



SÚHRNNÁ SPRÁVA

k previerke národného etalónu

Národný etalón: NE 024/02 Národný etalón vysokofrekvenčného napätia

Osoba zodpovedná Ing. Peter Vrabček, CSc.
za národný etalón:

Správu vypracoval: Ing. Marek Ralbovský

Bratislava, december 2010

Obsah	Strana
1. Úvod	3
2. Technicko-ekonomické zdôvodnenie	3
3. Podrobný opis etalónu	4
4. Špecifikácia metrologických vlastností etalónu	6
4.1. Kalibrácia hlavíc A 55 (Fluke)	6
4.2. Porovnanie termoelektrických hlavíc s termistorovou hlavicom	8
4.3. Kalibrácia termistorovej hlavice HP 8478B termistorovým etalónom SMU	10
4.4. Neistoty etalónu v f. napätia	12
4.4.1 Termoelektrické hlavice A 55 (FLUKE)	12
4.4.2 Termistorové etalóny	12
5. Prehľad zásadných výsledkov výskumu etalónov	13
5.1. Prehľad výsledkov do návrhu na vyhlásenie NE (r2000)	13
5.2. Prehľad výsledkov výskumu a sledovanie od návrhu na vyhlásenie NE	16
6. Záver	17
7. Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za etalón	17
8. Zoznam publikácií o etalóne v odbornej literatúre	17
9. Literatúra a zoznam dokumentov súvisiacich s národným etalónom	18

Názov etalónu : Národný etalón vysokofrekvenčného napätia

Forma a dátum vyhlásenia etalónu : Certifikát národného etalónu č. 024/02 zo dňa 27.3.2002 vydaný SMU v súlade s ustanovením §32 ods. 2 písm. d) zákona č. 142/2000 Z.z. o metrologii a o zmene a doplnení niektorých zákonov na základe posúdenia návrhu č. U-1 zo dňa 27.4.2000 na schválenie národného etalónu.

Osoba zodpovedná za etalón : Ing. Peter Vrabček CSc.

1. ÚVOD

Súhrnná správa pre revíziu národného etalónu vychádza zo súhrnnej správy o etalóne [21] a zachytáva zmeny tak v zostave pracoviska ako aj vo všetkých technických a ekonomických oblastiach súvisiacich s etalónom a jeho uchovávaním.

Základnou fyzikálnou veličinou v sústave SI pre oblasť elektriny a magnetizmu je elektrický prúd (jednotka 1 A), z ktorej je odvodené napätie a odpor vo väzbe na ďalšie základné veličiny SI. Vysokofrekvenčné napätie ako priamo nemerateľná veličina je nadviazané na tieto odvodené jednosmerné veličiny využitím princípu substitúcie účinkov vf. prúdu účinkami jednosmerného prúdu na vhodnom prvku (napr. termistor, bareter, termoelektrický článok, dióda). Kľúčovou úlohou pri realizácii etalónu vf. napätia je zistenie účinnosti tejto substitúcie, ktorá sa vyjadruje spravidla ako AC/DC diferenciacia. (Používa sa aj označenie RF/DC diferenciacia najmä pre oblasť vyšších frekvencií). NE vysokofrekvenčného napätia umožňuje určenie tejto diferencie a tým tvorí základ metrologického zabezpečenia veličiny vysokofrekvenčné napätie.

Poznámka : citovaná literatúra je uvedená v kapitole 9.

2. TECHNICKO- EKONOMICKÉ ZDÔVODNENIE POTREBY ETALÓNU

Vysokofrekvenčné napätie je dominujúcou vysokofrekvenčnou veličinou vo frekvenčnom pásme do 1 GHz a je základom pre kalibráciu mnohých druhov meradiel používaných v praxi. K najčastejšie sa vyskytujúcim meradlám patria vf. voltmetre, selektívne mikrovoltmetre, vf. generátory, merače úrovne, multimetre s vf. rozsahmi, meracie prijímače. Ďalej sa vyskytujú požiadavky na kalibráciu viacparametrových meradiel špičkových aj servisných, ku ktorým môžeme zaradiť napr. osciloskopy, spektrálne analyzátory, umelé siete, TV generátory, merače TV signálu, skreslomery, merače modulácie a i. vf. napätím je možná aj náhradná kalibrácia zoslabovačov nakoľko etalonáž zoslabenia zatiaľ v SMU nebudujeme. Z mimoriadne širokého dynamického rozsahu vf. napätia, ktoré sa vyskytuje v praxi (približne 1 μ V až 100 V) etalón vf. napätia realizovaný v SMU pokrýva oblasť 0,2 V až 1 V.

Meradlá uvedené v predchádzajúcom odstavci sú základnými meradlami vo všetkých oblastiach národného hospodárstva v ktorých sa využíva pre prenos signálu elektromagnetická energia. Kľúčovými sú pre celú oblasť telekomunikácií a rádiokomunikácií bez ktorých je dnešný život nepredstaviteľný. Zasahujú však napr. aj do oblasti zabezpečenia letovej pre-

vádzky, zdravotníctva a meraní EMC. Význam tejto oblasti je pre zabezpečenie obranyschopnosti štátu pri dnešných elektronických systémoch aktívnych aj pasívnych evidentný.

Prehľad stavu metrologického zabezpečenia v.f. napätia vo vybraných zahraničných metrologických ústavoch je v správe [1].

Metrologické zabezpečenie vysokofrekvenčných veličín v plnom rozsahu je prístrojovo a tým aj finančne mimoriadne náročné, preto sa vzhľadom na počet požiadaviek zabezpečujú aj kalibrácie pre zákazníkov. Tým SMU supluje aj SLM ako akreditované kalibračné laboratórium.

Medzi našich stálych zákazníkov patria predovšetkým Slovak telekom, a.s. so svojimi pracoviskami v Bratislave, Piešťanoch a Košiciach, Metrologické laboratórium Generálneho štábu ASR v Trenčíne, Letecké opravovne, š.p. Trenčín, EVPÚ Nová Dubnica, Vojenský výskumný a skúšobný ústav Žilina, (Matsushita, a.s. Stará Ľubovňa, Křížik, a.s. Prešov, KFL-ZVL Kysucké Nové Mesto), STU FEI Bratislava, Múr Cass Košice, Telenor Slovakia s.r.o. a organizácie zabezpečujúce montáž a prevádzku mobilných sietí napr. Sirius, Celadon, Molpir, Movys. Organizácie uvedené v zátvorke prešli reštrukturalizáciou. Záujem o kalibráciu prejavilo viac organizácií pre ktoré sme zaslali ponuky napr.: VÚS Banská Bystrica, Dopravný podnik Bratislava, a.s., Vojenský letecký technický a skúšobný ústav Košice, VSS Košice, Veliteľstvo logistiky ASR Trenčín a zo zahraničia Istraživanijeu elektronici telekomunikacija Zagreb a Metrologický ústav Kazachstan.

Vyskytli sa aj požiadavky zo zahraničia napr. fy. Comtest Instrumentation B.V. z Holandska a Testcom a.s. Praha. Údaje poukazujú na prebiehajúce zmeny vo výrobných náplni podnikov, ktoré spôsobujú aj pokles požiadaviek. V súvislosti so zavádzaním systémov kvality a certifikácie očakávame v budúcnosti opäť nárast.

3. PODROBNÝ OPIS ETALÓNU

Vývoj názorov na realizáciu primárneho etalónu v.f. napätia a úvahy, ktoré viedli k súčasnému stavu návrhu zostavy NE sú podrobne uvedené v lit.[1]. NE v.f. napätia tvoria 4 ks termoelektrických hlavíc A55 fy. FLUKE, z ktorých sú 2 ks pre napätie 1 V (v.č. 5075001 a 6920001) a 2 ks pre napätie 2 V (v.č. 4620005 a 6070005), ďalej 3 ks termistorových hlavíc 8478B fy. Hewlett-Packard (v.č. 20245, 25306 a 25307) a 5 ks termistorových etalónov realizovaných v SMU (v.č. E1, E3, N1, N2 a N3).

Prvé dva typy etalónov (FLUKE a HP) sú špičkové komerčné výrobky, ku ktorým výrobcovia dodávajú certifikáty, takže v prvom priblížení môžeme porovnávať s nimi výsledky našich kalibrácií.

Parametre termoelektrických hlavíc A55 sú podľa výrobcu lit.[2] nasledujúce :

- Frekvenčné pásmo : (10 až 50) MHz,
- AC/DC diferencia : $\pm 0,01$ % (1 MHz), $\pm 0,03$ % (10 MHz), $\pm 0,1$ % (30 MHz), $\pm 0,3$ % (50 MHz)
- Vstupná impedancia : $\sim 200 \Omega/V$
- Výstupné napätie : 7 mV
- Reverzná chyba : $< 0,025$ %,
- Vstupný konektor : GR 874-L (tzv. „tulipán“)

Parametre termistorových hlavíc 8478 B sú podľa výrobcu lit.[3] nasledujúce :

- Frekvenčné pásmo : 10 MHz až 18 GHz
- Rozsah výkonu : 1 μ W až 10 mW (max. 30 mW str. výkonu)
- Vstupná impedancia : 50 Ω

- Pracovný odpor : 200 Ω
- Max. činiteľ odrazu : 0,273 (10 až 30 MHz), 0,15 (30 až 100 MHz), 0,048 (100 MHz až 1 GHz)
- Vstupný konektor : N-male (\uparrow – precision)

Parametre termistorových etalónov sú vyhodnotené na našom pracovisku, metodika a výsledky sú v správe [1], základné parametre sú nasledujúce :

- Frekvenčné pásmo : 100 kHz až 1,5 GHz
- Rozsah napätia : (0,1 až 1) V
- Charakteristická impedancia 50 Ω
- Pracovný odpor : 100 Ω

Etalóny typu A 55 (termoelektrické hlavice) sú určené pre použitie vo frekvenčnom pásme (0 až 50) MHz, etalóny typu 8478 B (termistorové hlavice) sú určené pre použitie vo frekvenčnom pásme od 10 MHz do 18 GHz, ale pre účely etalonáže vf. napätia ich používame vo frekvenčnom pásme od 20 MHz do 1 GHz, t.j. frekvenčné pásma sa dostatočne prekrývajú.

Etalóny sa pripojujú do meracích zostáv podľa požadovaného spôsobu kalibrácie a frekvencie. Kalibrácia termoelektrických hlavíc (A 55) sa uskutočňuje v zostave podľa obr.1.a, (resp.1.b) porovnanie termoelektrických hlavíc (A 55) s termistorovou hlavicom (8478 B) v zapojení podľa obr. 2.a, (resp. 2.b) prenos jednotky z termistorového etalónu vyvinutého a zhotoveného v SMU na termistorovú hlavicu (8478 B) v zapojení podľa obr. 3.a, (resp.3.b). Etalóny sú v blokových schémach vyšrafované. Uvedené meracie zostavy sa používajú tak pre vlastné kalibrácie ako aj pre medzinárodné porovnávacie merania.

Prístroje v meracích zostavách podľa obr. 1.a až 3.b sú označené všeobecným označením a väčšina z nich sa používa vo všetkých troch zapojeniach. Ich základné parametre sú uvedené v nasledujúcom prehľade, v ktorom sú uvedené aj alternatívne možnosti, pričom na prvom mieste sa uvádza prístroj, ktorý najviac vyhovuje v danom zapojení. Koncom r. 2003 sme zakúpili číslicový nanovoltmeter 34420A, ktorého zapojenie do meracej zostavy je na obr. 1.b, 2.b a 3.b pričom na obr. 3.b je aj alternatíva s využitím bolometrického mostíka 432A (HP). Tieto prístroje významne zlepšujú komfort merania a súčasne zlepšujú rozptyl namerných hodnôt. Ďalej boli zakúpené termistorové hlavice 8478B v.č. 20245 a v.č. 25307 na rozšírenie etalónovej zostavy. Neskôr v roku 2010 bola zistená porucha na hlavici v.č. 5579. Táto hlavica bola vyradená zo zostavy etalónu.

DC kalibrátor napätia : 341 A (FLUKE) neistota 0,01 % nastavenej hodnoty, stabilita výstupu 0,0007 % nastavenej hodnoty.

Vf. generátor : SMG (R&S) (0,1 až 1000) MHz, výst. nap. max. 1,4 V; 83623 B (HP)(0,01 až 20) GHz, výstupné napätie min. 17 dBm.

Nanovoltmeter : 7 1/2 digitový nV/ $\mu\Omega$ meter 34420A (AGILENT TECHNOLOGIES) [16] dvojkanálový s rozsahmi 1 mV až 100 V pre vstup 1 a 1mV až 10 V pre vstup 2 s max. rozlíšením 0,1 nV (na rozsahu 1 mV).

DVM 1-číslicový js voltmeter : 7081 (SOLARTRON-SCHLUMBERGER) : rozlíšiteľnosť 10 nV, neistota 13 ppm,

DVM 2-číslicový js voltmeter : 7150 (SOLARTRON-SCHLUMBERGER): rozlíšiteľnosť 1 μ V

Bolometrický mostík : presný automatický bolometrický mostík : PB-1C [4], pracovný odpor 100 alebo 200 Ω ; rozsah merania výkonu (0,1 až 45) mW, stabilita napätia na bolometrickom prvku max. 20 ppm/h, bolometrický mostík SMU; 432A (HEWLETT-PACKARD) [17] automatický merač výkonu pre použitie s teplotne kompenzovanými termistorovými

hlavicami. Výkonové rozsahy 10 μ W až 10 mW, presnosť 1 % z plnej výchylky na analógovej stupnici, s využitím externých výstupov V_{COMP} a V_{RF} sa presnosť zlepšuje na 0,2 %.

Meracie zostavy s prístrojmi a zariadeniami popísanými v predchádzajúcej časti sa používajú aj na kalibráciu, resp. prenos hodnoty veličiny na pracovné etalóny SMU a pri metrologických výkonoch na pracovné meradlá resp. etalóny zákazníkov. Prenos hodnoty veličiny v f. napätie sa uskutočňuje v súlade s vypracovanými schémami nadväznosti [5,6].

4. Špecifikácia metrologických vlastností etalónu

4.1. Kalibrácia hlavíc A 55 (Fluke)

Frekvenčne závislá chyba merania termoelektrickej hlavice sa určuje v zapojení podľa obr. 1.a (resp. 1.b) a je daná AC/DC diferenciou δ vyjadrenou vzťahom (1)

$$\delta = \frac{U_{AC} - U_{DC}}{U_{DC}} \cdot 100\% \quad (1)$$

kde : U_{AC} je v f. napätie

U_{DC} je substitučné jednosmerné napätie privedené na hlavicu (pri zachovaní termoelektrického napätia na výstupe hlavice rovnakého ako pri privedení U_{AC})

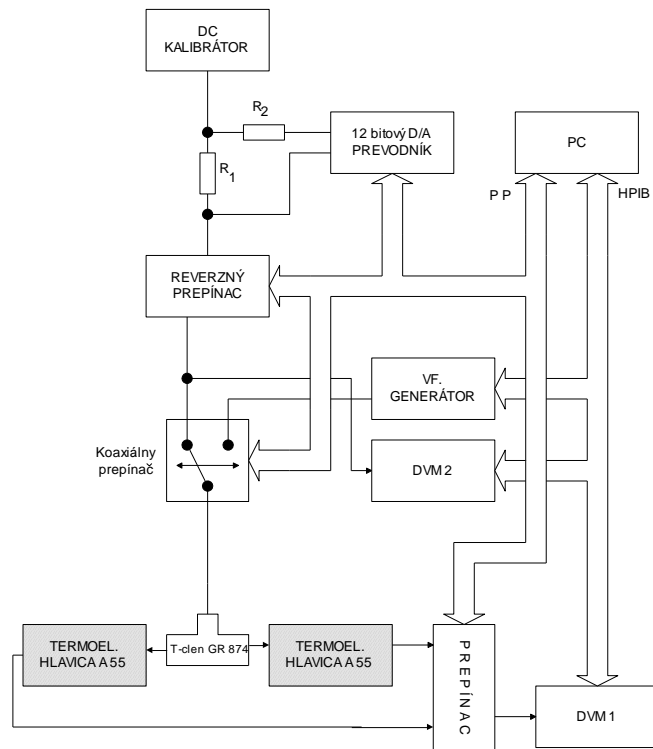
Napätie merané etalónovou hlavicom U_{eAC} je :

$$U_{eAC} = U_{eDC} (1 + \delta_e) \quad (1b)$$

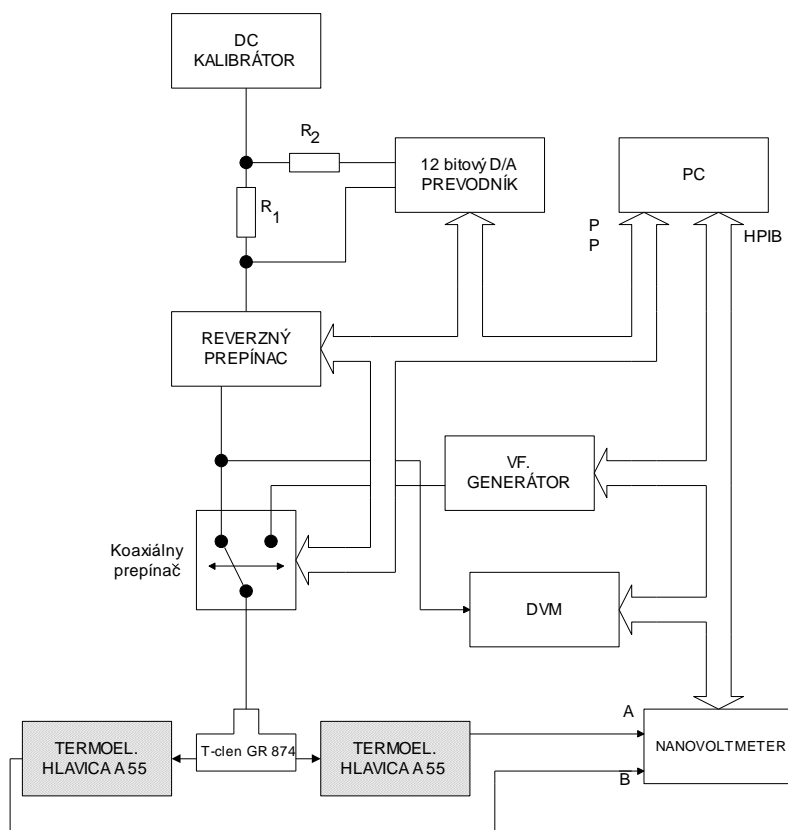
AC/DC diferencia kalibrovanej hlavice δ_{KAL} je daná vzťahom (2)

$$\delta_{KAL} = (U_{eAC} / U_{KALDC} - 1) \cdot 100\% \quad (2)$$

δ_e je dané buď výrobcom, medzinárodnými porovnávacími meraniami, alebo meraniami v rámci SMU



Obr. 1.a



Obr. 1.b

Hodnoty etalónovej hlavice A 55 v.č. 4620005 sú v tab. 1

Tab. 1

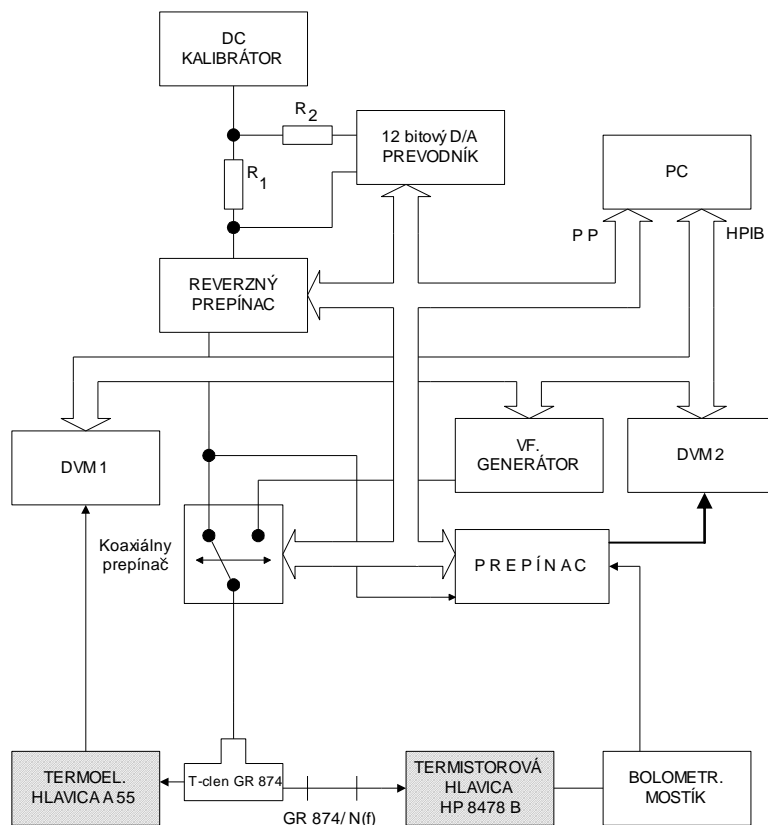
f [MHz]	Údaje z certifikátu		
	δ_e [%]	Neistota [%]	Typická AC/DC dif. [%]
0,05	-0,002	0,01	$\pm 0,01$
1	-0,003	0,05	$\pm 0,01$
10	-0,016	0,1	$\pm 0,015$
20	0,011	0,15	$\pm 0,02$
30	0,008	0,2	$\pm 0,1$
50	-0,005	0,5	$\pm 0,3$

Viacnásobnými krížovými kalibráciami našich etalónových termoelektrických hlavíc s hlavicami nielen 1 V a 2 V, ale aj 0,5 V a 3 V sme určili naše korigované hodnoty AC/DC diferencie, ktoré boli veľmi blízke hodnotám uvedeným v tab. 1 a s týmito sme sa zúčastnili medzinárodného porovnávacieho merania HF 2.

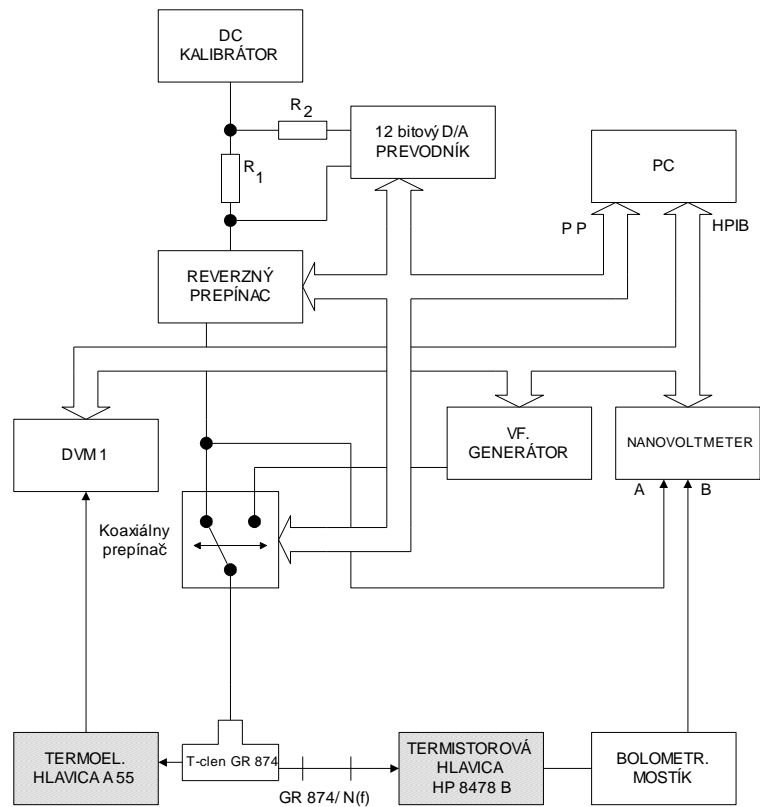
Podrobný postup pri ktorom sme sa meraniami presvedčili o akceptovateľnosti uvedených hodnôt je uvedený v správe [1], výsledky porovnávacieho merania sú v záverečnej správe porovnania [7] a ich stručný výber je v 5. kapitole tejto správy.

4.2. Porovnanie termoelektrických hlavíc s termistorovou hlavicom

Porovnanie hlavice A 55 (Fluke) a termistorovej hlavice 8478B (HP) sa uskutočňuje podľa obr. 2.a (resp.2.b)



Obr.2.a



Obr.2.b

Vf. napätie merané termistorovou hlaviceou U_{vf} je dané vzťahom (3):

$$U_{vf} = \frac{k_1 \sqrt{E_0^2 - E_1^2}}{2} \quad (3)$$

kde :

- E_0 - je jednosmerné napätie na termistorovom prvku hlavice 8478B zapojenej do obvodu automatického bolometrického mostíka bez privedeného vf. napätia na vstup hlavice
- E_1 - je jednosmerné napätie na termistorovom prvku hlavice 8478B po privedení vf. napätia na vstup hlavice. Z toho vyplýva nutnosť použiť vf. generátor s vypínateľným výstupným napätím.
- k_1 - frekvenčne závislá chyba merania termistorovej hlavice (HP) určená porovnávaním s termistorovou etalónovou hlaviceou SMU.

Referenčná rovina hlavice A55 je v strede T-člena, referenčná rovina hlavice HP 8478B je vo vstupnej rovine N-konektora hlavice. Tento rozdiel sa dá kompenzovať transformáciou referenčných rovín do jednej roviny pri znalosti komplexných impedancií hlavíc podľa lit. [2]. Frekvenčný rozsah prekrytia je 20 až 50 MHz.

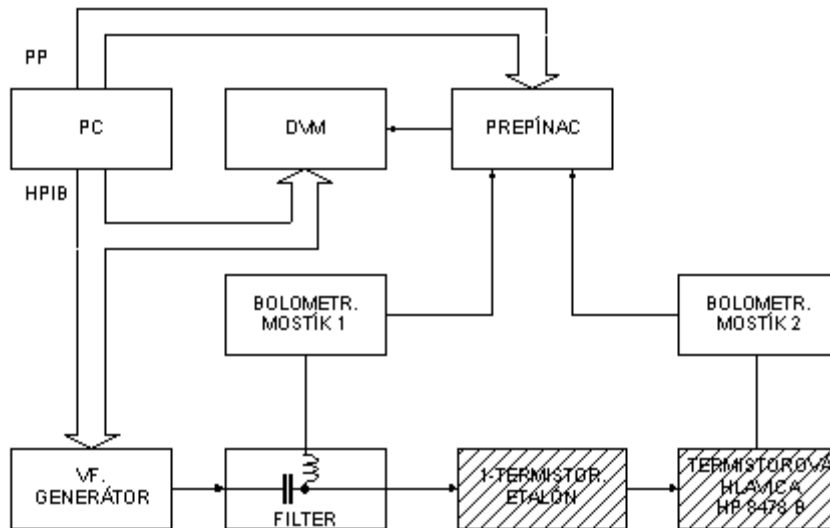
Pre názornosť uvádzame výsledky prenosu hodnoty AC/DC diferencie z hlavice A 55 (Fluke) v.č. 420005 na termistorovú hlaviceou 8478B (HP) v.č. 5579 pri 50 MHz a z termistorových etalónov SMU (priemer hodnôt etalónov N_1 až N_3 ; E_1 , E_3) taktiež na termistorovú hlaviceou 8478B. Odchýlky oboch prenosov po vykonaní korekcie a transformácii referenčnej roviny sú v tab. 2.

Tab. 2

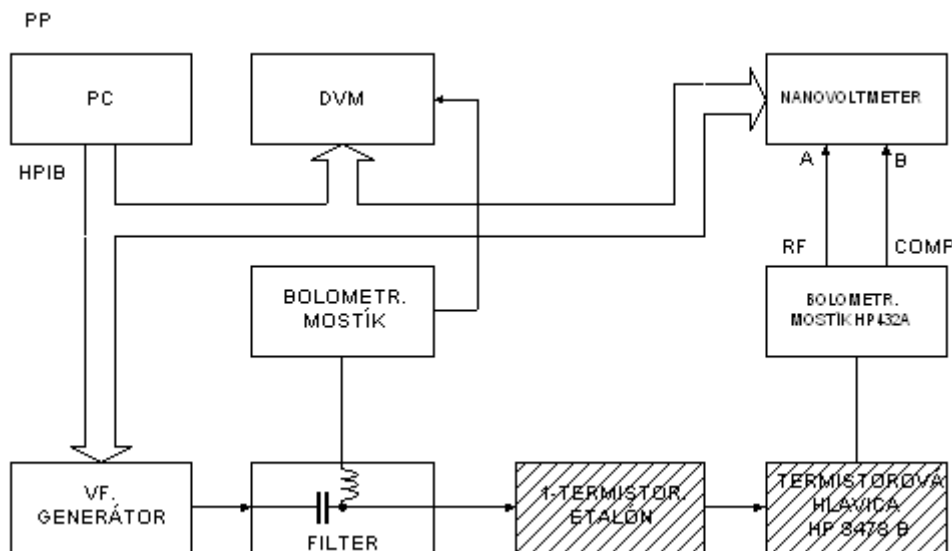
frekvencia [MHz]	$\delta = (U_{8478B}/U_{ETAL-1}) \cdot 100$ [%]	
	A 55 - 8478 B	Term. etalón – 8478 B
50	-0,715	-0,744

4.3. Kalibrácia termistorovej hlavice HP 8478 B termistorovým etalónom SMU

Kalibrácia sa uskutočňuje v zapojení podľa obr. 3.a (resp. 3.b)



Obr. 3.a



Obr. 3.b

Termistorový etalón je priechodzieho typu t.j. pre kalibráciu nie je potrebný T-člen. Etalónová hodnota vf. napätia $U_{vf.e}$ meraná blízko referenčnej roviny (asi 1 až 6 mm) výstupného N-konektora etalónu je daná vzťahom (4).

$$U_{vf.e} = k_2 \cdot \sqrt{E_0^2 - E_1^2} \quad (4)$$

kde :

E_0 – jednosmerné napätie na etalóne bez privedeného vf. napätia z generátora

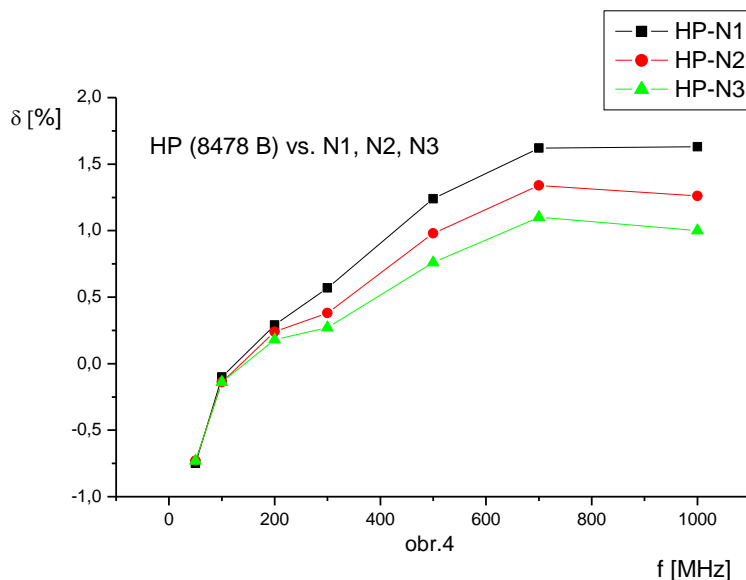
E_1 – jednosmerné napätie na etalóne s privedeným vf. napätím z generátora

Bolometrický mostík je pripojený k etalónu cez LC filter. Zo schémy je zrejmé, že výstup etalónu obsahuje jednosmernú zložku napätia, preto kalibrovaná hlavica musí mať galvanicky oddelený vstup (napr. HP 8478 B kondenzátorom, z čoho vyplýva dolné frekvenčné pásmo 20 MHz).

k_2 – frekvenčne závislá chyba merania termistorového etalónu SMU určená analýzou parametrov náhradnej schémy termistora uvedenej v správe [1]. Vf. napätie merané hlaviceou 8478B (HP) sa určí rovnako ako v kap. 4.2, podľa vzťahu (3). Výsledky kalibrácie termistorovej hlavice 8478B (HP) v.č. 5579 termistorovými etalónmi SMU sú v tab. 3. Hodnoty uvedené v tabuľke sú AC/DC diferencie [%] hlavice 8478B proti etalónovej hodnote danej termistorovými etalónmi SMU.

Tab. 3

Etalón	frekvencia [MHz]						
	50	100	200	300	500	700	1000
N1	-0,75	-0,10	0,29	0,57	1,24	1,62	1,63
N2	-0,73	-0,13	0,22	0,37	0,98	1,34	1,24
N3	-0,72	-0,14	0,17	0,25	0,78	1,10	1,00
E1	-0,68	-0,04	0,36	0,64	1,21	1,52	1,41
E1(98)	-0,75	-0,14	0,20	0,54	1,16	1,50	1,18
E3	-0,72	-0,15	0,18	0,40	0,90	1,23	1,23
E3(98)	-0,77	-0,19	0,24	0,34	1,00	1,30	1,25



Obr.4: Grafické znázornenie časti tab. 3 pre etalóny N1, N2 a N3 sú na obr. 4 (δ je hodnota AC/DC diferencie).

4.4. Neistoty etalónu vf. napätia

4.4.1 Termoelektrické hlavice A 55 (FLUKE)

Neistoty sú uvedené v kapitole 4.1. Neistota prenosu hodnoty na inú hlavicu má nasledujúce zložky :

$u_A \leq 0,002 \%$, rozdelenie hodnôt je normálne. Pri použití zapojenia podľa obr.1.b s nanovoltmetrom je hodnota $u_A \leq 0,0005 \%$,

u_{B1} – neistota hodnoty AC/DC diferencie – tab. 1

u_{B2} – neistota daná nepresnosťou merania výstupného termoelektrického napätia U_T :

Táto zložka neistoty sa určí zo vzťahu uvedeného v [13]

$$U_T = k \cdot U_{vst}^n \quad (5)$$

kde :

U_T – je napätie termoelektrického článku
(asi 7 mV pri $U_{vst} = U_{max}$ a 1,75 mV pri $U_{vst} = 0,5 U_{max}$)

U_{vst} – je napätie na vstupe termoelektrického meniča
 $n = 1,6$ až $1,9$

Deriváciou vzťahu (5) a po úprave dostaneme :

$$u_{B2} = \frac{\Delta U_{vst}}{\Delta U_T} = 0,002 \% \quad (6)$$

pre $\Delta U_T = 0,5 \mu V$ (dané teplotným driftom a šumom termoelektrického článku a stabilitou voltmetra)

$u_{B3} \leq 0,03\%$ - nelinearita etalónu v rozsahu $(0,5 \text{ až } 1)U_{max}$ (uplatní sa pri prenose hodnoty na hlavicu s iným menovitým napätím).

Zložky neistoty u_A , u_{B2} , u_{B3} sú zanedbateľné oproti u_{B1} danej výrobcom.

4.4.2 Termistorové etalóny

Neistota $u_A = 0,01$ až $0,001 \%$ v závislosti od veľkosti meraného napätia pri 10 meraniach. Rozdelenie hodnôt je normálne.

Zdroje neistôt typu B a ich veľkosti v % sú uvedené v tab 4.

u_B [%]	Zdroj neistoty	Frekvencia [MHz]							Poznámka
		50	100	200	300	500	700	1000	
u_{B1}	Stredný rozptyl termistor. etalónu (tab. 3)	0,02	0,02	0,04	0,11	0,14	0,15	0,15	1
u_{B2}	Priechodzí útlm N-konektora	0,13	0,18	0,26	0,32	0,41	0,48	0,58	2
u_{B3}	Nelinearita etalónov	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
u_{B4}	Nestabilita vf. generátora	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
u_{B5}	Neistota bolometrickej metódy merania (mostík, DC voltmeter)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
u_{B6}	Nepriprôsobenie etalónu a hlavice HP 8478B	0,05	0,05	0,04	0,02	0,09	0,23	0,51	3
u_B	$\sqrt{\sum (u_{Bi})^2}$	0,20	0,23	0,30	0,37	0,46	0,57	0,80	

Vysvetlivky poznámok :

1 - $u_{B_i} = \sum |\delta_i - \bar{\delta}| / n$, δ_i – AC/DC diferencia hlavice 8478B (HP) meraná etalónmi N1, N2, N3 a E1(98), E3(98) (tab. 3)

$$\bar{\delta} = \sum \delta_i / n \quad n = 5$$

2 - $u_{B2} \leq 0,05\sqrt{f}$ [GHz, dB] podľa normy MIL – C – 39012 , [10]

3 - Neprispôsobenie je dané nenulovou vzdialenosťou referenčnej roviny etalónov a impedančným neprispôsobením hlavice 8478B (HP) k charakteristickej impedancii vedenia. Výpočet podľa vzťahu z [2] bol urobený pre $l_{\max} = 6$ mm a známu frekvenčne závislú komplexnú impedanciu hlavice 8478B (HP) v.č. 5579.

Neistoty typu A a B boli vyhodnotené podľa metodiky v [11, 12].

Kombinovaná štandardná neistota

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \doteq u_B \quad (7)$$

Hodnoty u_B sú uvedené v tab. 4.

5. Prehľad zásadných výsledkov výskumu etalónov

5.1. Prehľad výsledkov do návrhu na vyhlásenie NE

Od rozhodnutia metrologicky zabezpečiť veličinu vysokofrekvenčné napätie sa pri výskume a vývoji ešte v bývalom ČSMU sledovala idea, aby Ústav bol držiteľom autonómnej hodnoty jednotky vf. napätia. Vzhľadom na potrebu zabezpečiť veľký dynamický rozsah veličiny a pomerne veľký frekvenčný rozsah sa výskum uberal viacerými smermi, ktoré sú chronologicky zhrnuté v správe [1]. Pre značnú technologickú náročnosť a pomerne nákladné potrebné prístrojové vybavenie neboli všetky nami sledované smery dovedené do úspešného konca ani v prípadoch, keď sa predbežné výsledky ukazovali ako perspektívne. V konečnej fáze sme sa rozhodli riešiť problematiku v dolnej časti frekvenčného pásma (do 50 MHz) komerčnými termoelektrickými hlavicami typu A 55 (FLUKE) medzinárodne porovnanými. Využili sa ďalej komerčné termistorové hlavice typu 8478 B (HEWLETT-PACKARD), ktoré sú určené pre meranie vf. výkonu a sú využívané aj pre primárny etalón vf. výkonu v koaxiálnych vedeniach. Tieto termistorové hlavice sú potrebné pre prenos hodnoty veličiny. Výskum a vývoj bol zameraný na :

- metódy analýzy parametrov termistora,
- realizáciu primárneho termistorového etalónu,
- realizáciu presného automatického bolometrického mostíka,
- metódy kalibrácie etalónov a prenosu hodnoty veličiny,
- určenie neistôt parametrov etalónov a neistoty pri prenose hodnôt veličiny,
- sledovanie časových zmien parametrov etalónov.

Výsledky výskumu sú podrobnejšie uvedené v správe [1] v kapitole 6, ktorá je venovaná metódam analýzy parametrov perličkového termistora (používané typy 11 NR 17 a 12 NR 17) a realizáciu termistorového etalónu.

Meracia zostava pre prenos hodnoty vf. napätia podľa zapojenia na obr. 3 vyžaduje dva presné bolometrické mostíky. K dispozícii sme na začiatku mali len jeden komerčný vý-

robok fy. Weinschel Eng. PB-1C, preto sme na jeho základe vyvinuli a realizovali v odd. presný bolometrický mostík, ktorý je univerzálnejšie použiteľný ako PB-1C, (ktorý je určený len pre bolometrické prvky s pracovným odporom 100 a 200 Ω). Bolometrický mostík vyvinutý v SMU umožňuje činnosť s pracovným odporom v rozsahu (70 ÷ 500) Ω , čo je aj nutné pri analýze prvkov náhradnej schémy termistora. Návrh, konštrukcia a porovnanie metrologických parametrov nášho bolometrického mostíka sú uvedené v správe [8]. Neistota merania hodnoty js. substitučného výkonu na bolometrickom prvku je u mostíka PB-1C 0,1 % podľa údajov výrobcu, pre mostík SMU je vyhodnotená neistota merania $\leq 0,08$ %. Obe uvedené hodnoty sú kombinovanými štandardnými neistotami.

Dlhodobé sledovanie časových zmien parametrov etalónov nepreukázalo relevantné zmeny, ktoré by sa dali zaradiť do kategórie časovej nestálosti. Zmeny AC/DC diferencie sa nachádzali v pásme neistoty merania s výnimkou skokových zmien, pre ktoré nemáme spohľadlivé vysvetlenie a boli také, že niektoré hlavice museli byť vyradené zo zostavy. Výsledky sledovania sú uvedené v správe [8].

Výsledky výskumu aj výsledky kalibrácií etalónov uskutočnené v skupine vf. veličín SMU boli mnohonásobne medzinárodne porovnané v rôznych frekvenčných pásmach a pri rôznych úrovniach vf. napätia. Chronologický prehľad všetkých porovnávacích meraní, ktorých sme sa zúčastnili je v 5. kapitole správy [1]. V rokoch 1973 až 1990 to bolo 26 porovnávacích meraní z toho 6 vo frekvenčnom pásme do 50 MHz a 20 vo frekvenčnom pásme nad 50 MHz.

Z hľadiska posúdenia úrovne primárneho etalónu vf. napätia SMU a jeho medzinárodnej akceptovateľnosti sú smerodajné len porovnávacie merania uskutočnené v rokoch 1996 až 1998. Sú to porovnanie HF-2 a GT-RF 92-6. Porovnanie GT-RF 92-6 bolo v r. 1999 zaradené do kľúčových porovnaní BIPM s označením CCEM RF-K4 CL. V decembri roku 2009 bolo vyhodnotené, ukončené a potvrdilo neoficiálne čiastkové výsledky. Tieto údaje sú v tab. 6 a 7.

Porovnanie HF-2 : “Merania tepelných meničov napätia : Prenos RF-DC diferencie do 50 MHz“ [7]. Porovnanie sa uskutočnilo v rámci EAL, pilotným laboratóriom bol IEN Galileo Ferraris. Porovnanie sa zúčastnilo 29 laboratórií z 13 krajín (okrem európskych aj Austrália a Nový Zéland).

Cestovným etalónom boli 2 termoelektrické hlavice rôznej konštrukcie :

- a) FLUKE A 55 (V-8)
- b) BALLANTINE 1394 A-2 (označená V-9)

Meranou veličinou bola diferencia relatívnej hodnoty RF-DC δ definovaná ako

$$\delta = (U_{RF} - U_{DC}) / U_{DC} \quad (8)$$

pri frekvenciách 1, 10, 30 a 50 MHz. Preferovaná bola hodnota napätia pri porovnávaní 2 V, len v prípade nemožnosti merania pri tejto úrovni bola ako náhradne povolená hodnota 1 V. Z 29 laboratórií uskutočnilo 22 (vrátane SMU) porovnávanie pri 2 V.

Pri porovnávaní v rámci EA(L) sa odchýlky vyjadrujú ako pomer normalizovanej chyby E_n (Normalized Error Ratio) danej vzťahom (9)

$$E_n = \frac{\text{výsl.labor.} - \text{ref.hodnota}}{\sqrt{U_{lab.}^2 + U_{ref}^2}} \quad (9)$$

kde U_{lab} a U_{ref} sú neistoty merania daného laboratória resp. referenčného (pilotného). Kritérium prijateľného výsledku je hodnota $|E_n| \leq 1$. Výsledky sú uvedené v tab. 5

Tab.5 Výsledky porovnania:

Dátum kalibrácie	f [MHz]	Diferencia prenosu (SMU)	Neistota	Referenčná hodnota	Neistota referenčnej hodnoty	$\delta_x - \delta_{ref}$	E_n	Porovnanie s etalónom
		δ_x	$U_{\delta x}$	δ_{ref}	$U_{\delta ref}$			
5.9.1996	1	- 0,00002	0,0005	0,00003	0,0001	-0,00005	- 0,09806	A55
	10	- 0,00011	0,0010	0,00020	0,0005	- 0,00031	- 0,27727	
	30	0,00029	0,0020	0,00042	0,0010	- 0,00013	- 0,05814	
	50	0,00047	0,0050	0,00085	0,0020	- 0,00038	- 0,07056	
5.9.1996	1	- 0,00002	0,0005	0,00001	0,0001	- 0,00003	- 0,05883	V 9
	10	- 0,00019	0,0010	0,00005	0,0005	- 0,00024	- 0,21466	
	30	- 0,00020	0,0020	- 0,00002	0,0010	- 0,00018	- 0,08050	
	50	- 0,00005	0,0050	0,00036	0,0020	- 0,00041	- 0,07614	

Hodnoty AC/DC diferencie etalónu A 55 v.č. 4620005 boli porovnávacím meraním plne potvrdené.

Porovnanie GT-RF 92-6 sa uskutočnilo v rámci BIPM-CCEM pod vedením pilotného laboratória NMI Van Swinden Laboratorium (Holandsko). V harmonograme je zahrnutých 13 národných metrologických ústavov, z toho 3 zámorské (NIST, KRISS a CSIRO). Zostava cestovných etalónov obsahovala termoelektrický menič 1396 A-1 fy. Ballantine Laboratories (USA) a merač výkonu NRVD s meracou hlavicom (senzorom) NRV-Z51 fy. Rohde & Schwarz (SRN).

Tab.6

Meranie NRVD + NRV – Z 51				Meranie 1396 A-1 (Ballantine)		
f [MHz]	δ_{SMU} [%]	u_C SMU [%]	$\phi\delta_{GT-RF}$ [%]	δ_{SMU} [%]	u_C SMU [%]	$\phi\delta_{GT-RF}$ [%]
1	-0,01	0,04	-0,01	-0,00	0,03	-0,00
10	-0,08	0,09	-0,09	0,01	0,09	0,02
50	-0,04	0,32	-0,02	0,38	0,32	0,28
100	-0,11	0,49	0,12	0,25	0,54	1,23
200	0,14	0,51	0,26	4,75	0,59	4,47
300	0,54	0,62	0,42	9,38	0,67	8,65
500	0,91	0,81	0,68	15,00	0,86	14,41
700	1,30	0,97	0,90	11,40	0,97	10,46
1000	1,50	1,07	1,19	-17,40	1,50	-16,80

Tab. 7

1396 A-1 (Ballantine) porovnaná s NRVD + NRV-Z 51			
f [MHz]	δ_{SMU} [%]	$u_{C\ SMU}$ [%]	$\phi\delta_{GT-RF}$ [%]
1	0,01	0,02	-0,00
10	-0,08	0,04	-0,11
50	-0,32	0,10	-0,31
100	-1,10	0,30	-1,11
200	-4,10	0,30	-4,21
300	-7,60	0,30	-8,23
500	-12,20	0,60	-13,73
700	-8,80	0,60	-9,56
1000	22,80	1,20	17,99

Podrobný popis oboch porovnávacích meraní je uvedený v 8. kapitole správy [1], údaje týkajúce sa doterajšieho priebehu porovnávania GT-RF 92-6 sú v dokumentácii skupiny vf. veličín [9]. Z výsledkov uvedených v tab. 6 a 7 vyplýva veľmi dobrá zhoda hodnôt s ktorými sme sa zúčastnili porovnania HF-2 (do 50 MHz).

5.2. Prehľad výsledkov výskumu a sledovania od návrhu na vyhlásenie NE

Kľúčové porovnanie CCEM.RF-K4.CL (pôvodné číslo GT-RF 92-6) bolo rozhodnutím pilotného laboratória NMI Van Swinden Laboratorium (Holandsko) rozdelené zrejme z technických a organizačných príčin na 2 časti: CCEM.RF-K4.a.CL pre frekvenčnú oblasť 1 až 300 MHz, do 1 GHz fakultatívne, ktorá prebiehala v r. 1997-2000. Do tejto časti je zaradené SMU a okrem 6 európskych NMI sú zaradené aj CSIRO-NML, KRIS, NIST a NRC. Do druhej časti CCEM.RF-K4.b.CL je zaradených 5 európskych a 2 zámorské NMI vo frekvenčnej oblasti 1 až 300 MHz. Merania sa uskutočnili v r. 2001-2002, výsledky sú už spracované vo **final report**. Sledovanie NE sa uskutočňovalo krížovým porovnávaním a vzájomnou kalibráciou termoelektrických a termistorových hlavíc. V súlade s pravidlami používania a uchovávanía NE a požiadaviek STN ISO 17 025 sú výsledky týchto meraní uvedené v kalibračných certifikátoch a uchovávané v elektronickej aj písomnej forme v dokumentácii laboratória vf. veličín.

S etalónovou hlavicom 8478B (HP) v.č. 25306 sme sa zúčastnili kľúčového porovnania vf. výkonu CCEM.RF-K8.CL (EUROMET No 393) a EUROMET.EM.RF-K8.1.CL (EUROMET No.633), ktorých predbežné výsledky sme obdržali a potvrdzujú s istotou výsledky našich meraní. Taktiež sme sa zúčastnili medzilaboratórných porovnaní výkonu referenčného oscilátora (1 mW/50 MHz), ktoré organizovalo ČIA (ČR) a zúčastnili sa 4 pracoviská z ČR a 3 zo SR [18]. NE vf. napätia bol využitý v rámci medzinárodného porovnávacieho merania prenosného etalónu diferencie AC/DC napätia (Projekt DUNAMET D43) vo frekvenčnom pásme 100 kHz až 1 MHz. Hlavným účastníkom za SMU bolo laboratórium js. a striedavých elektrických veličín.

Výskumná činnosť sa zamerala na snahu o perspektívne rozšírenie dynamického rozsahu NE smerom k nižším napätiam (pod 200 mV). Pre pôvodný zámer riešiť problematiku zakúpením súpravy presných diskových odporov a mikropotenciometra sa nenašlo finančné krytie.

Koncom r. 2003 sa však uskutočnil mimoriadny nákup citlivej diódovej hlavice NRV-Z4 k meraču výkonu NRVD (Rohde & Schwarz), s ktorou by bolo možné riešiť aspoň časť tejto problematiky v oblasti 100 kHz až 1 GHz spoľahlivo v rozsahu 1 až 200 mV. Bohužiaľ došlo k značnej zmene parametrov hlavice NRV-Z4 ešte v záručnej dobe, takže sme uplatnili reklamáciu a momentálne používame novú hlavicu.

Pre všetky prístrojové zostavy boli inovované resp. vytvorené nové programy.

6. Záver

Aktuálny stav k okamžiku ukončenia Súhrnnej správy pre revíziu NE je nasledovný :

1. Záverečná správa o porovnávaní CCEM.RF-K4.a.CL je ukončená a zverejnená na webovej stránke BIPM. Po oponentúre správy o výsledkoch výskumu etalónu [1] v máji r. 1999 sme dostali 2 hlavice A 55 (FLUKE), 2 termistorové hlavice 8478 B (HP) a tiež vf. generátor 83623 B (HP) pre pásmo už od 10 MHz. Týmto sú vytvorené technické predpoklady pre funkčnosť a prevádzkyschopnosť NE vf. napätia SMU po dobu minimálne ďalších 2 až 3 rokov. Tento údaj sa vzťahuje na r. 1999. Pre zabezpečenie spoľahlivej funkcie NE by bolo potrebné zakúpenie 1 ks termoelektrickej hlavice A 55 každé 2 roky (striedavo 1 V a 2 V) a každé 3 až 4 roky 1 ks termistorovej hlavice 8478B. Tiež bola zabezpečená oprava doteraz používaného vf. generátora SMG (R&S).
2. Výsledky porovnávacích meraní uvedených v kap. 5.1 a 5.2 potvrdili, že NE vf. napätia pri dodržaní predpísaných pravidiel krížových kontrol etalónových hlavíc si zachoval pôvodne deklarované parametre bez nutnej zmeny.

Po obdržaní definitívnych výsledkov CCEM.RF-K4.a.CL sme posúdili výsledné hodnoty, porovnania. Väčšina hodnôt etalónu vrátane neistoty sa nachádza v pásme neistôt hodnoty, zvyšné hodnoty vrátane neistoty sa s neistotou pilotného laboratória buď prekrývajú z nameranou hodnotou, alebo aspoň s neistotou. Na tieto zavedieme korekciu podľa výsledkov po úplnom vyhodnotení medzinárodného porovnávacieho merania a rekalibráciách vlastných etalónov.

7. Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za etalón

Etalón uchováva Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, 842 55 Bratislava v Centre elektriny (útvár 240) v Laboratóriu vf. veličín. Etalón je umiestnený v objekte H v miestnosti č. 278. Osobou zodpovednou za etalón je Ing. Peter Vrabček, CSc.

8. Zoznam publikácií o etalóne v odbornej literatúre

1. GRŇO, L.: Thermistor as a substitutional element of primary standard of RF voltage. In: Zborník príspevkov INSYMET'80, Dom techniky ČSVTS Bratislava 1980, s. 172-176.
2. GRŇO, L –ŠEFČÍK, K. – BUBLIAK, P.: Primárny etalón jednotky vysokofrekvenčného napätia ČSMU. Čs. standardizace, 6, 1981, č.4, s.143-145.
3. GRŇO, L.- BUBLIAK, P.: The Improvement on the Bolometric Voltage Standard. In:

- Conference Digest INSYMET'82, Bratislava 1982.
4. GRŇO, L.: The RF Voltage Standard Analysis by Parameter Variation. IEEE Trans. on Instr. and Meas., 38, No.2, April 1989, s. 457-459.
 5. GRŇO, L.: The RF Voltage Standard Analysis by Parameter Variation. CPEM'88 Digest Tsukuba, s. 375-376.
 6. GRŇO, L.: Metóda na meranie vf. parametrov perličkového NTC termistora In: Zborník konferencie Ferity a nelineárny odpory, Šumperk 1988,
 7. GRŇO, L.- PODHORANSKÝ, P.: Model termistora pre vf. signály a určenie jeho parametrov. In: Zborník príspevkov konferencie Rádioelektronika'89, Dom techniky ČSVTS, Bratislava 1989, s. 58.
 8. ŠÁLY, M.- PETRÁŠ, I.: Etalón vysokofrekvenčného napätia. Metrológia a skúšobníctvo V. č.2, jún 2000, s.3-7.
 9. ŠÁLY, M.- PETRÁŠ, I.: Description of the Slovak National RF Voltage Standard. In: Conference Proceedings 10th Int. Scientific Conference Radioelektronika 2000, Sept. 12-13, 2000 Bratislava, s. P-49÷50.
 10. PETRÁŠ, I. – ŠÁLY, M.: Metrologické zabezpečenie vysokofrekvenčných veličín v SR. Časopis pre elektrotechniku a energetiku, 10, č.1, 2004, s.23-24,30.

9. Literatúra a zoznam dokumentov súvisiacich s národným etalónom

- [1] ŠÁLY, M.- PETRÁŠ, I.- MOKROŠOVÁ, K.: Primárny etalón vysokofrekvenčného napätia vo frekvenčnej oblasti 50 kHz až 1 GHz. Výsledky výskumu. SMU Bratislava, apríl 1999.
- [2] A 55/550A Thermal Converters/Thermal Transfer Standard. Instruction Manual. Dokumentácia fy. FLUKE, 1966.
- [3] Thermistor Mount HP 8478B. Operating and service manual. Dokumentácia fy. Hewlett-Packard, 1992.
- [4] Preliminary operation and service manual model PB-1C Self-balancing precision RF Power Bridge. Dokumentácia fy. Weinschel Engineering, apríl 1969.
- [5] TPM 2401-98 : Schéma nadväznosti meradiel vf. napätia vo frekvenčnom rozsahu od 50 kHz do 30 MHz, ÚNMS SR 1998.
- [6] TPM 2400-96 : Schéma nadväznosti meradiel vf. napätia vo frekvenčnom rozsahu od 30 MHz do 1000 MHz, ÚNMS SR 1996.
- [7] Final Report. Report on the EAL Inter-laboratory Comparison HF2 : Thermal Voltage Converter Measurements RF-DC Transfer Difference up to 50 MHz. IEN, Torino 1997.
- [8] BUBLIAK, P. et al.: Výskum metód a prostriedkov etalonáže vf. napätia a výkonu v gigahertzovej frekvenčnej oblasti. Čiastková správa č. 1083 úlohy V 114-33/75-80. ČSMU Bratislava 1979.
- [9] Písomná dokumentácia skupiny vf. veličín (243) k porovnávaciemu meraniu GT-RF 92-6.
- [10] Microwave Coaxial Connectors, katalóg fy. Omni Spectra, 1982.
- [11] TPM 0050-92 : Etalóny. Vyjadrovanie chýb a neistôt, ČSMU Bratislava, 1982.
- [12] TPM 0051-93 : Stanovenie neistôt pri meraniach. 1. a 2. diel. SMU Bratislava, 1993.
- [13] Calibration : Philosophy in Practice. Firemná publikácia fy. FLUKE, 1994 (ISBN 0-9638650-0-5).
- [14] BAYER, H.- JANIK, D.: International intercomparison of RF voltage. Final Report. Monographie 84/1, BIPM Sevres 1984.

- [15] ŠÁLY,M.: Slovenský národný etalón vysokofrekvenčného napätia. Súhrnná správa o etalóne. SMU Bratislava, november 1999.
- [16] Agilent 34420A. User's Guide. Agilent Technologies, Inc. 2003.
- [17] Power Meter 432A. Operating and Service manual. Hewlett-Packard, 1969.
- [18] Měření výkonu referenčního oscilátoru MPZ 41-600-04. Zpráva č. 0318-ZV-C9600-04. ČMI Brno, september 2004.
- [19] PP č. 18/240/01: Pracovný postup pre porovnanie termoelektrických hlavíc.
- [20] PP č. 19/240/01: Pracovný postup na kalibráciu termistorových hlavíc termistorovým etalónom.
- [21] ŠÁLY,M.: Slovenský národný etalón vysokofrekvenčného napätia. Súhrnná správa o etalóne. SMU Bratislava, november 2004.