

CONTRIBUȚII LA EXTINDEREA INTERVALULUI DE MĂSURARE A ETALONULUI NAȚIONAL AL UNITĂȚII DE MĂSURĂ VOLT A TENSIUNII ELECTRICE ÎN CURENT ALTERNATIV

*Dorin FLĂMÂNZEANU**

Rezumat: *Articolul descrie primele încercări de implementare a metodei step-up de transfer termoelectric c.a. – c.c. Procedura presupune transferul unității în sens crescător, între două dispozitive termoelectrice, unul operat la tensiune nominală, celălalt la o valoare mai mică decât tensiunea nominală. Acesta, la rândul lui va transmite unitatea mai departe, altui dispozitiv termoelectric, la tensiunea sa nominală. Presupunerea, validată de practică, care stă la baza acestei proceduri este că între valoarea de transfer și valoarea nominală, eroarea de transfer a dispozitivului nu se modifică. În articol sunt prezentate rezultatele etalonării în regim semiautomat a unui calibrator tip 5720A, de fabricație Fluke, pe intervalul de tensiune în c.a. de 22 V, în domeniul de frecvență 20 Hz...100 kHz.*

Abstract: *The paper describes first essay of implementation of AC-DC step-up transfer method. The procedure implies the upward transfer of the unity among two thermal devices, one working at its rated voltage and other working at a lower voltage than its rated one. The second device shall forward the unity to another thermal device at its rated voltage. The validated by praxis assumption, which underlies this procedure, consists of that the AC-DC transfer error does not change between the transfer voltage and the rated voltage. The paper deals with the half-automatic calibration results of a 5720A multifunction calibrator, made by Fluke Co., on 22 V AC Voltage range and 20 Hz...100 kHz frequency range.*

Cuvinte cheie: *transfer c.a.-c.c., metoda step-up*

Key words: *AC-DC transfer, step-up procedure*

1 Introducere

Metoda de transfer termoelectric c.a. – c.c. este cea mai exactă metodă de măsurare a valorii efective a unei tensiuni în c.a. [1]. Această metodă aplică însăși definiția valorii efective, calculând valoarea unei tensiuni în c.c. care produce același efect cu tensiunea alternativă măsurată. În acest caz este vorba despre efectul termoelectric, cel mai stabil și mai ușor de măsurat cu mijloace electrice dintre efectele curentului electric. În plus, metoda este pretabilă automatizării, permițând efectuarea unui număr mare de măsurări în condiții de repetabilitate, în vederea scăderii incertitudinii asociate rezultatului măsurării.

Conform definiției, eroarea de transfer c.a.-c.c. pentru un convertor termoelectric este [2] :

$$\delta = \frac{V_{ca} - V_{cc}}{V_{cc}} \Big|_{V_{out_ca}=V_{out_cc}}$$

unde:

δ = eroarea de transfer c.a.-c.c. [μ V/V]

V_{ca} = valoarea efectivă a tensiunii alternative

V_{cc} = valoarea tensiunii continue care produce același efect termic cu tensiunea alternativă V_{ca} , materializat în egalitatea tensiunilor termoelectrice de la ieșire, V_{out_cc} și V_{out_ca}

Rezultă că, pentru un convertor termoelectric având eroare cunoscută δ , legătura între valoarea efectivă a tensiunii în c.a., V_{ca} , și valoarea tensiunii continue, V_{cc} , care produc aceeași tensiune termoelectrică la ieșire este:

$$V_{ca} = V_{cc} \times (1 + \delta)$$

*Institutul Național de Metrologie, Șos. Vitan-Bârzești nr.11, cod 042122, sector 4, București, tel. 334 50 60/int.177,
E-mai:l.doru.flamanzeanu@inm.ro

2 Metoda de lucru

Aplicarea în practică a relației anterioare este greoaie, presupunând ajustarea manuală a generatorului de curent continuu până la obținerea aceleiași tensiuni termoelectrice la ieșire. Dat fiind că între tensiunea termoelectrică de la ieșire și tensiunea continuă care produce încălzirea este o legătură exponențială, de forma:

$$V_{\text{out}} = k \cdot (V_{\text{in}})^n$$

unde k și n sunt parametri ușor dependenți de curentul prin încălzitor (implicit și de tensiunea de intrare), rezultă că:

$$V_{\text{in}} = \left(\frac{V_{\text{out}}}{k} \right)^{\frac{1}{n}}$$

și dacă luăm în considerare că în practică valorile V_{cc} și V_{ca} sunt foarte apropiate, deci și $V_{\text{out_cc}}$ și $V_{\text{out_ca}}$, atunci relația de definiție, după transformări și simplificări, devine:

$$\delta = \left(\frac{V_{\text{out_ca}}}{V_{\text{out_cc}}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Dezvoltarea în serie Taylor redusă la primii doi termeni ai funcției $f(x) = x^{\frac{1}{n}} - 1$ în jurul lui 1

$$\text{conduce la } x^{\frac{1}{n}} - 1 \approx \frac{1}{n} \cdot (x - 1),$$

de unde:

$$\delta = \frac{V_{\text{out_ca}} - V_{\text{out_cc}}}{n \cdot V_{\text{out_cc}}}$$

În practică se folosește o metodă prin care se determină diferența între eroarea de transfer c.a.-c.c. a convertorului termoelectric necunoscut, δ_x , și eroarea de transfer c.a.-c.c. cunoscută a unui convertor termoelectric etalon, δ_s , urmând ca apoi la această diferență să fie adunată δ_s :

$$\delta_x = (\delta_x - \delta_s) + \delta_s$$

Înlocuind, găsim că:

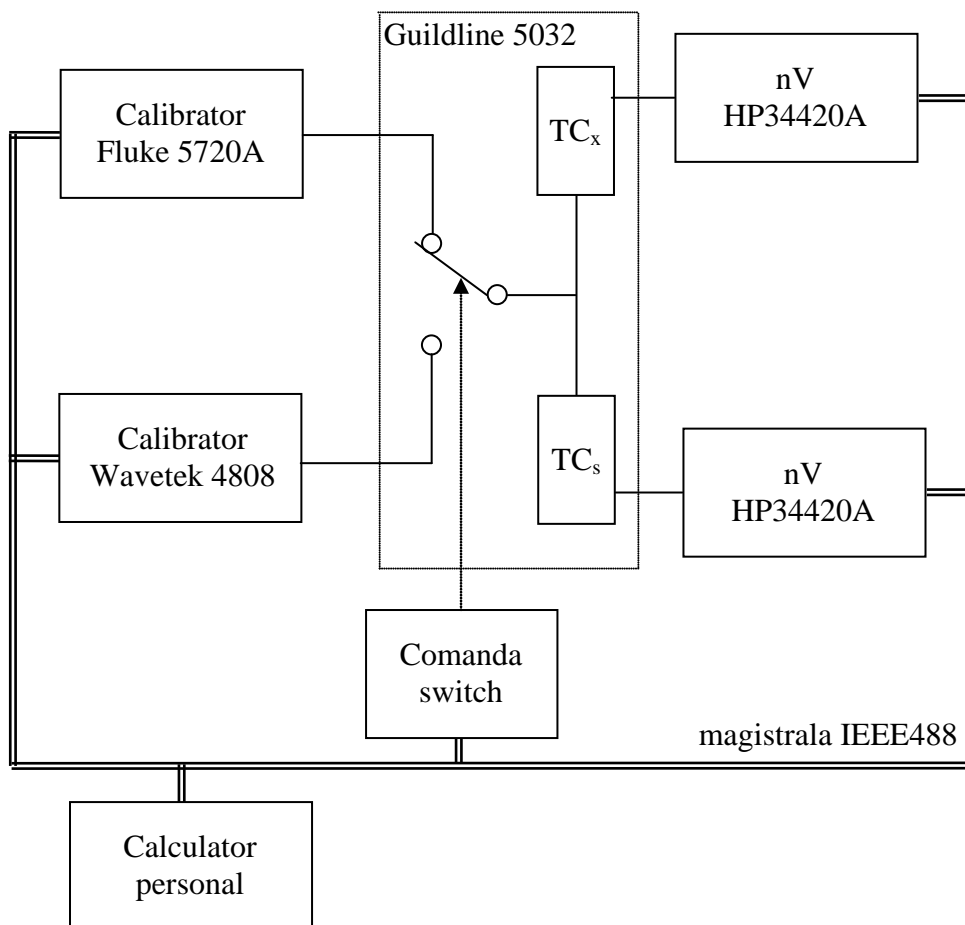
$$\delta_x = \frac{V_{\text{cax}} - V_{\text{ccx}}}{n_x \cdot V_{\text{ccx}}} - \frac{V_{\text{cas}} - V_{\text{ccs}}}{n_s \cdot V_{\text{ccs}}} + \delta_s,$$

unde, pentru simplificare, a fost eliminat indicele „out”. Acesta este expresia erorii de transfer c.a.-c.c. a convertorului termoelectric necunoscut, în funcție de eroarea de transfer a unui convertor termoelectric etalon cunoscut, atunci când ambele sunt alimentate simultan cu tensiune alternativă sau cu tensiune continuă de valoare apropiată de valoarea efectivă a tensiunii alternative.

Analiza ultimei relații conduce la setul de date necesare caracterizării convertorului termoelectric necunoscut:

- eroarea de transfer c.a.-c.c. cunoscută a unui convertor termoelectric etalon, δ_s ;
- tensiunile termoelectrice de la ieșirile celor două convertoare termoelectrice, cel necunoscut (V_{cax} , V_{ccx}) și cel etalon (V_{cas} , V_{ccs});
- exponenții n_x și n_s , determinați pentru tensiunea și frecvența de lucru.

2.1 Schema de măsurare



În afara celor două termocelule, cel necunoscut TC_x și cel etalon TC_s , au mai fost utilizate următoarele etaloane și instalații:

- calibrator multifuncție tip 5720A, fabricație Fluke, pentru alimentarea termocelulelor cu tensiune în curent continuu;
- calibrator tip 4808A, fabricație Wavetek, pentru alimentarea termocelulelor cu tensiune în curent alternativ;
- două nanovoltmetre digitale tip 34420A, fabricație Hewlett-Packard, pentru citirea tensiunilor termoelectromotoare V_{caX} și V_{caS} de la ieșirile celor două termocelule;
- baie de aer termostată, tip 5032, fabricație Guildline;
- comutator CA-CC, fabricație METAS, design special pentru transfer c.a.-c.c.;
- calculator personal, având instalat mediul de programare LabVIEW Development System, ver. 8.2.

Toate aceste etaloane și instalații, cu excepția băii de aer, au fost conectate la o placă de interfață IEEE488, pe magistrală PCI, instalată în PC-ul gazdă pentru LabVIEW.

Cele două termocelule, cel de etalonat (TC_x) și etalon (TC_s), sunt conectate la un conector în T, cu mufe tată tip N. Conectorul central este legat cu ieșirea AC/DC output a comutatorului special switch. Întregul ansamblu este introdus în baia de aer Guildline 5032, care are rolul de a menține constantă temperatura joncțiunii reci a termocelulelor și, simultan, de cușcă Faraday. La cele două intrări ale comutatorului special sunt aduse, pe fire torsadate, tensiunea alternativă de la calibratorul Wavetek 4808 și tensiunea continuă de la calibratorul Fluke 5720A.



Fig. 1 – Implementarea schemei de măsurare, în exteriorul băii de aer termostată

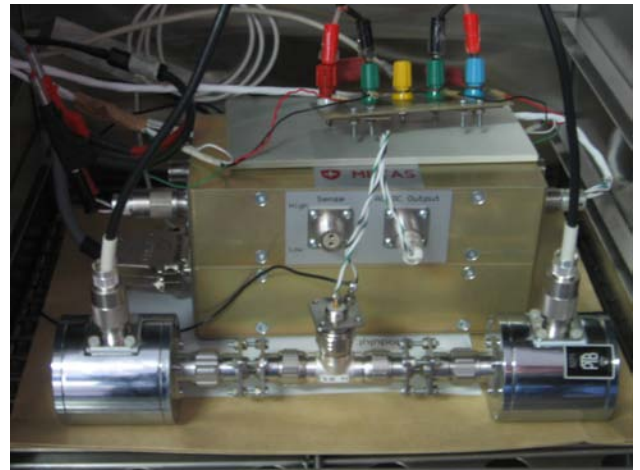


Fig. 2 – Implementarea schemei de măsurare, în interiorul băii de aer termostată

2.2 Secvența de măsurare

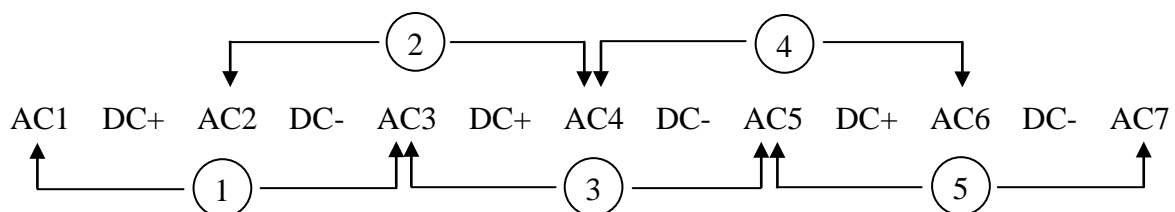
Fiecare punct de măsurare are ca parametri tensiunea alternativă de valoare efectivă V și frecvență f . Calibratorul Fluke 5720A, furnizorul tensiunii continue cu polaritate reversibilă, este setat să genereze tensiune la valoarea V . Calibratorul Wavetek 4808, furnizorul tensiunii alternative, este setat să genereze tensiune la valoarea V și frecvența f .

Ambelor calibratoare li se activează ieșirile, iar comutatorul switch este trecut pe poziția AC.

În această configurație se așteaptă prin program 3600 secunde, pentru ca termoconvertoarele să ajungă la temperatura de lucru.

În continuare, urmează o secvență de 5 etape egale ca timp, în care termoconvertoarele sunt alimentate pe rând cu tensiune alternativă (AC1), tensiune continuă în sens direct (DC+), tensiune alternativă (AC2), tensiune alternativă în sens invers (DC-) și din nou cu tensiune alternativă (AC3) [3]. Fiecare dintre aceste 5 etape este compusă dintr-un timp de așteptare de 40 s, urmat de măsurarea simultană, timp de alte 40 s, a câte 100 de eșantioane din tensiunile de ieșire ale termoconvertoarelor, calculul mediilor și transmiterea valorilor acestora către calculator. După aceasta se trece la etapa următoare, în care celălalt calibrator alimentează termoconvertoarele, din nou 40 s de așteptare, măsurarea a 100 eșantioane ale ieșirilor, calculul mediilor s.a.m.d. până la completarea celei de a treia etape de alimentare cu tensiune alternativă.

Se efectuează 5 astfel de grupe de câte 5 etape, întrețesute conform modelului următor:

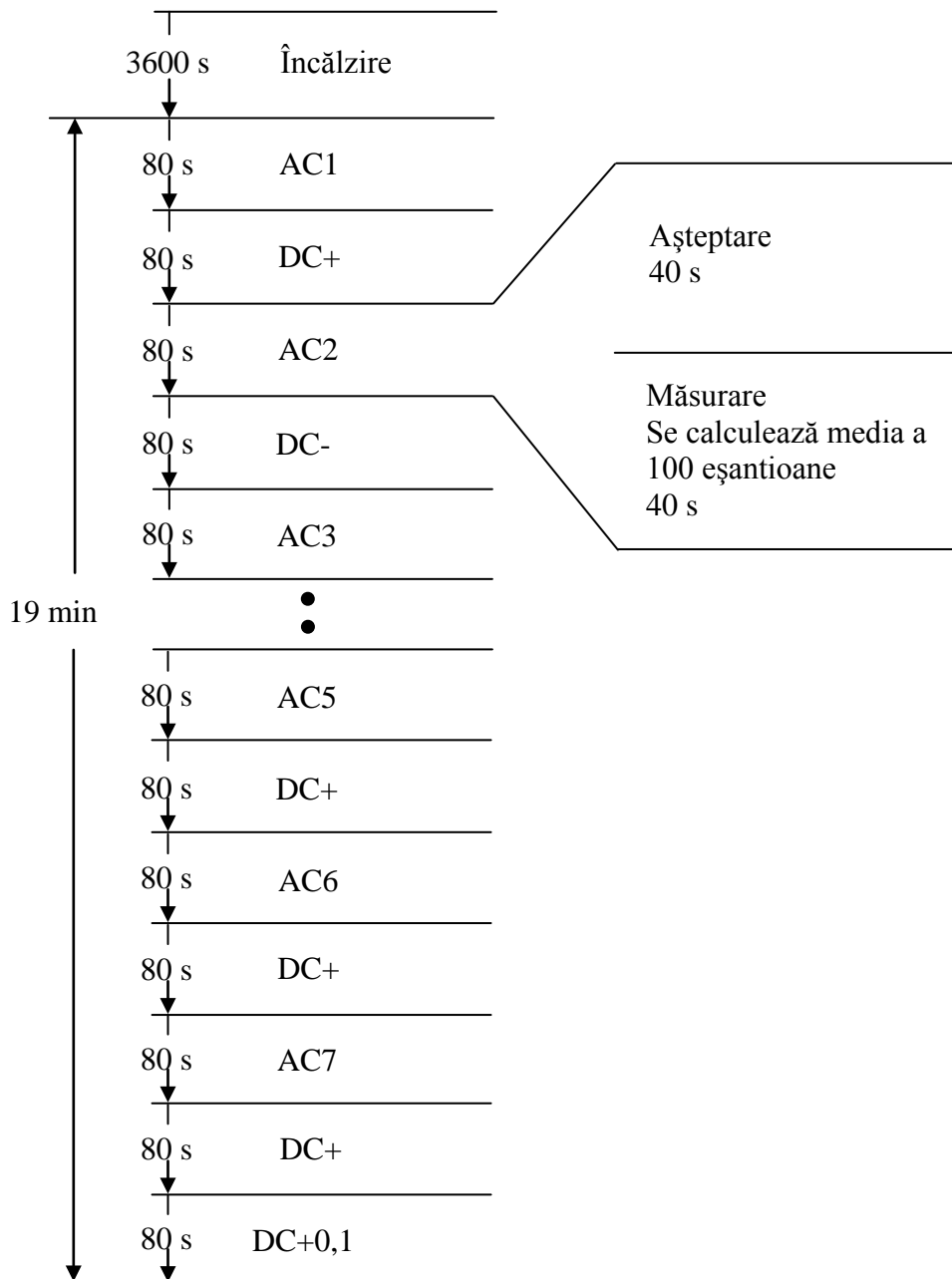


Se obțin astfel 13 perechi de valori medii ale tensiunilor termoelectromotoare de ieșire.

La sfârșitul celei de a cincea grupe, după AC7, se execută două etape suplimentare, în care convertoarele sunt alimentate în sens direct cu tensiunea nominală și apoi cu tensiunea nominală mărită cu 0,1 %. Cele 4 valori medii ale eșantionărilor din aceste ultime două etape vor servi la calculul exponenților n_x și n_s .

După ultima etapă, cea în care termoconvertoarele sunt alimentate direct cu DC + 0,1 %, se schimbă frecvența la care au loc măsurările. Întregul proces se repetă pentru fiecare valoare de interes a tensiunii și frecvenței. În cadrul lucrării sunt prezentate rezultate ale măsurărilor la 7 frecvențe: 20 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 200 kHz și 300 kHz.

O reprezentare grafică a măsurărilor la o frecvență este următoarea:



2.3 Rezultate ale măsurărilor între convertoare termoelectrice

În scopul verificării implementării corecte a metodei, au fost utilizate trei convertoare termoelectrice planare multijoncțiune (PMJTC), recent achiziționate de INM de la IPHT Jena (Germania), fabricate după un patent PTB. Convertoarele au tensiunea nominală de 3 V și au fost achiziționate împreună cu certificate de etalonare emise de PTB. Convertoarele au seriile 36/2006, 37/2006 și 40/2006.

Ideea verificării a fost de a se determina diferențele între erorile de transfer la diferite frecvențe, valorile fiind comparate cu diferențele rezultate din certificatele de etalonare. Rezultatele au fost comasate într-un tabel, care conține atât diferențele între erorile de transfer c.a.-c.c. între cele trei perechi rezultante (37 vs 36, 40 vs 36 (direct) și 40 vs 36 prin însumarea diferențelor 40 vs 37 și 37 vs 36). Incertitudinile extinse asociate prezentate au rezultat prin multiplicarea incertitudinii standard compuse cu un factor $k = 2$. Rezultatele sunt exprimate în milionimi (10^{-6}).

Serie		Frecvență						
		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz	300 kHz
37 vs 36	δ ($\mu\text{V/V}$)	2	-3.6	-11.1	-20.5	-27	-34	-43
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	5	2.0	2.0	3.0	4	5	5
40 vs 36	δ ($\mu\text{V/V}$)	2	-3.9	-11.7	-21.8	-28	-36	-46
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	5	2.0	2.0	3.0	4	5	5
40 vs 37 vs 36	δ ($\mu\text{V/V}$)	2	-3.8	-11.8	-21.8	-29	-36	-46
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	5	3.0	3.0	3.0	5	6	6

Se observă o foarte bună concordanță între valorile diferențelor erorilor convertorului cu seria 40 față de convertorul cu seria 36 direct măsurate și cele calculate prin însumarea diferențelor erorilor 40 vs 37 cu erorile 37 vs 36.

3 Procedura step-up

Pentru măsurarea tensiunilor mai mari decât 3 V se înseriază rezistoare adiționale, astfel încât tensiunea care cade pe convertorul termoelectric să fie cel mult 3 V, dar nu mai mică decât 1,5 V. Nu sunt admise supravoltări, chiar dacă convertorul admite supraîncălzirea fără a se distruge (arde), deoarece nu mai sunt valabile erorile de transfer c.a.-c.c. determinate anterior. Aceste grupuri serie convertor-rezistor trebuie etalonate fiecare separat, deoarece au comportament diferit de cel al convertorului separat. Ca urmare, a fost elaborată o metodă de transfer în trepte, în care o pereche serie convertor-rezistor având convertorul alimentat la valoarea nominală transferă unitatea unei alte perechi, care are convertorul subalimentat la cel puțin 50 % din valoarea nominală (step-up procedure). O îndelungată practică dovedește că convertoarele termoelectrice planare multijoncțiune, mulțumită sensibilității ridicate și a neliniarității neglijabile a răspunsului, sunt cele mai indicate pentru acest tip de transfer, având aceleași diferențe de transfer c.a.-c.c. în toată plaja de tensiuni de alimentare. Unii producători declară că aceste diferențe se păstrează chiar până la 10 % din valoarea nominală.

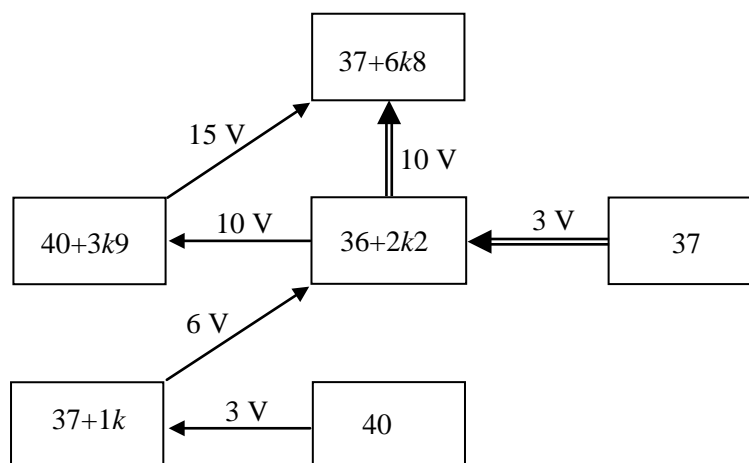
Ca urmare, a fost concepută o scară crescătoare de valori de tensiune la care să aibă loc transferuri ale unității de tensiune electrică la circa 60 % din valoarea nominală, plecând de la valoarea de bază de 3 V, astfel:

- seria 37 împreună cu un rezistor serie de 1 kohm etalonat la 3 V față de seria 40;
- seria 36 împreună cu un rezistor serie de 2,2 kohm etalonat la 6 V față de seria 37+1k;
- seria 40 împreună cu un rezistor serie de 3,9 kohm etalonat la 10 V față de seria 36+2k2;
- seria 37 împreună cu un rezistor serie de 6,8 kohm etalonat la 15 V față de 40+3k9. Această ultimă grupă, 37+6k8, are ca tensiune nominală 24 V.

Pe parcurs au fost planificate două verificări intermediare încrucișate, respectiv 36+2k2 (nominal 10 V) față de 37 la 3V, și 37+6k8 (nominal 24 V) față de 36+2k2 la 10 V.

A fost preferată această variantă considerată cu mai multe șanse de succes, deoarece lipsa totală de experiență ar fi condus la mari dificultăți în aprecierea corectă a cauzelor unui insucces: domeniu dinamic depășit sau comportarea neuniformă în frecvență a rezistorului adițional ?

Schema etalonărilor planificate este prezentată în figura următoare:



3.1 Rezistoarele adiționale

Din calcule au rezultat următoarele valori necesare pentru rezistoarele adiționale:

- 1 kohm;
- 2,2 kohm;
- 3,9 kohm;
- 6,8 kohm.

Datorită curentului de doar 3 mA care le străbate, niciuna dintre aceste rezistoare nu are de disipat mai mult de 60 mW, deci mai puțin decât o zecime din tipul constructiv ales, respectiv rezistoarele tip 1206 pentru montat pe suprafață, cu o putere nominală de 0,625 W.

A fost ales acest tip constructiv deoarece îndeplinește cât mai multe dintre cerințele evocate în literatura de specialitate:

- rezistor metalic, planar, pe suport ceramic (necesar neelicoidal, pentru inductanță parazită minimă);
- volum cât mai mic, pentru a avea capacități parazite minime;

Condiția cea mai greu de îndeplinit, aceea de a nu avea stratul rezistiv acoperit cu rășină pentru protecție, nu a putut fi satisfăcută, din lipsa unui fabricant de rezistoare SMD în România.

Rezistoarele obținute, comercial uzuale, au fost lipite cu cositor de două conectoare tip N, mamă și tată, construindu-se 5 astfel de ansambluri, suplimentându-se cu valoarea de 15 kΩ, pentru eventualitatea extinderii spre 50 V.

3.2 Caracterizarea metrologică a grupurilor rezistor

Metoda validată anterior și prezentată la paragraful 2, a fost aplicată succesiv pentru fiecare pereche participantă la procedură, pentru toate cele 7 frecvențe de interes.

Erorile de transfer c.a.-c.c. rezultate, împreună cu incertitudinile extinse cu factorul $k = 2$ asociate, sunt prezentate în continuare.

Pasul 1: caracterizare la 3 V a grupului (37+1k) față de 40

Serie		Frecvență						
		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz	300 kHz
37+1k vs 40	δ ($\mu\text{V}/\text{V}$)	-2	-2	3.6	16	34	87	170
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V}/\text{V}$)	9	6	6	6	7	7	7

Pasul 2: caracterizare la 6 V a grupului (36+2k2) față de (37+1k)

Serie \ Frecvență		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz	300 kHz
36+2k2 vs 37+1k	δ ($\mu\text{V/V}$)	1	-1	7	23	49	133	267
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	11	7	7	7	8	8	8

Pasul 3: caracterizare la 10 V a grupului (40+3k9) față de (36+2k2)

Serie \ Frecvență		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz	300 kHz
40+3k9 vs 36+2k2	δ ($\mu\text{V/V}$)	-13	-7	6	30	68	190	385
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	13	8	8	8	9	9	9

Pasul 4: caracterizare la 15 V a grupului (37+6k8) față de (40+3k9)

Serie \ Frecvență		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz	300 kHz
37+6k8 vs 40+3k9	δ ($\mu\text{V/V}$)	-25	-19	-7	13	49	178	390
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	15	10	10	10	10	13	21

Pasul 5(suplimentar) : caracterizare la 25 V a grupului (36+15k) față de (37+6k8)

Serie \ Frecvență		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz	300 kHz
36+15k vs 37+6k8	δ ($\mu\text{V/V}$)	34	24	26	41	76	208	426
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	16	11	11	11	11	14	24

3.3 Verificări intermediare

Conform planificării inițiale, au fost efectuate inclusiv două verificări intermediare încrucișate, pentru confirmarea rezultatelor etalonărilor.

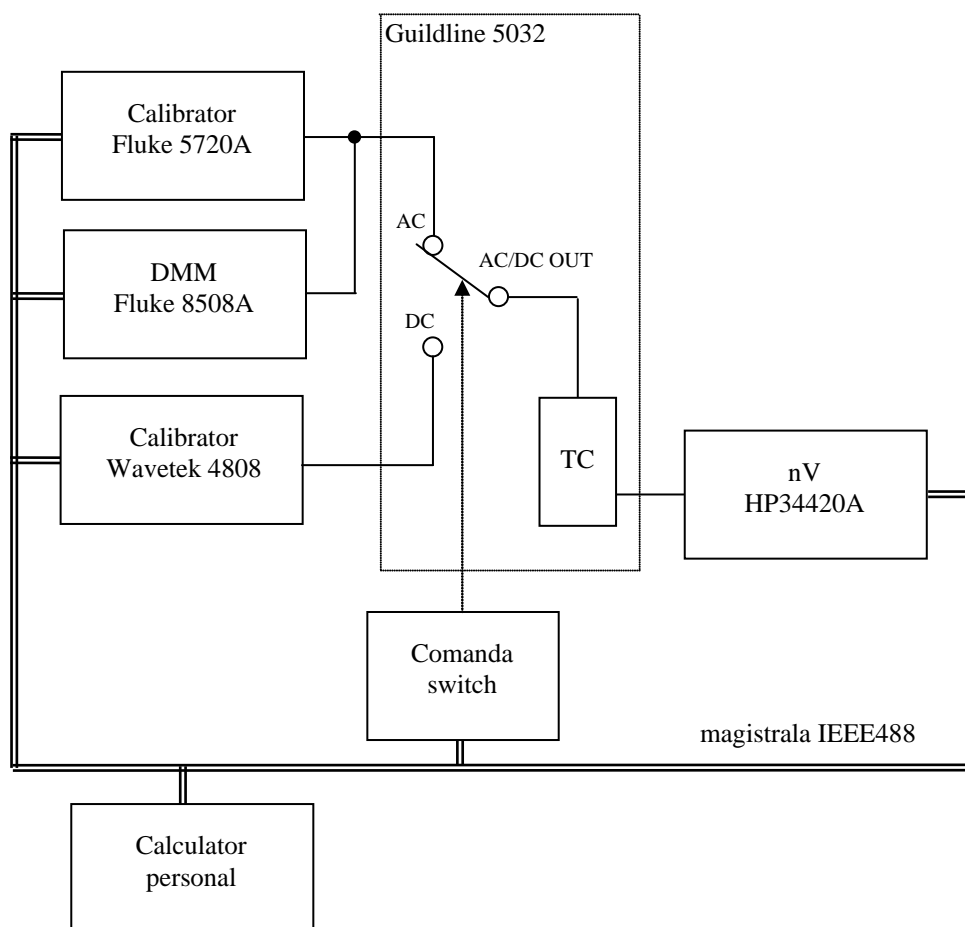
Verificare 1 : caracterizare la 10 V a grupului (37+6k8) față de (36+2k2)

Serie \ Frecvență		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz	300 kHz
37+6k8 vs 36+2k2	δ ($\mu\text{V/V}$)	-19	-13	0	22	58	185	395
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	13	12	9	9	10	10	13

Aceste rezultate trebuie comparate cu cele prezentate la pasul 4:

Tensiune Grup	12 V	13 V	14 V	15 V	16 V	17 V	18 V	19 V	25 V
40									
37+1k									
36+2k2									
40+3k9	•	•	•	•					
37+6k8	•	•	•	•	•	•	•	•	
36+15k					•	•	•	•	•

A fost utilizată următoarea configurație de măsurare:



Metoda utilizează calibratorul de etalonat pentru generarea tensiunii alternative necesare, împreună cu un calibrator de tensiune continuă (în cazul nostru Wavetek 4808A).

Tensiunea de la ieșirea convertorului termoelectric este măsurată/mediată de un nanovoltmetru (HP 34420A), trecerea de la un tip de tensiune la celălalt (continuu/alternativ) este efectuată de un comutator special conceput pentru transferul c.a-c.c..

Termoconvertorul este menținut la o temperatură constantă într-o baie de aer (Guildline 5032), care are rol și de cușcă Faraday. Întregul sistem funcționează sub comanda unui calculator, pe care rulează un instrument virtual sub mediul de programare LabVIEW.

Suplimentar, nu neapărat necesar pentru procedură, tensiunea alternativă de la ieșirea calibratorului de etalonat este monitorizată de un multimetru digital (Fluke 8508A).

Procedura presupune că, după încălzirea inițială, pentru fiecare punct de etalonare (tensiune/frecvență) alimentarea convertorului termoelectric să fie alimentat în secvența prezentată la punctul 3.3, pe rând cu tensiune alternativă generată de calibratorul necunoscut și cu tensiune continuă de polarități alternate, generată de calibratorul etalon de tensiune continuă. După ce cele 100

Rezultatele la frecvența de 1 kHz prezintă o bună concordanță până la 15 V (distanța între erori este mai mică decât jumătate din suma incertitudinilor asociate). Deși rezultatele concordă și peste tensiunea de 15 V, apare clar o tendință divergentă, de la 16 V, odată cu utilizarea ca etalon a grupului 37+6k8.

Erori relative la tensiunea nominală de 10 V							
Frecvența		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	300 kHz
Institut							
INM	δ ($\mu\text{V/V}$)	13	0	-5	-17	-22	151
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	10	9	9	9	10	10
METAS	δ ($\mu\text{V/V}$)	-14	-8	-8	-6	19	30
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	50	30	30	30	30	160

La tensiunea de 10 V, există o bună concordanță până la frecvența de 50 kHz, după care, deși apare o evidentă divergență, inclusiv la 300 kHz nu se pierde concordanța.

Erori relative la tensiunea nominală de 15 V							
Frecvența		20 Hz	1 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz	300 kHz
Institut							
INM	δ ($\mu\text{V/V}$)	-24	-15	-7	14	21	-178
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	10	9	9	10	10	10
METAS	δ ($\mu\text{V/V}$)	-20	-15	-8	-4	22	12
	$U(\delta)$ ($\mu\text{V/V}$)	50	30	30	30	30	140

La tensiunea de 15 V, concordanța se păstrează până la frecvența de 100 kHz, după care se pierde, fapt evidențiat la 300 kHz.

În urma comparării rezultatelor obținute prin metoda step-up cu datele înscrise în certificatul de etalonare al calibratorului Fluke 5720A, emis de METAS, Elveția, pentru domeniul tensiunii de la 3 V la 15 V și pentru domeniul de frecvențe de la 20 Hz la 100 kHz se poate concluziona că procedura a fost implementată corect pentru aceste valori. Fractura ce se observă peste 15 V, odată cu introducerea grupului 37+6k8, se datorează fără nici un dubiu acestui ansamblu.

5 Concluzii

Metoda step-up implementată a fost verificată cu succes la etalonarea pe intervalul de 20 V al calibratorului Fluke 5720A, recent etalonat la institutul elvețian de metrologie METAS. Valorile din certificatul de etalonare primit pentru intervalul de 20 V de tensiune alternativă au confirmat valorile obținute prin metoda de transfer termoelectric. Etalonarea a fost efectuată semiautomat, singura intervenție a operatorului fiind pentru a schimba mecanic grupurile convertor +rezistor adițional.

Rezistoarele utilizate, de tip SMD, au permis prin gabaritul lor redus, scăderea influenței capacităților parazite și atingerea punctului 15 V/ 100 kHz. O viitoare cale sigură de depășire a acestui punct ar fi procurarea unor rezistoare fără acoperirea de protecție, care influențează răspunsul la frecvențe și tensiuni mari.

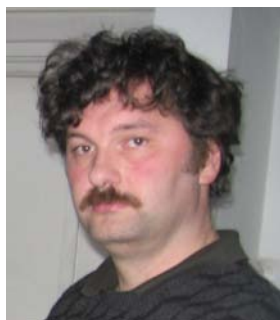
Direcțiile unei viitoare continuări a încercărilor de extindere a implementării procedurii step-up dincolo de 15 V/ 100 kHz pot fi următoarele:

- construirea unui model matematic al comportării rezistoarelor adiționale actuale în scopul găsirii cauzelor de comportare neliniară, în tensiune și în frecvență;
- modificarea algoritmului actual de măsurare, bazat pe multe date empirice, moștenite de la convertoarele monojonctiune (în special în privința timpilor pregătitori, de preîncălzire). Ar fi un câștig foarte mare scăderea timpilor de măsurare, dat fiind că în prezent etalonarea unei singure valori de tensiune la toate cele 7 frecvențe disponibile necesită aproape patru ore, cu tot cu încălzirea inițială.
- construirea unui filtru la ieșirea de curent continuu a convertoarelor, util la frecvențe joase. Efectul său va fi scăderea incertitudinilor de măsurare la aceste frecvențe.

BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Klonz, CCE comparison of ac-dc voltage transfer standards at the lowest attainable level of uncertainty, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, April 1997, vol.46, pp. 342-346
- [2] F. L. Hermach, E. S. Williams, Thermal Converters for Audio-Frequency Voltage Measurements of High Accuracy, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, December 1966, vol.IM-15, pp. 260-268
- [3] K. Takahashi, H. Sasaki, M. Klonz, T. Endo, An Accurate AC-DC Voltage Transfer Standard Test System Using the Differential and the Dual-Channel Method , IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, April 1993, vol.42, pp. 630-634
- [4] Certificat de etalonare nr. 212-03255, emis de către Federal Office of Metrology METAS, Elveția, la data de 03.09.2007

-
- Primit în data de 18 iulie 2006; acceptat în data de 17 septembrie 2006
 - Revizie științifică: *dr. ing. Ion ASAVINEI*



Dorin FLĂMÂNZEANU

- Absolvent al Facultății de Electronică și Telecomunicații, secția Dispozitive, Componente și Aparatură Electronică, a Institutului Politehnic București, în 1989
- Cercetător științific gr. III din 2006
- Doctorand inginerie electrică, Universitatea „Politehnica” din București
- Responsabil al Etalonului Național al unității de măsură **volt** a tensiunii electrice în curent alternativ