

SÚHRNNÁ SPRÁVA

k previerke národného etalónu

Časť 2

Národný etalón: NE 011/98 Národný etalón jednosmerného napätia

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

Správu vypracoval: Ing. Peter Vrabček, CSc.
Ing. Dušan Rudohradský

Bratislava, december 2010

NÁRODNÝ ETALÓN JEDNOSMERNÉHO NAPÄTIA NE- 11/04
V ROZSAHU 1 0 mV AŽ 1 000 V,
časť stupnice jednosmerného napätia 10 V až 1000 V

ETALÓN STUPNICE 10 V AŽ 1000 V JE NADVIAZANÝ NA ETALÓN JEDNOTKY NAPÄTIA
NA BÁZE JOSEPHSONOVHO JAVU, KTORÝ JE PRIMÁRNÝM ETALÓNOM S NADVÄZNOŠŤOU NA
FYZIKÁLNE KONŠTANTY.

OBSAH

1. Úvod	3
2. Technicko- ekonomické zdôvodnenie potreby etalónu	3
2.1 Metrologické zabezpečenie stupnice jednosmerného napätia v zahraničí	3
2.2 Využitie etalónu v SR	4
3. Podrobný opis etalónu	5
4. Špecifikácia metrologických vlastností etalónu	6
4.1 Kalibrácia etalónu stupnice js napätia	6
4.2 Prenos stupnice js napätia na referenčné etalóny	8
4.2.1 Primárny etalonážny rád	9
4.2.2 Referenčné a pracovné etalóny	9
4.2.2.1 Referenčné a pracovné etalóny 1. rádu	9
4.2.2.2 Referenčné a pracovné etalóny 2. rádu	9
4.2.2.3 Referenčné a pracovné etalóny 3. rádu	9
4.2.3 Pracovné meradlá a miery	11
4.3 Neistoty etalónu stupnice js napätia	11
5. Prehľad zásadných výsledkov výskumu etalónu	14
6. Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za etalón	20
7. Zoznam publikácií o etalóne v odbornej literatúre	20
8. Dokumentácia o etalóne	21
9. Literatúra	21

1. ÚVOD

Jedným zo základných cieľov SMÚ je výskum, vývoj, realizácia a medzinárodné porovnávanie primárnych etalónov a stupníc národohospodársky významných fyzikálnych veličín. Výsledkom tejto činnosti je ich odovzdávanie do praxe, čo v podstate znamená nadviazanie etalónov nižších rádov na etalóny SMÚ.

Pojem stupnica elektrického napätia predstavuje množinu násobkov a dielov jednotky elektrického napätia, usporiadaných podľa veľkosti. Vo všeobecnej rovine je problematika stupníc rozsiahlou oblasťou, v ktorej je presne vymedzené množstvo pojmov, definícií a klasifikačných štruktúr. Z celej tejto rozsiahlej problematiky sú v správe využité len tie teoretické poznatky, ktoré možno aplikovať na stupnicu jednosmerného (v ďalšom js) elektrického napätia, realizovanú odporovým deličom.

Hlavným cieľom riešenia problematiky, týkajúcej sa časti NE-11/04, ktorá sa zaoberá stupnicou jednosmerného napätia v rozsahu 10 V až 1000 V, je uchovávanie a sledovanie metrologických parametrov etalónu za účelom zabezpečenia prenosu jednotiek v rámci poskytovania metrologických služieb s celo republikovou pôsobnosťou na akceptovateľnej úrovni. V uplynulom období bolo postupne riešené verifikovanie metrologických parametrov častí etalónu stupnice js napätia a pracovných etalónov za účelom zabezpečenia ich prenosu. Potvrdenie deklarovaných metrologických parametrov bolo realizované porovnávacími meraniami v rámci EUROMET-u. Ďalším cieľom bolo zvýšenie kvality stupnice a jej prenosu v systéme nadväznosti, pričom hlavným kritériom bolo zlepšenie vykazovanej neistoty realizácie stupnice.

2. TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZDÔVODNENIE POTREBY ETALÓNU

2.1 Metrologické zabezpečenie stupnice jednosmerného napätia v zahraničí

Meranie elektrického napätia je jedna z najrozšírenejších oblastí merania v rámci elektrických a aj niektorých neelektrických veličín. Jednotka jednosmerného elektrického napätia je základom pre tvorbu stupnice jednosmerného a striedavého elektrického napätia až do vysokonapäťovej oblasti, jednosmerného a striedavého elektrického prúdu, výkonu a práce elektrického prúdu a ďalších veličín.

Stupnica js napätia je potrebná na rozšírenie metrologicky zabezpečovaných hodnôt napätia z hodnoty definovanej primárnym etalónom (10 V) na celý požadovaný rozsah hodnôt. Tým sa umožňuje kalibrácia e js kalibrátorov, číslicových voltmetrov, kompenzátorov a deličov napätia, a nepriamo pomocou etalónových odporov aj kalibrácia prúdových rozsahov js kalibrátorov a číslicových ampérmetrov.

Prehľad o stave zabezpečenia stupnice js napätia v niektorých svetových metrologických laboratóriách a v SMU je v tabuľke 2.1.1.

Tabuľka 2.1.1

Národný ústav	Stupnica js. napätia					
	Merací rozsah			Rozšírená neistota		
	Min	Max	Jedn.	Hodnota	Jedn.	spoľ.
PTB Nemecko	0,001	1000	V	0,025 až 0,5	μV/V	95%
GUM Poľsko	0,1	1000	V	3 až 4	μV/V	95%
BEV Rakúsko	0,1	1000	V	2 až 5	μV/V	95%
ČMI ČR	0,1	1000	V	0,8 až 2	μV/V	95%
OMH Maďarsko	0,2	1000	V	5	μV/V	95%
SMU Guildine	10	1000	V	4 až 7	μV/V	95%
SMU Fluke	0,1	1000	V	0,5 až 2	μV/V	95%

2.2 Využitie etalónu v SR

Stupnica js napätia umožňuje justáž a kalibráciu širokej škály elektrických meracích prístrojov. Sú to v prevažnej miere miery a meradlá js napätia, zaradené ako referenčné a pracovné etalóny. Väčšinu mier a meradiel tvoria multikalibrátory a multimetre, ktoré okrem rozsahov js napätia majú i rozsahy striedavého napätia a jednosmerného a striedavého prúdu. Stupnica js napätia, doplnená o sadu etalónových odporov a termokomparátor AC/CD, umožňuje justáž a kalibráciu požadovaných rozsahov týchto prístrojov. V spolupráci s pracoviskom etalónu jednotky elektrického napätia na princípe Josephsonovho javu a etalónu elektrického odporu sa potom vykonáva kompletná justáž a kalibrácia multikalibrátorov a multimetrov, vrátane rozsahov elektrického odporu. V poslednej dobe, okrem vyššie uvedených prístrojov, sa stále častejšie vyskytujú požiadavky na justáž a kalibráciu napäťových a prúdových rozsahov, ktoré sú súčasťou meradiel na meranie tlaku, teploty alebo iných neelektrických veličín.

Metrologické služby, poskytované pre potreby energetiky, plynárenstva, telekomunikácií, armády a iných odborov SMÚ, predstavujú v ročnom objeme cca 10 tis. € (externé) a 2 tis. € (interné).

Medzi najvýznamnejších zákazníkov patria Slovenská legálna metrológia, Slovnaft, Slovak Telecom, EVPÚ Nová Dubnica, Slovenské elektrárne – atómové elektrárne Jasl. Bohunice a Mochovce, VÚJE Trnava a Slovenský plynárenský priemysel a v neposlednom rade i samotný Slovenský metrologický ústav.

3. PODROBNÝ OPIS ETALÓNU

V pôvodnej základnej zostave etalónu stupnice jednosmerného napätia bol zaradený odporový delič napätia Guildline 9700PL. Tento odporový delič bol v používaní viac ako 40 rokov. Jeho funkčnosť a parametre zabezpečovali elektrické miešadlá a výhrevné telesá s termostatom. Tieto funkčné prvky pracovali nepretržite viac ako 350 tis. hodín a opotrebovali sa natoľko, že v súčasnosti nie je možné zaručiť metrologické parametre tohto deliča. Z tohto dôvodu bol delič nahradený referenčným deličom Fluke 752A, ktorý sa stal inventárom centra elektriny ku dňu 31.12.2003. Po overení jeho metrologických parametrov porovnaním, bol zaradený do zostavy NE11. V súčasnosti teda tvoria základ národného etalónu v jeho časti stupnice js napätia dva etalóny, a to referenčný delič Fluke 752A a zdroj referenčného napätia Datron 4910.

Pôvodný odporový delič napätia typ 9700 PL je etalónové pomerové zariadenie, ktoré umožňuje rozšíriť stupnicu js napätia v rozsahu od 10 V do 1000 V. Odporový delič má 25 odbočiek s hodnotami označenými vo voltoch, a to:

0,15V; 0,3V; 0,45V; 0,6V; 0,75V;

1,5V; 3V; 4,5V; 6V; 7,5V;

15V; 30V; 45V; 60V; 75V;

150V; 300V; 450V; 600V; 750V; 900V; 1050V; 1200V; 1350V; 1500V;

Delič je konštruovaný tak, že hodnoty jeho deliacich pomerov napätí je možné zistiť vyhodnotením pomocou metódy ekvisekcie bez nadviazania na vyšší etalonážny rád. Sériovo zapojené rezistory vstupného obvodu deliča sú rozdelené do sekcií, ktoré obsahujú 2 alebo 5 rezistorov s rovnakou nominálnou hodnotou. Rezistory sú vyhotovené zo špeciálne vybraného manganínového drôtu tej istej šarže a sú navyše vzájomne „párované“ na teplotný koeficient a stabilitu. Najnižšia hodnota individuálneho rezistora je 1000 Ω , takže napríklad päťdesiat ohmová sekcia pozostáva z paralelne zapojených dvadsať 1000 ohmových rezistorov. Tým sa dosahuje, že ich oteplenie pri menovitom napätí je minimálne. Vplyv zvodových prúdov je potlačený elektrostatickými tieneniami, ktoré majú ten istý potenciál ako tienená časť deliča. Odpor deliča je 333,3 Ω/V , odpor tienenia 266,6 Ω/V . Delič je v "štvorsvorkovom" prevedení, t.j. pre každú menovitú hodnotu napätia má prúdovú a napäťovú svorku, čo umožňuje vylúčiť vplyv vnútorného spoja medzi rezistorom deliča a svorkou. Celá zostava deliča je umiestnená v prúdiacom oleji, vyhrievanom na konštantnú teplotu 30 $^{\circ}C \pm 0,1$ $^{\circ}C$. Chyba deliacich pomerov, udávaná výrobcom, ktorá zahrňuje aj zdroje neistôt spôsobené samoohrevom, teplotnými gradientami, termonapätiami a zvodovými prúdmi je $\pm 0,0005\%$.

Menovitá hodnota vstupného napätia je 1500 V. Nakoľko v SMÚ je zabezpečovaná stupnica js napätia do 1000 V, delič sa v praxi používa tak, že na svorku označenú 1500 V sa pripája napätie o úrovni 1000 V. Tomu potom zodpovedajú i napätia prítomné na odbočkách deliča, ktoré sú 1,5 krát nižšie, ako je číselné označenie svorky. S takto pripájaným napätím je delič i overovaný a dlhodobo sledovaný. Z toho vyplýva, že svorke s označením 15 V, je úroveň napätia 10 V, ak je na svorke s označením 1500 V pripojené vstupné napätie 1000 V. Túto skutočnosť treba mať na pamäti, aby sa pri spracovaní výsledkov a ich interpretácii predišlo omylom.

Referenčný delič napätia Fluke 752A je etalónové pomerové zariadenie, ktoré umožňuje rozšíriť stupnicu js napätia v rozsahu od 0,1 V do 1000 V.

Stupnica js elektrického napätia v oblasti 0,1 V a 1000 V je nevyhnutne potrebná na kompletizáciu kalibrácie celého rozpätia jednosmerného napätia moderných multimetrov a multikalibrátorov, ktoré v prevažnej miere tvoria objem poskytovaných metrologických služieb. Delič Fluke 752A je realizovaný tak, že hodnoty jeho deliacich pomerov 10:1 a 100:1

možno relatívne jednoduchým spôsobom justovať pred každým meraním. Výrobca zaručuje, že po správne vykonanej justácii v súlade s užívateľskou príručkou, parametre deliča zodpovedajú udávanej špecifikácii. Vzájomným prepojením jednotlivých sekcií a ich vzťahnutím k referenčnému napätiu 10 V je možné vytvoriť celú stupnicu napätia od 0,1 V až po 1000 V.

Referenčný zdroj jednosmerného napätia Datron 4910 slúži na prenos jednotky elektrického napätia. Jeho funkcia je založená na princípe využitia charakteristík Zenerových diód. Má štyri nezávislé 10V výstupy a navyše nízkošumový výstup ich priemernej hodnoty. Tieto sú doplnené o výstup 1 V a 1,018 V a nízkoimpedančný štvorvodičový 10 V výstup. Referenčný zdroj môže byť napájaný z rozvodnej siete, alebo z vnútorných batérií. Napájanie z batérií je možné prepnúť do „tranzitného módu“, počas ktorého sú znížené energetické nároky referenčného zdroja. Tento možno potom prepravovať z miesta na miesto, pričom kalibrácia výstupného napätia zostane zachovaná. Datron 4910 je pravidelne raz za 6 mesiacov nadväzovaný na národný etalón jednosmerného napätia na báze Josephsonovho javu a stabilita jeho výstupných napätí je dlhodobo sledovaná a vyhodnocovaná. Výsledky kalibrácie ukázali, že relatívny posun hodnoty 10 V za rok predstavuje 4 μV , čo relatívne vyjadrené je $0,4 \cdot 10^{-6}$.

V procese prenosu stupnice jednosmerného elektrického napätia na nižšie stupne schémy nadväznosti sa používa nulový indikátor Fluke 845AB. Je to v podstate voltmeter s vysokou vstupnou impedanciou, merajúci jednosmerné napätie od 1 μV do 1000 V, v devätnástich prepínateľných rozsahoch. Vstupný odpor má 100 megaohmov pri rozsahoch 300 mV a vyšších a 10 megaohmov pri 100 mV a nižších. Chybu má $\pm(2\%$ z konca stupnice + 0,1 μV), rozlíšiteľnosť 0,01 μV na rozsahu 1 μV , stabilitu nuly < 0,15 μV / hodinu.

Na zabezpečenie stupnice js elektrického napätia sa v SMÚ používajú aj ďalšie prídavné zariadenia. Sú to: kalibračný zdroj napätia Datron typ 4808, a číslicový voltmeter Solartron 7081 a multimeter Fluke 8508A.

Tieto prídavné zariadenia stupnice js napätia sú, v rámci uchovávaní, dlhodobo sledované, výsledky meraní sú analyzované a vyhodnocované za účelom vylúčenia možných zdrojov neistôt, ktoré by mohli zaťažovať merania.

4. ŠPECIFIKÁCIA METROLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ ETALÓNU STUPNICE JS NAPÄTIA AKO ČASTI NÁRODNÉHO ETALÓNU JS NAPÄTIA

Rozsah napätia: 0,1 V ÷ 1000 V.

Princíp činnosti: odporový delič napätia.

Zostava etalónu:

- referenčný delič napätia Fluke 752A,
- zdroj referenčného napätia Datron 4910.

Rozšírená neistota:

0,1 V ÷ 1000 V 1 · 10⁻⁶

4.1 Kalibrácia etalónu stupnice jednosmerného napätia

Kalibrácia etalónu stupnice js napätia sa uskutočňuje overením jednotlivých prvkov jeho zostavy, ktorá je uvedená na obr. 4.1.1. V tejto zostave je Datron 4910 zdrojom referenčného napätia 10 V, ktoré je prostredníctvom odporového deliča rozšíriteľné do 1000 V. Týmto spôsobom je realizovaná stupnica js elektrického napätia v rozsahu napätia 10 V až 1000 V.



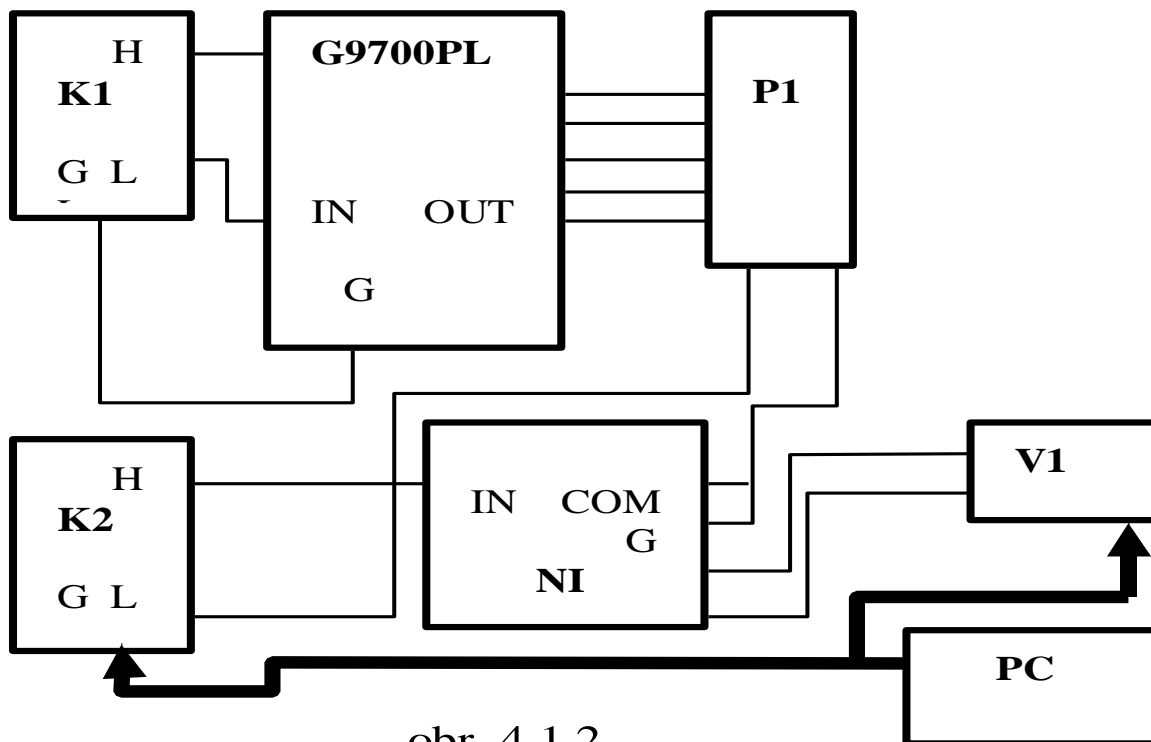
obr.4.1.1

Pri overení odporového deliča js napätia Guildline 9700PL sa používala už spomenutá metóda ekvisekcie. Overenie deliča sa robilo v zapojení podľa obr. 4.1.2.

Na delič bolo privedené z kalibrátora K1 jednosmerné napätie 1000 V. Z odbočky deliča 1000 : 1 potom odoberáme na vstup nulového indikátora NI napätie v úrovni približne 1 V. Na druhú svorku vstupu NI je pripojený výstup kalibrátora K2, ktorý je riadený kontrolerom PC tak, aby zvyškové napätie na NI pokleslo pod hranicu $0,025 \times 10^{-5}$ x rozsah NI.

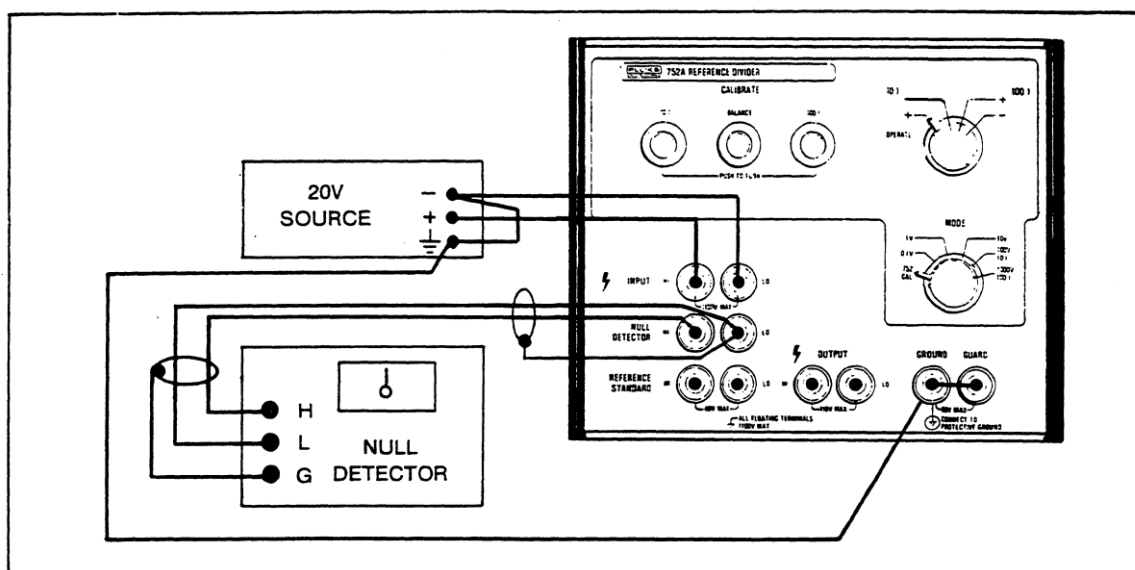
Takto získaná hodnota na K2 sa zapísala do matice merania. Potom sa merajú a vyrovnávajú hodnoty napätia na jednotlivých odporoch sekcie a porovnávajú sa s prvou odbočkou. Ich pomer sa zapisuje do matice merania. Tento postup je realizovaný pomocou prepínača P1. Postup sa potom opakuje na ďalších sekciách, pričom za referenčnú sa vždy považuje prvá odbočka príslušnej sekcie. Počas merania kontrolujeme stabilitu napájacieho napätia prepínaním voltmetra V1 alebo iným vhodným voltmetrom.

Po vykonaní celého cyklu podľa vyššie uvedeného postupu opakujeme tento 10 krát, za účelom ďalšieho štatistického vyhodnotenia. Jednotlivé hodnoty sa zapisujú do matice merania.



obr. 4.1.2

Pri justáži referenčného deliča js napätia Fluke 752A sa postupuje podľa pokynov výrobcu deliča. Justáž sa robí v zapojení podľa obr. 4.1.3.



Legenda k obr. 4.1.3 :

20 V SOURCE - kalibrátor Datron 4808
 NULL DETECTOR - nulový indikátor Fluke 845AB

4.2 Prenos stupnice jednosmerného napätia na referenčné etalóny.

Zabezpečením požadovanej metrologickej úrovne etalónu stupnice js napätia a dodržiavaním predpísaných meracích metód sa zaisťuje prenos stupnice s požadovanou neistotou pri pravidelnej kontrole používaných meradiel js napätia. Pravidelná kontrola presnosti meradiel js napätia porovnaním s presnejšími meradlami je základnou podmienkou správnosti ich funkcie, a teda aj jednotnosti a správnosti merania v danom odbore a danej krajine. Postupnosť tohto porovnávanía určuje hierarchické usporiadanie meradiel js napätia - schéma nadväznosti. Schéma nadväznosti stupnice js napätia tak ako je používaná v SMÚ, je uvedená na obr. 4.2.1.

Základom merania js elektrického napätia je jednotka volt, realizovaná v SR etalónom js elektrického napätia 10 V na báze Josephsonovho javu, ktorý uchováva SMÚ Bratislava.

Etalón js elektrického napätia je určený na reprodukovanie a uchovávanie jednotky js elektrického napätia – volt (V), na vytvorenie stupnice js elektrického napätia pomocou etalonážnych zariadení a na jej ďalší prenos pomocou etalonážnych zariadení a meracích metód na referenčné a pracovné etalóny až po pracovné meradlá a miery js elektrického napätia používané v hospodárskom systéme SR. Etalón jednotky js elektrického napätia je základom, od ktorého je odvodená jednotnosť a správnosť merania js elektrického napätia a je opísaný v príslušnej časti tejto správy.

4.2.1 Primárny etalonážny rád

Etalón stupnice js elektrického napätia sa používa na prenos jednotky js elektrického napätia a od nej odvodenej stupnice js napätia na referenčné a pracovné etalóny až po pracovné meradlá a miery js el. napätia od 0,1 V do 1000V.

4.2.2 Referenčné a pracovné etalóny

4.2.2.1 Referenčné a pracovné etalóny 1. rádu

Ako referenčné a pracovné etalóny js elektrického napätia 1. rádu sa používajú etalónové miery a meradlá js napätia do 1000 V, ktoré zabezpečujú realizáciu a prenos stupnice js elektrického napätia v rozsahu do 1000 V s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c \leq 2,0 \cdot 10^{-5}$.

Referenčné a pracovné etalónové meradlá a miery js napätia 1. rádu sa používajú na kalibráciu referenčných a pracovných etalónových meradiel js napätia 2. rádu a pracovných meradiel do 1000 V, s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c \leq 1,0 \cdot 10^{-4}$ a na kalibráciu referenčných a pracovných etalónových mier js napätia 2. rádu a pracovných mier do 1000 V, s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c \leq 1,0 \cdot 10^{-4}$.

4.2.2.2 Referenčné a pracovné etalóny 2. rádu

Ako referenčné a pracovné etalóny js elektrického napätia 2. rádu sa používajú etalónové miery a meradlá js napätia do 1000 V, ktoré zabezpečujú realizáciu a prenos stupnice js elektrického napätia v rozsahu do 1000 V s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c \leq 1,0 \cdot 10^{-4}$.

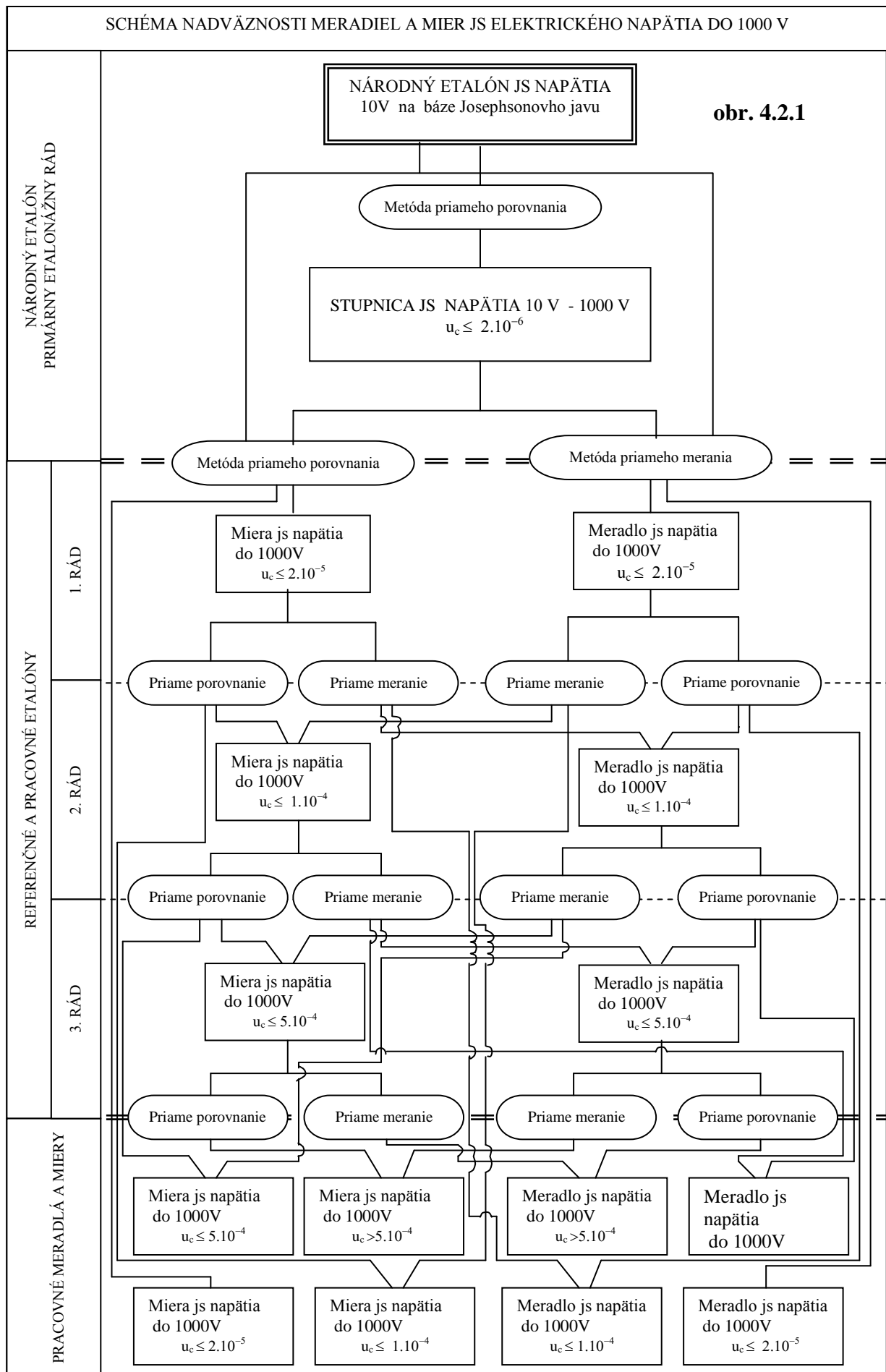
Referenčné a pracovné etalónové meradlá a miery js elektrického napätia 2. rádu sa používajú na kalibráciu referenčných a pracovných etalónových meradiel js napätia 3. rádu a pracovných meradiel do 1000 V s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c \leq 5,0 \cdot 10^{-4}$ a na kalibráciu referenčných a pracovných etalónových mier js napätia 3. rádu a pracovných mier do 1000 V s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c \leq 5,0 \cdot 10^{-4}$.

4.2.2.3 Referenčné a pracovné etalóny 3. rádu

Ako referenčné a pracovné etalóny js napätia 3. rádu sa používajú etalónové miery a meradlá js napätia do 1000 V, ktoré zabezpečujú realizáciu a prenos stupnice js napätia v rozsahu do 1000 V s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c \leq 5,0 \cdot 10^{-4}$.

Referenčné a pracovné etalónové meradlá a miery js napätia 3. rádu sa používajú na kalibráciu pracovných meradiel do 1000 V s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c > 5,0 \cdot 10^{-4}$ a na kalibráciu pracovných mier do 1000 V s relatívnou kombinovanou štandardnou neistotou $u_c > 5,0 \cdot 10^{-4}$.

SCHÉMA NADVÄZNOSTI MERADIEL A MIER JS ELEKTRICKÉHO NAPÄTIA DO 1000 V



4.2.3 Pracovné meradlá a miery

Ako pracovné meradlá js napätia sa používajú voltmetre a kalibrátory js napätia do 1000 V.

Chyby referenčných a pracovných etalónov, používaných pri kalibrácii pracovných meradiel, musia byť päťkrát menšie ako dovolené chyby skúšaných pracovných meradiel.

Metódy prenosu stupnice jednosmerného napätia sú podrobne opísané v správe [1], v ktorej sú zhrnuté výsledky výskumu etalónu stupnice js napätia.

4.3 Neistoty etalónu stupnice jednosmerného napätia.

Výsledok merania je odhad hodnoty meranej veličiny, preto vyjadrenie výsledku merania je úplné len s údajom, ktorý charakterizuje neistotu výsledku merania. Postup pre stanovenie neistoty má byť univerzálny, tj. aplikovateľný pre všetky druhy meraní a stanovená neistota jedného merania má byť priamo využiteľná ako komponenta neistoty v ďalších meraniach. Jednotný prístup na stanovenie a vyjadrenie neistoty merania je zabezpečovaný predovšetkým dokumentom EA – 4/02.

Neistota merania sa skladá z niekoľkých komponent. Náhodné vplyvy ovplyvňujúce jednotlivé merania spôsobujú taký rozptyl hodnôt, že ich možno vyhodnotiť len štatistickými metódami z opakovaných meraní. Vplyv iných komponent by sa dal z opakovaných meraní úplne vyhodnotiť len po dlhšom sledovaní daného procesu rôznymi metódami v rôznych laboratóriách a pod. S ohľadom na časové obmedzenie pri bežných meraniach metrologického zabezpečenia meradiel, pri vyhodnotení vplyvu týchto komponent neistoty, sa štatistické metódy aplikujú na rozdelenie hodnôt získaných iným spôsobom ako z opakovaných meraní. Prvý prístup stanovenia neistoty sa nazýva výpočet neistoty typu A a druhý výpočet neistoty typu B. Zodpovedajúce komponenty celkovej neistoty sa nazývajú neistota typu A a neistota typu B.

Základnou kvantitatívnou charakteristikou neistôt oboch typov je štandardná neistota, ktorá je číselne vyjadrená výberovou smerodajnou odchýlkou aritmetického priemeru, pričom v prípade neistôt typu A sa vychádza z funkcie hustoty pravdepodobnosti hodnôt konkrétneho merania, v prípade neistôt typu B sa vychádza z funkcie hustoty pravdepodobnosti odhadnutej na základe údajov z rôznych prameňov.

Ak výsledkom “ i ” opakovaných meraní napätia U_X sú hodnoty $U_{X,i}$, potom štandardnú neistotu typu A vypočítame podľa vzťahu

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (U_{X,i} - \overline{U_X})^2} \quad (4.3.1)$$

kde

$$\overline{U_X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{X,i} \quad (4.3.2)$$

je aritmetický priemer nameraných údajov.

V laboratórnej praxi vykonávame obvykle desať opakovaných meraní.

Kým aplikácia dokumentu EA – 4/02 na výpočet neistoty typu A je jednoznačná, výsledok aplikácie týchto predpisov na výpočet neistoty typu B závisí od prístupu metrológa, od jeho skúsenosti v danej oblasti, vyžaduje analýzu meracej zostavy a meracej metódy. Každá oblasť merania má svoje charakteristické zdroje neistôt.

V pôvodnom etalóne stupnice js napätia bol dominantným prvkom samotný odporový delič js napätia, a to aj pri stanovovaní neistôt meraní. Pre úplnosť je v ďalšom uvedený postup na stanovenie štandardnej neistoty typu B pre napäťový odporový delič G9700PL, čo je dôležité pre stanovovaní kombinovanej štandardnej neistoty merania.

Výpočet tejto neistoty vychádza z metódy overenia deliča. Táto je modifikáciou ekvisekčnej metódy, uvedenej v manuáli deliča, s využitím PC podľa obr.4.1.2.

Štandardná neistota typu B je pre delič Guildline 9700PL dominantne daná neistotou, s ktorou je vyvažované napätie kalibrátora pripájané na príslušnú odbočku deliča. V programe pre meranie deliaceho pomeru je zadaná limitná úroveň napätia nulového indikátora, pod ktorú keď klesne diferencia medzi kompenzačným napätím a napätím na odbočke, je hodnota nastaveného napätia zapísaná ako platná hodnota napätia na odbočke deliča. Táto limitná hodnota je súčinom rozsahu nulového indikátora, číselnej hodnoty z programu a hodnoty napätia na odbočke. V konkrétnom prípade pre 1 V je

$$U_{\text{lim}} = 10^{-5} \cdot 0,025 \cdot 1 = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ V.}$$

Pre rovnomerné rozdelenie je potom

$$u_{B1V} = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ V}$$

Z hľadiska číslovania jednotlivých sekcií deliča je to neistota pre sekciu č.3.

Pre sekcie č.4 a 5 je nastavované napätie 10 V a

$$u_{B10V} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ V}$$

a pre ďalšie sekcie potom analogicky

$$u_{B100V} = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

$$u_{B1000V} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ V}$$

Vyššie uvedené hodnoty predstavujú neistoty typu B pre hodnotu meraného napätia na odbočke. Kombinovaná štandardná neistota, s ktorou bola nameraná hodnota napätia na príslušnej odbočke, je potom

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (4.3.3)$$

kde za u_B sa dosadzujú hodnoty pre jednotlivé sekcie.

Stanovenie neistoty typu B pre príslušný deliaci pomer je dané vlastne neistotami napätí na jednotlivých odbočkách, nakoľko deliaci pomer sa vypočítava z pomeru súčtov napätí na všetkých zodpovedajúcich odbočkách k napätiu na odbočke prvej (v konkrétnom prípade 1 V). Možno teda napísať

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{U_1} \quad (4.3.4)$$

kde P - deliaci pomer

U_i - napätie odbočky deliča

- U_1 - napätie prvej odbočky (1 V)
- n - počet napätí zodpovedajúci prísl. deliacemu pomeru
- i - poradové číslo odbočky

Neistota typu B príslušného deliaceho pomeru je potom

$$u_{B P} = \sqrt{A_1^2 u_{B1}^2 + A_2^2 u_{B2}^2 + \dots + A_n^2 u_{Bn}^2} \quad (4.3.5)$$

kde

$$A_1 = \frac{\partial P}{\partial U_1}, \quad A_2 = \frac{\partial P}{\partial U_2}, \quad A_n = \frac{\partial P}{\partial U_n} \quad (4.3.6)$$

Po úprave, s uvažovaním, že napätie U_1 má hodnotu 1 V

$$u_{B P} = \sqrt{u_{B2}^2 + \dots + u_{Bn}^2} \quad (4.3.7)$$

a kombinovaná štandardná neistota je potom v zmysle (4.3.3)

$$u_{C P} = \sqrt{u_{A P}^2 + u_{B P}^2} \quad (4.3.8)$$

kde $u_{A P}$ je štandardná neistota typu A pre príslušný deliaci pomer.

Kombinovaná štandardná neistota je pri takomto výpočte udaná pre príslušný deliaci pomer.

Z dlhodobého sledovania medziročnej stability deliaceho pomeru deliča pri referenčných podmienkach a z kombinovanej štandardnej neistoty overenej hodnoty príslušných deliacich pomerov možno konštatovať, že relatívna hodnota kombinovanej štandardnej neistoty deliaceho pomeru deliča Guildline 9700PL neprekračovala $2,0 \cdot 10^{-6}$.

Vyššie uvedeným postupom bola odhadovaná neistota deliaceho pomeru až do doby, keď pre zhoršenie metrologických parametrov musel byť delič Guildline 9700PL vyradený zo zostavy etalónu.

Delič Fluke 752A, ktorý sa používa v súčasnej zostave etalónu sa justuje pred každým meraním postupom, ktorý stanovil výrobca. Pokiaľ je delič takto najustovaný, jeho kombinovaná štandardná neistota je udávaná $0,2 \mu\text{V/V}$ pre deliaci pomer 10:1 a $0,5 \mu\text{V/V}$ pre deliaci pomer 100:1, čo vo vyjadrení pre rozšírenú neistotu predstavuje hodnoty 0,4 resp. 1,0 $\mu\text{V/V}$.

5. PREHĽAD ZÁSADNÝCH VÝSLEDKOV VÝSKUMU ETALÓNU

Výskum v oblasti etalónu stupnice jednosmerného napätia v SMÚ bol zameraný na nasledovné okruhy problémov:

- riešenie problematiky uchovávania a sledovania ako aj zlepšovania metrologických parametrov etalónu stupnice js napätia za účelom zabezpečenia prenosu jednotiek v SR v rámci poskytovaných metrologických služieb na akceptovateľnej úrovni,
- porovnávacími meraniami potvrdiť metrologické charakteristiky etalónov stupnice js napätia
- dopracovanie systému kvality pre oblasť etalonáže js veličín.
- analýza stavu súčastí etalónu

V zostave etalónu stupnice js napätia sa ako etalón napätia používa výrobok fy Datron typ 4910. Nakoľko chyba použitého etalónu môže výrazne ovplyvniť presnosť merania napätia, výskum v tejto oblasti bol zameraný na sledovanie neistoty nadviazania zdroja referenčného napätia Datron 4910 na etalón jednosmerného napätia 10 V na báze Josephsonovho javu a sledovanie a vyhodnocovanie stability tohoto zdroja.

Výstupné napätie referenčného zdroja 10 V bolo nadväzované s relatívnou neistotou pod $5,0 \cdot 10^{-9}$. Krátkodobé odchýlky neprekračovali relatívnu hodnotu $3,0 \cdot 10^{-7}$. Pritom počas dvojročného sledovania možno priebeh zmeny napätia preložiť priamkou so sklonom zodpovedajúcim poklesu napätia o $0,35 \mu\text{V}$ za mesiac, čo zodpovedá relatívnemu vyjadreniu $4,0 \cdot 10^{-7}$ za rok. Pri šesťmesačnej periodicite nadväzovania na národný etalón potom neistota vyjadrenia hodnoty referenčného zdroja 10V ako súčasti etalónu stupnice js napätia neprekračuje relatívnu hodnotu $5,0 \cdot 10^{-7}$. To je v súlade s údajmi výrobcu referenčného zdroja.

Výsledky poslednej kalibrácie sú uvedené v Tab. 5.2. Pre úplnosť sú v tabuľke zapísané aj hodnoty výstupov 1 V a „westonovského“ výstupu 1,018 V. V grafe 5.2 je uvedené grafické znázornenie dlhodobej stability výstupu 10 V.

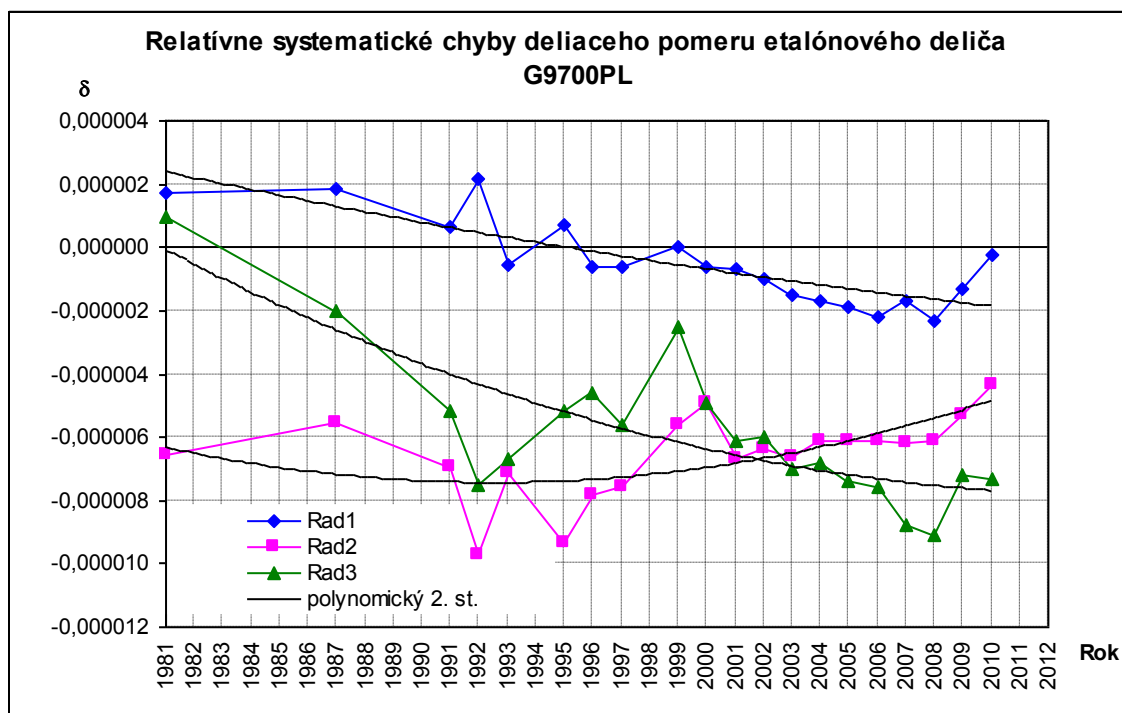
Etalónový odporový delič js napätia Guildline 9700PL, ktorý bol používaný v zostave etalónu stupnice jednosmerného napätia až do jeho vyradenia, bol pravidelne overovaný v ročných intervaloch podľa STN 356211 „Meracie odporové deliče. Metódy skúšania“ autonómne, bez použitia iného etalónu.

Overovanie deliča sa vykonávalo v zapojení podľa obr. 4.1.2 postupom podľa časti 4.1 tejto správy. Je to čiastočne automatizovaná modifikácia výrobcom odporúčaného postupu. Overovanie sa vykonávalo pri referenčnej teplote $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$. Výsledkom každého overenia bolo vyčíslenie chyby deliaceho pomeru deliča s prednostným zreteľom na hodnoty 10:1, 100:1 a 1000:1.

Výrobca uvádza relatívnu chybu deliaceho pomeru deliča $\pm 5,0 \cdot 10^{-6}$. Zároveň ale poznamenáva, že pri stanovení chyby konkrétneho deliča treba vychádzať z výsledkov získaných pri autonómnom overovaní - kalibrácii deliča. To je v súlade aj s praktickými potrebami pri používaní deliča v zostave etalónu stupnice jednosmerného napätia, nakoľko po zistení systematického vplyvu na deliaci pomer deliča je dôležitá stabilita takéhoto deliaceho pomeru. Týmto smerom bol zameraný aj výskum v tejto oblasti.

Konkrétny odporový delič je zariadenie pasívneho charakteru, bez nastavovacích prvkov. Aktívnou časťou je vyhrievacie zariadenie s termostatom na udržovanie teploty olejového kúpeľa deliča na úrovni $(30 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ a miešadlá udržiujúce olej v pohybe. Delič sa vekom

stabilizoval. Je to zrejme z grafu č. 5.1, zobrazujúceho stabilitu deliaceho pomeru 10:1, 100:1 a 1000:1 za posledných sedemnášť rokov. Zmena deliaceho pomeru od roku 1993 nepresahuje $2,0 \cdot 10^{-6}$ za rok. Konkrétne hodnoty nameraných delicích pomerov sú uvedené v Tab. 5.1.



Graf 5.1

Rok	Hodnoty deliacich pomerov			Relatívne systematické chyby		
	dp 10:1	dp 100:1	dp 1000:1	dp 10:1	dp 100:1	dp 1000:1
1981	9,999983	100,00065	999,9990	-1,7E-06	6,5E-06	-9,9E-07
1987	9,999982	100,00055	1000,0020	-1,8E-06	5,5E-06	2,0E-06
1991	9,999994	100,00069	1000,0052	-6,3E-07	6,9E-06	5,2E-06
1992	9,999978	100,00097	1000,0075	-2,2E-06	9,7E-06	7,5E-06
1993	10,000006	100,00071	1000,0067	5,8E-07	7,1E-06	6,7E-06
1995	9,999993	100,00093	1000,0052	-6,8E-07	9,3E-06	5,2E-06
1996	10,000006	100,00078	1000,0046	6,0E-07	7,8E-06	4,6E-06
1997	10,000006	100,00076	1000,0056	6,0E-07	7,6E-06	5,6E-06
1999	10,000000	100,00056	1000,0025	0,0E+00	5,6E-06	2,5E-06
2000	10,000001	100,00049	1000,0049	6,0E-07	4,9E-06	4,9E-06
2001	10,000001	100,00067	1000,0061	7,0E-07	6,7E-06	6,1E-06
2002	10,000010	100,00064	1000,0060	1,0E-06	6,4E-06	6,0E-06
2003	10,000015	100,00066	1000,0070	1,5E-06	6,6E-06	7,0E-06
2004	10,000017	100,00061	1000,0068	1,7E-06	6,1E-06	6,8E-06
2005	10,000019	100,00061	1000,0074	1,9E-06	6,1E-06	7,4E-06
2006	10,000002	100,00061	1000,0076	2,2E-06	6,1E-06	7,6E-06

2007	10,000017	100,00062	1000,0088	1,7E-06	6,2E-06	8,8E-06
2008	10,000023	100,00061	1000,0091	2,3E-06	6,1E-06	9,1E-06
2009	10,000013	100,00053	1000,0072	1,3E-06	5,3E-06	7,2E-06
2010	10,000003	100,00044	1000,0073	2,6E-07	4,4E-06	7,3E-06

Tab.5.1

REFERENCIA D 4910 sn 251 68 - 8

Výstup 1,000 V

Dátum	Počet meraní	Priemerná hodnota(V)	U2 (V)
2.10.10	50 meraní	0,99999293	$7,4 \cdot 10^{-7}$

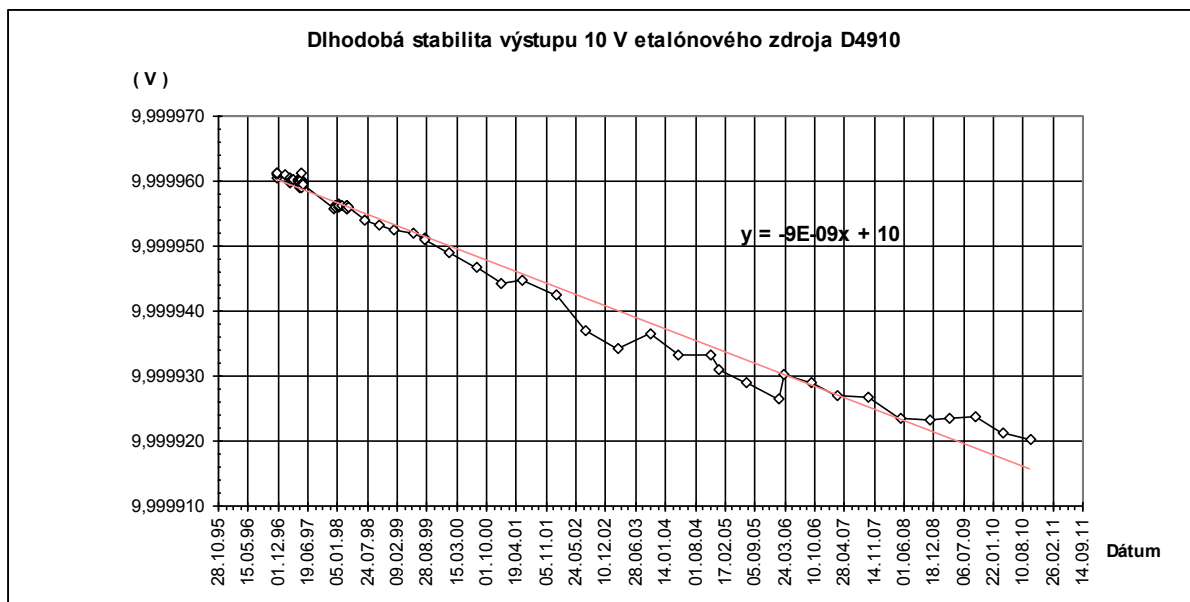
Výstup 1,018 V

Dátum	Počet meraní	Priemerná hodnota(V)	U2 (V)
2.10.10	50 meraní	1,01859347	$7,4 \cdot 10^{-7}$

Výstup 10 V

Dátum	Počet meraní	Priemerná hodnota(V)	U2 (V)
2.10.10	50 meraní	9,9999202	$1,2 \cdot 10^{-6}$

Tab. 5.2



Graf 5.2

Na základe vzájomného dohovoru medzi ČMI a SMÚ bolo v septembri 1998 vykonané porovnanie etalónového odporového deliča napätia SMÚ s odporovým deličom

napätia Datron 4902, ktorý predložil ČMI. Výsledky tohto porovnania sú uvedené v [4] a možno konštatovať, že porovnanie bolo úspešné. Podrobne je postup pri porovnaní uvedený v správe [1].

V nasledujúcom období sa etalón stupnice ako súčasť národného etalónu jednosmerného napätia zúčastnil ďalších medzinárodných porovnaní.

Merania realizované v SMÚ v rámci **COMPARISON EUROMET.EM-K8 OF DC VOLTAGE RATIO** (pôvodne EUROMET projekt č.449) pomocou cestovného etalónového odporového deliča napätia Wavetek Datron typ 4902/S výr. č. 12 422 sú uvedené v Tab. 5.3 a Tab. 5.4. Graf 5.3 zobrazuje výsledky porovnaní projektu Euromet k-8. Bol prevzatý z [10].

Analyza neistôt pre deliaci pomer 1000 V / 10 V

Veličina X_i	Odhad x_i	Štandardná neistota $u(x_i)$	Rozdelenie pravdepodobnosti	Koeficient citlivosti c_i	Príspevok k štandardnej neistote $u_i(R)$	Stupne voľnosti ν_i
R_S	0,9999957	3,0E-08	normal	1	3,0E-08	6,6E+07
δR_{NI}	0,0000080	5,00E-08	rectangular	1	5,00E-08	
δ_{RD}	0	1,20E-06	rectangular	1	1,20E-06	
δ_{LR}	0	1,00E-08	rectangular	1	1,00E-08	
δ_{TA}	0	1,00E-08	rectangular	1	1,00E-08	
δ_{SH}	0	5,00E-08	rectangular	1	5,00E-08	
R 1000/10	1,0000037				$u(R) = 1,2E-06$	$\nu_{\text{eff}} = 6,6E+07$

Tab. 5.3

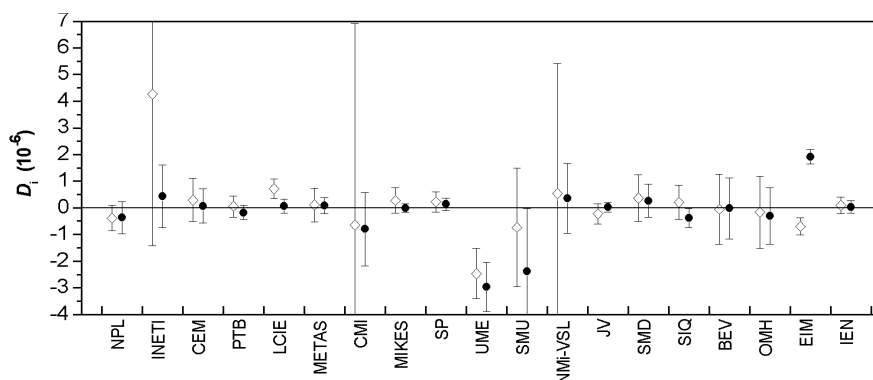
Analyza neistôt pre deliaci pomer 100 V / 10 V

Veličina X_i	Odhad x_i	Štandardná neistota $u(x_i)$	Rozdelenie pravdepodobnosti	Koeficient citlivosti c_i	Príspevok k štandardnej neistote $u_i(R)$	Stupne voľnosti ν_i
R_S	0,9999957	3,0E-08	normal	1	3,0E-08	1,1E+09
δR_{NI}	0,0000085	5,0E-08	rectangular	1	5,0E-08	
δ_{RD}	0	1,2E-06	rectangular	1	1,2E-06	
δ_{LR}	0	1,0E-08	rectangular	1	1,0E-08	
δ_{TA}	0	1,0E-08	rectangular	1	1,0E-08	
δ_{SH}	0	5,0E-08	rectangular	1	5,0E-08	
R 100/10	1,0000042				$u(R) = 1,2E-06$	$\nu_{\text{eff}} = 1,1E+09$

Tab 5.4

Legenda k Tab 5.3 a Tab 5.4.

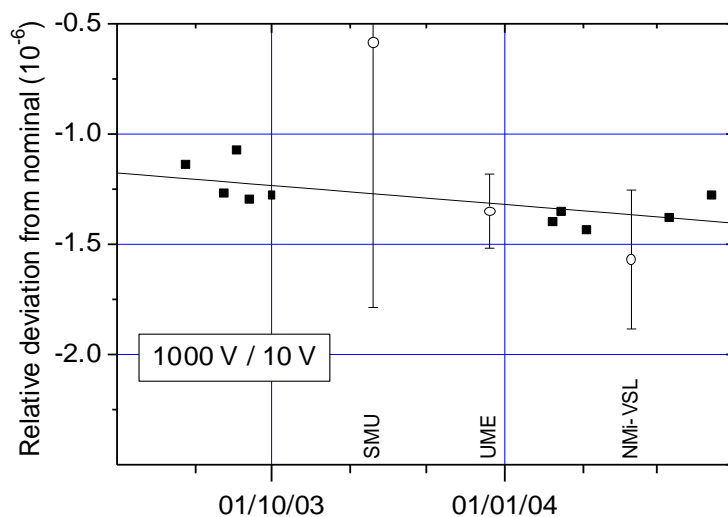
- $R_{1000/10}$ deliaci pomer vyjadrený relativne k menovitej hodnote deliaceho pomeru
- $R_{100/10}$ deliaci pomer vyjadrený relativne k menovitej hodnote deliaceho pomeru
- R_S SMU etalónový deliaci pomer
- δR_{NI} odchýlka stanovenia deliaceho pomeru vzhľadom na nulový indikátor
- δ_{RD} korekcia na stabilitu etalónového deliča
- δ_{LR} korekcia na zvodové prúdy
- δ_{TA} korekcia na zmenu teploty okolia
- δ_{SH} korekcia na vlastný ohrev



Stupne ekvivalencie s ohľadom na etalón pre hodnoty 1000 V/ 10 V (prázdne štvorčeky) a 100 V/10 V (čierne krúžky). Neistota zodpovedá 95% intervalu pravdepodobnosti.

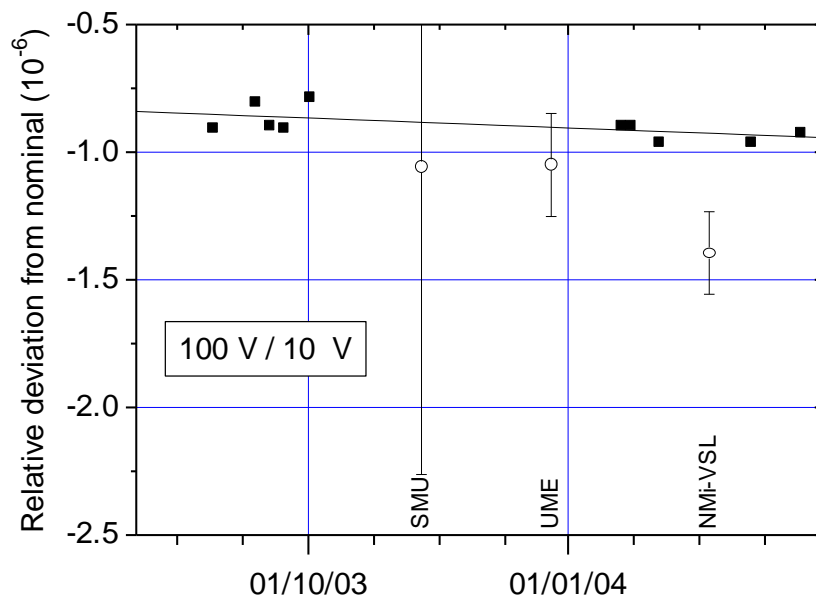
Graf 5.3

V ďalšom období sme sa zúčastnili následného porovnania. Výsledky tohto porovnania sú uvedené na grafoch 5.4 a 5.5. Tieto grafy boli prevzaté z [11].



Pomer 1000 V / 10 V: laboratorne výsledky, korigované na etalónové podmienky okolia, zodpovedajúce celkovej štandardnej neistote a lineárnej interpolácii meraní v IEN.

Graf. 5.4



Pomer 100 V / 10 V: laboratorne výsledky, korigované na etalónové podmienky okolia, zodpovedajúce celkovej štandardnej neistote a lineárnej interpolácii meraní v IEN.

Graf. 5.5.

Výsledky medzinárodných porovnaní potvrdili metrologické parametre etalónu stupnice js napätia. Zaradením referenčného deliča Fluke 752A do zostavy NE, došlo k zníženiu neistoty hodnôt deliacich pomerov na polovicu.

Potvrdenie metrologických parametrov deliča Fluke 752A bolo realizované medzinárodným porovnaním s ČMI ku dňu 30.10.2006. Správa o tomto porovnaní je zozname publikácií [15].

Výsledky porovnania sú uvedené v tabuľke Tab. 5.5.

Deliaci pomer	100/10	1000/10
δ_{4902} SMÚ	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
u_c	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$
δ_{4902} ČMI	$9,0 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
u_c	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$
Rozdiel	$-1,9 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
E_N	0,09	0,03

Tab. 5.5

Poznámky k tabuľke 5.5:

- 1) V prvom riadku tabuľky sú uvedené systematické chyby deliča Datron 4902 z ČMI ktoré boli zistené porovnaním s deličom Fluke 752A v SMÚ.
- 2) V druhom riadku tabuľky sú uvedené kombinované štandardné neistoty podľa údajov výrobcu.
- 3) V treťom riadku sú uvedené chyby deliča Datron 4902 udané ČMI.
- 4) Štvrtý riadok tabuľky je určený pre neistoty hodnôt z riadku 3 udané ČMI.
- 5) Piaty riadok tabuľky znázorňuje rozdiely zistené pri porovnaní.

Možno konštatovať, že porovnanie deličov, ktoré je číselne vyjadrené v tabuľke 5.5, preukazuje dobrú zhodu údajov ČMI a hodnôt nameraných v SMU. Rozdiel v hodnotách je nižší ako je garantovaná presnosť deliaceho pomeru udávaná výrobcom deliča Fluke 752A. Ak vyjadríme koeficient normalizovanej pomernej chyby E_N , vidíme že je hlboko pod hodnotu 1.

Referenčný delič Fluke 752A bol taktiež kalibrovaný porovnaním s odporovým napätovým deličom Guildline 9700PL 15.11. 2006 a 15.11.2007. Tieto kalibrácie sú dokladované kalibračnými certifikátmi č. 000_001/240/21/06, resp. č. 000_001/240/21/07. Výsledky kalibrácie potvrdili metrologické parametre referenčného deliča Fluke 752A.

6. INŠTITÚCIE, ÚTVARY A OSOBY ZODPOVEDNÉ ZA ETALÓN

Etalón stupnice jednosmerného napätia uchováva Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, 842 55 Bratislava, a to v Centre elektriny, v miestnosti určenej pre etalón stupnice jednosmerného napätia, ktorá sa nachádza v bloku H a je označená číslom 143. Garantom tejto časti etalónu jednosmerného napätia je Ing. Dušan Rudohradský.

7. ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ O ETALÓNE V ODBORNEJ LITERATÚRE

1. M.Balabán: Koncepcia rozvoja metrológie el. meracích prístrojov a zariadení. Správa č.K31-31/70.
2. Metrológia el napätia, prúdu, výkonu a práce. Zborník prednášok. Bratislava 1984.
3. D. Rudohradský: Etalón stupnice jednosmerného napätia 10 V ÷ 1000 V. Výsledky výskumu, SMÚ, Bratislava 1998.
4. D. Rudohradský: Slovenský národný etalón stupnice js napätia 10 V ÷ 1000 V. Súhrnná správa o etalóne, SMÚ, Bratislava január 1999.
5. D.Rudohradský: Etalón stupnice jednosmerného elektrického napätia. Časopis pre elektrotechniku a energetiku, roč. 10, 2004, č. 1, s.17 -19.
6. MARULLO-REEDTZ, G. - CERRI, R. - WALDMANN, W. - STREIT, J. - VRABČEK, P. - RUDOHRADESKÝ, D....: Comparison EUROMET.EM-K8 of DC

Voltage Ratio : Results. In: Conference on precision electromagnetic measurement (CPEM 2004) Measurement Digest, Londýn 2004, s.253-253

7. Dušan Rudohradský, Peter Vrabček: Metrológia jednosmerného elektrického napätia a prúdu. Bratislava 2003. Skriptá. SMU Bratislava. V tlači.
8. VRABČEK, P.: Kvantové etalóny elektrických veličín : Čiastková správa úlohy 240 040. Bratislava : SMU, december 2002. 16 s. 2 prílohy.
9. VRABČEK, P. a kol.: Kvantové etalóny elektrických veličín : Čiastková správa úlohy 240 040. Bratislava : SMU, december 2003. 19 s

8. DOKUMENTÁCIA O ETALÓNE

1. Operating Instructions: Master volt ratio box Model 9700PL. Manuál fy Guildline.
2. Wavetek-Datron: 4910 and 4911 DC Voltage Reference Standard. User's handbook.
3. 752A, Reference Divider, Instrukcion Manual.

9. LITERATÚRA

- [1] D. Rudohradský: Etalón stupnice jednosmerného napätia 10 V ÷ 1000 V. Výsledky výskumu, SMÚ, Bratislava 1998.
- [2] M.Balabán: Koncepcia rozvoja metrológie el. meracích prístrojov a zariadení. Správa č.K31-31/70
- [3] Metrológia el napätia, prúdu, výkonu a práce. Zborník prednášok. Bratislava 1984.
- [4] D. Rudohradský: Slovenský národný etalón stupnice js napätia 10 V ÷ 1000 V. Súhrnná správa o etalóne, SMÚ, Bratislava január 1999.
- [5] Datron instruments. Standards and traceability. Informačný materiál o nadväznosti a kalibrovani výrobkov firmy Datron.
- [6] URSI Register of National Standards Laboratories Adam Hilger, Bristol and New York, 1990
- [7] G. Marullo Reedtz, R. Cerri: Characterisation of the traveling standard for an international comparison of DC voltage ratio. Conference on precision electromagnetic measurement.

Conference Digest, Washington, DC. USA júl 1998.

- [8] EA – 4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. European co-operation for Accreditation, december 1999.
- [9] G. Marullo Reedtz: Draft B EUROMET EM-K8. Final report. 2003
- [10] G. Marullo Reedtz: Comparison EUROMET EM – K8 final. jún 2004
- [11] G. Marullo Reedtz: Draft A EUROMET EM-K8.1 follow up jún 2004
- [12] D.Rudohradský: Etalón stupnice jednosmerného elektrického napätia. Časopis pre elektrotechniku a energetiku, roč. 10, 2004, č. 1, s.17 -19.
- [13] MARULLO-REEDTZ, G. - CERRI, R. - WALDMANN, W. - STREIT, J. - VRABČEK, P. - RUDOHRADESKÝ, D.....: Comparison EUROMET.EM-K8 of DC Voltage Ratio : Results. In: Conference on precision electromagnetic measurement (CPEM 2004) Measurement Digest, Londýn 2004, s.253-253
- [14] Dušan Rudohradský, Peter Vrabček: Metrológia jednosmerného elektrického napätia a prúdu. Bratislava 2003. Skriptá. SMU Bratislava. V tlači.
- [15] Rudohradský: Správa o porovnaní deliča Datron 4902S s deličom Fluke 752A.
- [16] Rudohradský: Národný etalón jednosmerného napätia NE-11/99 v rozsahu 10 mV až 1000 V, časť stupnice jednosmerného napätia 10 V až 1000 V, Bratislava 30.09.2004, správa k revízii etalónu v roku 2004.

Príloha A : Pravidlá používania a uchovávanía etalónu stupnice jednosmerného napätia.

V Bratislave, 18.11.2010.

Ing. Dušan Rudohradský