

Erros em multímetros digitais

Os multímetros digitais contêm dentro conversores analógicos digitais (conversores A/D). Assim, antes de explicitar como obter os erros instrumentais nas medidas de tensão, corrente e resistência, convém ter uma noção da origem desses erros. Para isso, a seguir, uma breve descrição dos conversores A/D.

Fundamentos conversores analógicos digitais

Os transdutores são dispositivos que transformam variações de magnitude físicas em sinais elétricos. São exemplos de transdutores as termocuplas, os termistores, os cristais piezoelétricos, os *strain gauges* (que servem para medir forças), etc. Os sinais elétricos gerados pelos transdutores são contínuos. Os sistemas de aquisição de dados são digitais e transformam esses sinais contínuos em uma série de níveis discretos. Cada um desses níveis discretos é nomeado com um número binário. A Fig. 1 tem um exemplo do que seria um conversor A/D de só 3 bits. O número de níveis possível com 3 bits é 8. Os níveis estão representados por números binários entre 000 e 111. Assim, se temos um sinal analógico que pode variar entre 0 e 10 V, cada um dos níveis discretos estará separado dos outros por 1.25 V.

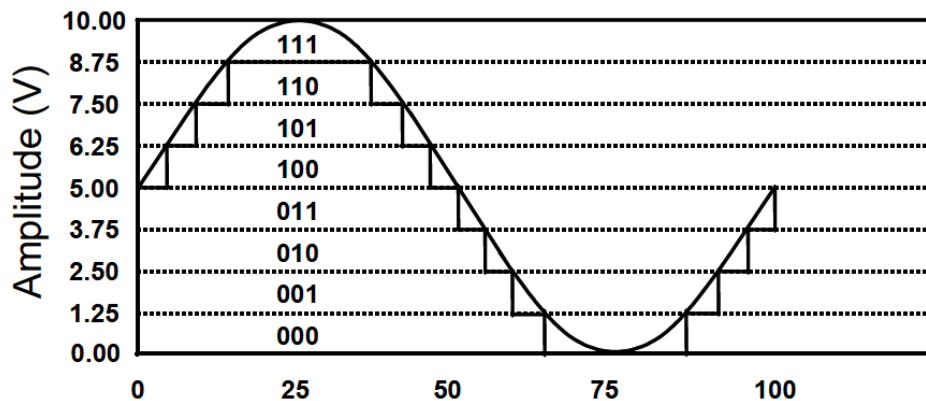


Figura 1: digitalização de um sinal analógico para o caso de uma resolução de três bits.

O número de bits que um conversor A/D utiliza para representar o sinal analógico é a resolução. Quanto maior é a resolução, maior será o número de níveis discretos em que a faixa de valores de tensão poderá ser dividida, e em consequência, será possível detectar um valor de voltagem menor. No exemplo mostrado, é claro que a representação digital não é uma boa representação do sinal analógico. Porém, incrementando a resolução a 16 bits, o número de números binários aumenta de 8 para 65536 e então teremos uma representação digital muito mais precisa do sinal analógico.

Outro parâmetro importante que caracteriza os conversores A/D é a faixa de voltagens que o conversor admite na entrada. Exemplos disso são conversores com uma faixa que pode ir de 0 V até 10 V ou de -10 V até + 10V. Definida a faixa de utilização do conversor, é possível definir a resolução eletricamente. Por exemplo, se o conversor tem faixa de voltagens de 0-10 V e é de 12 bits, então podemos definir a resolução R como:

$$R = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{(2^N - 1) \text{níveis}} = \frac{10V - 0V}{(4096 - 1) \text{níveis}} = \frac{10V}{4095 \text{níveis}} = 0.00244 V / \text{nível} = 2.44 mV / \text{nível} \quad (1)$$

onde N é o número de bits. Como o número de bits nos conversores A/D comerciais é alto e suficiente para que o número 2^N resulte grande, podemos também considerar a resolução R diretamente dividindo por 2^N em lugar de $(2^N - 1)$. A resolução também se pode expressar em porcentagem. No nosso exemplo anterior, a resolução porcentual seria:

$$R_{\%} = 100 \times \frac{0.00244 V}{10 V} = 0.0244 \% \quad (2)$$

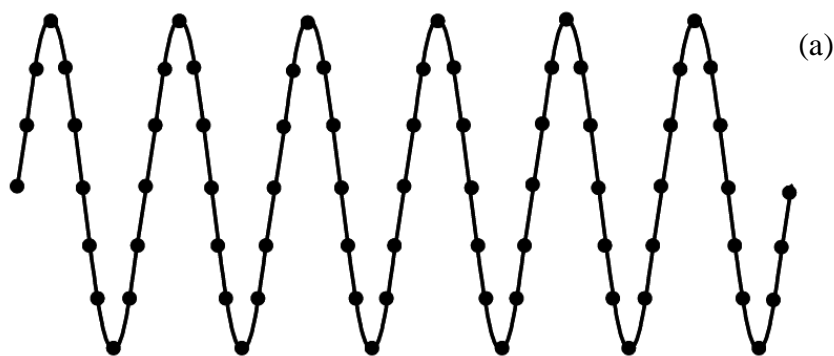
Como para muitas aplicações os sinais analógicos apresentam valores de tensão muito baixos (< mV), esses sinais precisam ser amplificados para incrementar a resolução e reduzir o nível de ruído. O ganho do amplificador pode ser selecionado entre valores típicos de 1, 2, 5, 10, 20, 50, ou 100. Assim, para um conversor A/D de 12 bits, com faixa de tensões entre 0 V e 10 V e ganho máximo de 100, a largura de um código binário será:

$$\frac{10V}{100 \times 2^{12}} = 24.41 \mu V \quad (3)$$

Então, a resolução teórica de um bit é 24.41 μV .

A velocidade de amostragem é também um parâmetro importante a ter em conta nos conversores A/D. Utilizando uma velocidade de amostragem maior é possível adquirir mais pontos em um tempo determinado, e teremos em consequência uma melhor representação do sinal original. Na Fig. 2(a)-(b) podemos ver exemplificado os casos de uma velocidade de amostragem adequada e uma insuficiente. Claro que se o sinal em questão varia mais rápido que o tempo de amostragem, os erros introduzidos na representação do sinal original serão enormes.

O teorema de Nyquist estabelece como frequência mínima teórica de amostragem duas vezes a frequência do sinal a ser digitalizada. Com essa frequência mínima de amostragem é possível, em teoria, recuperar o sinal original.



Amostragem adequada

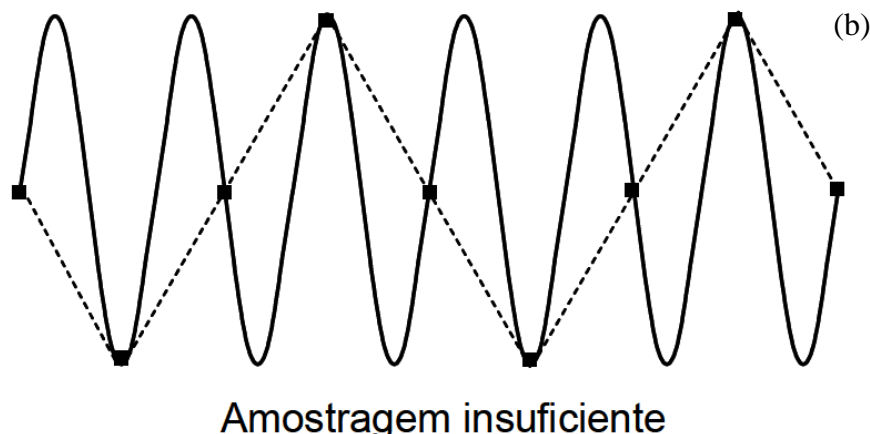


Figura 2: Exemplos de velocidade de amostragem (a): suficiente, (b) insuficiente.

Para maiores dados sobre conversores A/D, as seguintes referências:

1. P. Horowitz and W. Hill, The art of electronics, Cambridge University Press, 1989.
2. National Instruments: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3216>.
3. J. Park and S. Mackay, Data acquisition for instrumentation and control systems, Elsevier, 2003.

Erros de medida nos multímetros digitais

A origem da resolução e dos erros nas medidas feitas com instrumentos digitais vem do conversor A/D que possuem dentro. No caso de nosso interesse, ou seja, nos multímetros digitais, a resolução é dada em função do número de dígitos que é possível observar na tela do aparelho. Um exemplo típico é um multímetro com resolução de 3 ½ dígitos (três e meio dígitos). Nesse caso o multímetro apresenta na tela três dígitos que podem tomar valores entre 0 e 9, e um quarto dígito, que é o mais significativo, que só pode tomar os valores 0 ou 1 (no caso do 0, geralmente o dígito não aparece na tela). O multímetro pode mostrar na tela números até 1.999. Nesse caso se diz que o aparelho tem 1999 contagens de resolução (ou 2000 contagens de resolução). Um multímetro com 4 ½ dígitos, pode ter 19999 (ou 20000) contagens de resolução. Um multímetro de 3 ¾ (três dígitos e três quartos) pode ter 3200, 4000, ou 6000 contagens de resolução. Seria uma extensão dos multímetros de 3 ½ dígitos.

Os erros instrumentais associados aos valores medidos com um multímetro digital dependem da escala utilizada, e vêm especificados no manual do instrumento. Por exemplo, nos multímetros digitais da marca Minipa modelos ET-2095/ET-2510 (como os utilizados nos laboratórios da UFABC) o erro na escala de tensão contínua está dado por:

$$\pm(0.5\% + 2D)$$

e isso significa:

$\pm (0.5 \% \text{ do valor da leitura} + \text{duas vezes o dígito menos significativo da escala}).$

Se tivermos então uma medida de 2.335 V (na escala até 6.000 V), o erro associado será:

$$0.5 \% \text{ de } 2.335 \text{ V} = 0.011675 \text{ V},$$

duas vezes o dígito menos significativo da escala = $2 \times 0.001 \text{ V} = 0.002 \text{ V}$.

Então temos $0.011675 \text{ V} + 0.002 \text{ V} = 0.013675 \text{ V}$

Arredondando temos que a medida com seu erro é:

$$(2.34 \pm 0.01) \text{ V}$$

O mesmo raciocínio se aplica a qualquer outra escala.