulta în [FarnellFluke8808a].



Fig. 4.1. Multimetrul Fluke 8808A [FarnellFluke8808a].

- Multimetrul nostru are doar 4 ½ digiți.
- Observând afișajul din Fig. 4.1, constatăm că cea mai mică valoare (nenulă) pe care o poate indica acesta este 0.00001 V. Deci, 10 μV . Aceasta este rezoluția. Este cea mai mică variație de tensiune pe care o poate sesiza acest voltmetru. O notăm, deci, cu ΔV . O precizare importantă este că și voltmetrul din Fig. 4.1 se află tot pe $V_{CS} = 2V$.
- **Care este rezoluția voltmetrului nostru? (a) Răspuns:** $\Delta V = \dots\dots\dots$
- Dacă voltmetrul din Fig. 4.1. s-ar fi aflat pe scara cu $V_{CS} = 20V$, rezoluția aparatului pe această scară ar fi fost $\Delta V = 0.0001 V = 100 \mu V$.
- Cât ar fi fost rezoluția voltmetrului pe scara de 200 mV? **Răspuns:** 0.001 mV = 1 μV . Punctul zecimal este comutat automat la detectarea lui 0.2**** [V]. **De actualizat cu diferite modalități pentru detectarea punctului zecimal! [Octaviana]**
- CAN-ul folosit de voltmetru va lucra cu numărul de biți determinat de numărul maxim indicat de numărătorul din compunerea voltmetrului. În cazul nostru, $N_{max} = 19999$.
- Astfel $2^n = N_{max} = 10^4 \rightarrow$ cu n numărul de biți (ai CAN-ului din compunerea voltmetrului) și N numărul de digiți (ai voltmetrului). Deci:

$$n = \log_2 N_{max} \quad (4.1)$$

- **(b)** în cazul nostru, $n = \log_2(19999) \sim 1 + \log_2(10^4) = 1 + 4 \cdot \lg(10)/\lg(2) = 1 + 4/0.3 = 14.33$ biți (nu poate fi neîntreg!)

- rotunjim la următoarea valoare întreagă. Nu există jumătate de bit! Deci, CAN-ul din voltmetrul nostru lucrează pe $n = 15$ biți.
- ENOD = Effective Number Of Digits.
- (c) Pentru $n = 15$ biți, $ENOD = \lg(2^{15}) = \lg(32768) = 4.51$ digiți. Aici nu rotunjim la următoarea valoare întreagă. Un digit poate lua valori $\{0, 1, \dots, 9\}$. Există și $\frac{1}{2}$ digiți, $\frac{3}{4}$ digiți. Vezi [FarnellFluke8808a], [34DigitalMultimeter], de exemplu.

$$ENOD = \lg(N_{\max}) = \lg(2^n) \quad (4.2)$$

- Ajungem, deci, la aceeași concluzie. Ne este suficient un DMM cu 4 $\frac{1}{2}$ digiți.

DEFINIȚII

Precizia (accuracy) – măsura în care valoarea afișată diferă de valoarea adevărată (eroarea absolută, eroarea relativă).

Rezoluția (resolution) – cea mai mică valoare a semnalului care poate fi afișată pe o anumită scară.

Sensibilitatea (sensitivity) – cea mai mică variație a semnalului care poate fi detectată.

Notă. Sensibilitatea = rezoluția pe scara cea mai sensibilă.

APLICAȚIA 4.2.

Manualul voltmetrului numeric GW-Instek din laborator specifică precizia pe scara de 5V (valoare maximă indicată: 4.9999, adică 4 $\frac{3}{4}$ digiți) ca fiind $0.03 + 3$, cu semnificația ” \pm (percentage of reading + digits) “. (a) determinați rezoluția pe această scară; (b) calculați eroarea absolută maximă cu care se măsoară o tensiune $U_x = 2.45V$ pe această scară; (c) care este eroarea relativă corespunzătoare punctului anterior? (d) determinați clasa de precizie a aparatului pe această scară.

Soluție

- specificarea % din U_x + număr de cifre corespunde cu specificarea mai generală % din U_x + % din U_{CS} , cu aplicabilitate la voltmetrele numerice (în timp ce varianta a doua se aplică la orice fel de voltmetre), întrucât ultimul termen, în ambele cazuri, este o valoare constantă în gama de măsură; 3 digiți, aici, trebuie interpretați ca valoarea “3” pe ultima poziție de pe afișaj (digitul cel mai puțin semnificativ), adică, în cazul nostru, valoarea 0.0003V pe scara de 4.9999V.
- Pentru a înțelege vizual noțiunea de $\frac{1}{2}$ digit sal $\frac{3}{4}$ digit vedeți și [Elshop].
- Modul de a specifica precizia de măsură a voltmetrului GW-Instek este (aproximativ) același cu al voltmetrului [FarnellFluke8808a], așa cum arată Fig. 4.2.

Input Characteristics					
Range	Full-Scale (5-1/2 Digits)	Resolution			Input Impedance
		Slow	Medium	Fast	
200 mV	199.999 mV	1 μV	10 μV	10 μV	$>10 \text{ G}\Omega^{[1]}$
2 V	1.99999 V	10 μV	100 μV	100 μV	$>10 \text{ G}\Omega^{[1]}$
20 V	19.9999 V	100 μV	1000 μV	1000 μV	10 $\text{M}\Omega \pm 1 \%$
200 V	199.999 V	1 mV	10 mV	10 mV	10 $\text{M}\Omega \pm 1 \%$
1000 V	1000.00 V	10 mV	100 mV	100 mV	10 $\text{M}\Omega \pm 1 \%$
Notes:					
[1] At some dual display measurements, the input impedance of 200 mV and 2 V ranges may be changed to 10 $\text{M}\Omega$.					

Range	Uncertainty ^[1]		Temperature Coefficient/°C Outside 18 – 28 °C
	90 days	1 year	
	23 °C \pm 5 °C	23 °C \pm 5 °C	
200 mV	0.01 + 0.003	0.015 + 0.004	0.0015 + 0.0005
2 V	0.01 + 0.002	0.015 + 0.003	0.001 + 0.0005
20 V	0.01 + 0.003	0.015 + 0.004	0.0020 + 0.0005
200 V	0.01 + 0.002	0.015 + 0.003	0.0015 + 0.0005
1000 V	0.01 + 0.002	0.015 + 0.003	0.0015 + 0.0005
Notes:			
[1] Uncertainty given as \pm (% of reading + % of range)			

Fig. 4.2. Specificarea erorii de măsură la voltmetrul Fluke 8808a de la Farnell. [FarnellFluke8808a].

(a) rezoluția este de $\Delta V = (5 - 4.9999) V = 100 \mu V$.

(b) Tensiunea măsurată este $U_x = 2.45 \text{ V}$, iar capătul scării pe care se face măsurătoarea este $U_{CS} = 5 \text{ V}$. Prin urmare, dată fiind specificare preciziei ca $0.03\% \text{ reading} + 3 \text{ digits}$, eroarea comisă la măsurarea tensiunii este:

$$e_{\text{lim}} = (0.03/100) \cdot 2.45 \text{ V} + 3 \cdot 100 \text{ uV} \rightarrow e_{\text{lim}} = 1.035 \text{ mV} = e_{\text{abs}}$$

(c) $\epsilon = (e_{\text{lim}}/U_x) \cdot 100 [\%] \sim 0.04 \%$

(d) $\epsilon_{\text{RAPORTATĂ}} = C [\%] = 100(e_{\text{abs}}/U_{CS}) = 103.5 \text{ mV}/5 \text{ V} [\%] \sim 0.02 \%$

Multe dintre definiții și relații de calcul pot fi regăsite în [METcPreda].

APLICAȚIA 4.3.

Un voltmetru numeric are $4 \frac{1}{2}$ diști, $V_{CS}=20\text{V}$. Calculați: (a) rezoluția pe această scară. b) numărul de biți echivalenți ai CAN folosit. c) să se calculeze ENOD al voltmetrului bazat pe CAN cu același VCS și numărul de biți de la (b) rotunjit la următoarea valoare întreagă.

APLICAȚIA 4.4.

Pentru un DMM cu $V_{REF} = 20\text{V}$, $\Delta V = 100\mu\text{V}$ pe afișaj, dimensionați CAN.

APLICAȚIA 4.5.

Un tehnician îi ține locul inginerului proiectant pe partea digitală. El primește de la departamentul analogic informația că pragul de zgomot pentru noul voltmetru al fabricii este de $30 \mu\text{V RMS}$. Întrucât tehnicianul consideră că 10 este o cifră rotundă, el alege să facă un afișaj cu 10 cifre. a) câte cifre va trebui să *scoată* de pe afișaj inginerul, atunci când ajunge la serviciu? Justificați! b) justificați alegerea optimă știind că numărul de cifre ale afișajului fizic poate să fie de forma N sau $N \frac{1}{2}$ sau $N \frac{3}{4}$ (nu doar varianta N). c) determinați pe câți biți trebuie să fie CAN folosit dacă se implementează varianta tehnicianului. d) determinați pe câți biți trebuie să fie CAN în cazul optim.

Indicație: În cazul cu zgomot analogic $U_{zg \text{ RMS}} = \Delta V/\sqrt{12}$.

RMS = Root Mean Square (valoarea efectivă).

4.3. Rapoarte de rejecție: RRM, RRS

RRS = Raportul de Rejecție (a perturbației) Serie;
RRM = Raportul de Rejecție (a perturbației de) Mod Comun;
CAN DP = Convertor Analog-Numeric Dublă-Pantă.

APLICAȚIA 4.6.

Calculați RRS al unui voltmetru cu FTJ și CAN DP la $f = 50.1 \text{ Hz}$, proiectat pentru România. RC = 100 ms.

Bibliografie

[FarnellFluke8808a] Farnell's Fluke 8808A digital multimeter, disponibil online la https://ro.farnell.com/fluke/fluke-8808a/multimeter-dig-bench-5-5-digits/dp/1503747?gross_price=true, pe 13.12.2020.

[34DigitalMultimeter] 3-3/4 DIGIT 4000 COUNT AUTORANGING DIGITAL MULTIMETER, disponibil online la <https://www.mecoinst.com/meco-product-details/334-digit-4000-count-autoranging-digital-multimeter>, pe 13.12.2020.

[Eleshop] Eleshop, Digits and counts explained, online pe 13.12.2022, la <https://eleshop.eu/knowledgebase/digits-counts/>.

[METcPreda] Conf. Radu Preda, Curs Măsurări în electronică și telecomunicații, Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, disponibil la http://www.comm.pub.ro/preda/metc/slides/METc_Curs7.pdf, pe 13.12.2022.