

# MELHORIAS NO SISTEMA POTENCIOMÉTRICO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO E DE CORRENTE DC

Rodrigo Ventura<sup>1</sup>, Vanderson M Teixeira<sup>2</sup>, Vitor Ferreira<sup>3</sup>, Regis P Landim<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil, rvventura@inmetro.gov.br

<sup>2</sup> Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil, vmteixeira@inmetro.gov.br

<sup>3</sup> Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil, vferreira@inmetro.gov.br

<sup>4</sup> Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil, rplandim@inmetro.gov.br

**Resumo:** Este artigo tem por objetivo apresentar as melhorias realizadas no sistema potenciométrico de medição de tensão e corrente dc laboratório de tensão e corrente elétrica do Inmetro, bem como os resultados obtidos destas melhorias.

**Palavras chave:** Calibração, fonte, rastreabilidade, tensão contínua, voltímetro.

## 1. INTRODUÇÃO

O laboratório de tensão e corrente elétrica do Inmetro (Latce) é responsável pela realização, reprodução, manutenção e disseminação do volt e do ampère no Brasil através da calibração de medidores e geradores de alta exatidão de laboratórios de institutos de pesquisa, universidades, grandes empresas do setor de geração de energia elétrica e de laboratórios de metrologia acreditados à Rede Brasileira de Calibração – RBC. Uma parcela considerável deste serviço é a realização de calibrações de calibradores e voltímetros digitais de alta exatidão em tensão contínua (Vdc) e corrente contínua (Idc).

Atualmente o padrão de referência para este serviço é o sistema potenciométrico. Este sistema é composto por um potenciómetro automático da Measurements International (MI), modelo 8000A, um multímetro digital Agilent, modelo 3458A, e um padrão de referência dc Fluke, modelo 723A, no valor de 10 V.

O potenciómetro tem como base do seu funcionamento um divisor resistivo binário de tensão (DBT) [1] de treze estágios que, ao ser alimentado pela tensão constante do padrão de referência dc ( $V_{in}$ ), apresenta uma tensão de saída variável ( $V_{pot}$ ) a partir de  $1/2^{13}$  do valor de  $V_{in}$ . Sendo assim, através do multímetro digital de 8 ½ dígitos, pode-se realizar a comparação de  $V_{pot}$  com o valor de tensão contínua gerado por qualquer fonte dc ( $V_x$ ).

Esta comparação se dá pelo método por comparação diferencial, ou seja, utilizando o multímetro padrão, mede-se a diferença de tensão ( $\Delta V$ ) entre  $V_{pot}$  e  $V_x$  conforme demonstrado na figura 1.

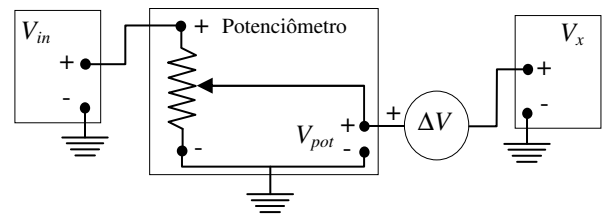


Figura 1. Esquema de conexão do sistema potenciométrico

Porém, em função de algumas características, verificou-se que a incerteza do sistema está superdimensionada, podendo esta ser reduzida em algumas unidades de  $\mu V/V$ . Estas características são: a especificação definida pelo fabricante do potenciómetro, o limite inferior de  $V_{pot}$  e a resolução do multímetro utilizado. Neste artigo será apresentada cada uma das modificações realizadas para reduzir estas incertezas.

## 2. MELHORIAS REALIZADAS

### 2.1. Resolução de $\Delta V$

Como apresentado, a calibração de uma fonte de tensão contínua se dá pela medição da diferença ( $\Delta V$ ) entre  $V_{pot}$  e  $V_x$  e atualmente utiliza-se um multímetro de 8 ½ dígitos para esta função (detector de nulo).

A primeira faixa de medição deste instrumento é 100 mV, com uma resolução de 10 nV. Sendo assim, como  $\Delta V$  tem valores da ordem de 1 mV para  $V_{in}$  de 10 V, as medições com este instrumento são inferiores a 2% da faixa de medição, algo que não é muito recomendado.

Dessa forma, para melhorar o sistema, optou-se por utilizar o nanovoltímetro digital Keithley, modelo 182, para realizar as medições de  $\Delta V$ . Este instrumento tem resolução de 1 nV na sua menor faixa de medição, que é 3 mV. Com isso, os valores de  $\Delta V$  são conhecidos com mais uma casa decimal, além de serem realizados em uma faixa de medição que representam mais de 10 % do limite da faixa, algo mais recomendado.

Dessa forma, os resultados ficam mais exatos, uma vez que o desvio padrão é de uma ordem de grandeza menor do que o do medidor utilizado atualmente.

## 2.2. Especificação do potenciômetro

Uma das componentes de incerteza mais significativas, principalmente para valores de tensão inferiores a 10 mV, é a especificação dada pelo fabricante ao potenciômetro, que está definida por  $0,03 \mu\text{V/V} + 0,15 \mu\text{V}$  [2].

Através dos anos de utilização deste equipamento, desde o final da década 90, acumulou-se um histórico suficiente para identificar o comportamento da sua deriva ao longo do tempo. Sendo assim, através de um estudo estatístico, verificou-se a estabilidade de cada estágio de divisão do DBT e dessa forma verificou-se que esta componente de incerteza poderia ser reduzida. A tabela 1 apresenta o resultado do estudo realizado com  $V_{in}$  igual a 10 V.

Tabela 1. Estabilidade dos estágios do DBT ao longo do tempo

Estágio	Tensão do estágio (V)	Estabilidade ( $\mu\text{V}$ )
1°	5	0,24
2°	2,5	0,17
3°	1,25	0,11
4°	0,625	0,09
5°	0,3125	0,06
6°	0,15625	0,05
7°	0,07812	0,03
8°	0,03906	0,02
9°	0,01953	0,01
10°	0,00976	0,01
11°	0,00488	0,01
12°	0,00244	0,01
13°	0,00122	0,01

## 2.3. Limite inferior de $V_{pot}$

O DBT, base de funcionamento do potenciômetro, é um divisor resistivo binário de 13 estágios que possibilita uma tensão de saída de até  $1/2^{13}$  do valor de  $V_{in}$ .

Atualmente é utilizado um padrão zener de referência dc de 10 V como alimentação do DBT ( $V_{in}$ ), sendo assim, os valores na saída variam desde aproximadamente 1,22 mV até 10 V. Logo, a calibração de valores inferiores 1 mV é impraticável com este sistema, uma vez que o valor medido pelo detector de nulo seria diretamente o da fonte sob calibração ( $V_x$ ).

Para melhorar este quesito, verificou-se que o potenciômetro não perde suas características de estabilidade e exatidão quando alimentado por um valor de  $V_{in}$  igual a 0,5 V, com isso, os valores de saída ( $V_{pot}$ ) estariam no intervalo de 66,1  $\mu\text{V}$  até 0,5 V.

Como a estabilidade de  $V_{in}$  também é uma das características críticas do sistema potenciométrico, foi utilizado um resistor padrão no valor de aproximadamente 920  $\Omega$  na saída de 1 V do padrão de referência dc, conforme apresentado na figura 2. Esse resistor muda a característica do divisor resistivo interno ao padrão dc [3], reduzindo a tensão de alimentação para o valor necessário, porém sem perdas significativas da estabilidade do padrão de referência.

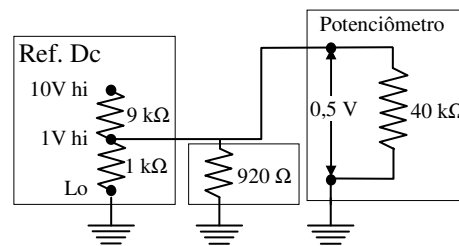


Figura 2. Esquema de conexão do sistema potenciométrico para medição abaixo de 1 mV

Com esta modificação, além de diminuir as incertezas para medições entre 10 mV e 1 mV, foi possível a utilização deste sistema para a faixa de valores compreendidos entre 100  $\mu\text{V}$  e 1 mV.

## 3. RESULTADOS OBTIDOS

A tabela 2 apresenta uma comparação entre as componentes de incerteza antes e depois das melhorias.

Tabela 2. Comparação das incertezas

$x_i$	$u(x_i)$ Antes	$u(x_i)$ Depois
Resolução de $\Delta V$	10 nV	1 nV
Desvio padrão de $\Delta V$	40 nV	6 nV
Estabilidade. do Potenciômetro	$0,03 \mu\text{V/V} + 0,15 \mu\text{V}$	$0,01 \mu\text{V}$ até $0,24 \mu\text{V}$

Além das incertezas terem seus valores reduzidos, a faixa de medição real do potenciômetro foi estendida para valores a partir de 100  $\mu\text{V}$ .

## 4. CONCLUSÃO

As mudanças realizadas, além de reduzirem as incertezas do sistema, possibilitaram a utilização do mesmo em faixas de valores até então inatingíveis.

Além dessas modificações, estuda-se também a modificação do processo de medição de  $\Delta V$ , passando para o método diferencial por série-oposição, ou seja, serão realizadas medidas de  $\Delta V$  de maneira direta e inversa, com isso, se garante uma eliminação mais eficiente de tensões parasitas do sistema.

Este estudo e um melhor detalhamento do funcionamento do sistema potenciométrico, suas grandezas de influência e características, serão melhor detalhadas na versão final deste artigo

## REFERENCIAS

- [1] R. D. Cutkosky, "A New Switching Technique for Binary Resistive Dividers", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM 27, No. 4, pp. 421-422, 1978
- [2] Measurements international – MI, "Operator Manual – Model 8000A – Automatic Potentiometer".
- [3] Fluke Corporation, "732A DC Reference Standard Instruction Manual", pp.8'-11.