

# **Aquisição e Controle**

## **Módulo 003**

### **Circuitos de Entrada**

## Introdução

Como vimos nos Módulos anteriores, os transdutores são responsáveis por converter sinais do ambiente real em sinais elétricos que possam ser processados pelo sistema de aquisição. Muitas vezes estes sinais não estão na forma mais adequada de processamento e precisam passar por um processo de adequação chamado de condicionamento. Neste processo o sinal pode ser amplificado, atenuado, filtrado etc. Estamos aqui nos referindo ao estágio anterior à digitalização. Os sinais são tratados de forma analógica e preparados para que sejam digitalizados adequadamente.

## Circuitos de Entrada

Nos circuitos de aquisição, uma característica muito importante é a qualidade do estágio de entrada, onde o sinal será processado analogicamente. Estes circuitos devem produzir um sinal de saída o mais fiel possível ao sinal de entrada em relação às características que serão analisadas. Para um circuito ideal, podemos definir a relação entre o sinal de saída e de entrada, como uma função, da seguinte forma:

$$S_{saída} = G \times S_{entrada} + Z \quad (1)$$

Na Equação (1) o sinal de saída corresponde ao sinal de entrada multiplicado por um ganho  $G$  e somado a um desvio de zero  $Z$ . Imaginemos um circuito com ganho = 10 e desvio = 2V. Se aplicarmos à entrada deste circuito 0V, vamos obter na saída :

$$S_{saída} = 10 \times 0 + 2 = 2V$$

Podemos concluir que o desvio de zero  $Z$  é o valor apresentado na saída do circuito quando aplicamos na entrada 0V.

O ganho, por sua vez, relaciona a amplitude do sinal de saída com o de entrada. Pela fórmula (1) podemos explicitar o ganho chegando a:

$$G = (S_{saída} - Z) / S_{entrada} \quad (2)$$

No nosso exemplo, se agora aplicarmos à entrada do circuito 5V e medirmos na saída 12V, o ganho será dado por:

$$G = (12 - 2) / 5 = 2$$

Assim, a função que descreve o sinal de saída de nosso circuito em relação ao sinal de entrada será dada por:

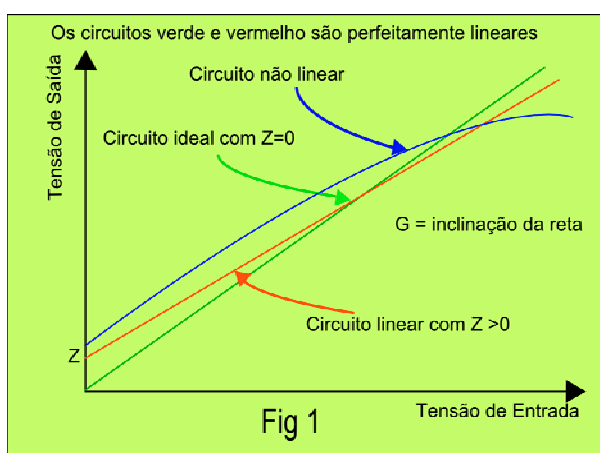
$$S_{saída} = 2 \times S_{entrada} + 2 \quad (3)$$

Se agora aplicarmos 3,75V na entrada do circuito, pela fórmula (3) , obteremos 9,5V na saída.

A fórmula (1) é conhecida como **função de transferência** do circuito. Neste nosso exemplo ela está representando um circuito muito simples, onde não ocorrem perturbações tais como desvio de temperatura, desvios em função da alimentação do circuito, desvios de frequência, não linearidades etc. Apesar de simples, a função de transferência representada em (1) é bastante fiel a muitos circuitos de condicionamento de sinais e bastante utilizada para calcular o sinal de saída em relação ao de entrada.

## Linearidade

A linearidade de um circuito é dada pela capacidade que ele tem de manter o ganho ( $G$ ) e desvio de zero ( $Z$ ), constantes para toda faixa do sinal de entrada. Quando o circuito é perfeitamente linear, a relação entre o sinal de saída e entrada é uma reta, conforme mostrado na fig 1.



A linearidade é uma característica muito importante quando desejamos medir com precisão a amplitude do sinal de entrada. Vamos supor que o sinal de saída de nosso circuito represente a tensão amplificada de um transdutor de pressão. No caso das retas verde e vermelha da figura 1, fica fácil descobrir qual a pressão real medida, bastando para isto conhecer os parâmetros  $G$  e  $Z$  do circuito e utilizar a fórmula (1). O parâmetro  $Z$ , pode ser obtido, aplicando-se  $0V$  à entrada do circuito. O parâmetro  $G$  pode ser obtido, aplicando-se um sinal conhecido à entrada (neste nosso exemplo uma pressão conhecida) e medindo-se o sinal de saída. Ai é só utilizar a equação (2).

Para verificar se um circuito está com um comportamento linear, basta

aplicarmos à entrada uma tabela com sinais conhecidos em toda a faixa de entrada e para cada valor aplicado, anotar o valor de saída. Ai é só montar um gráfico com estes valores e verificar se o resultado é uma reta. Planilhas eletrônicas como o Excel da Microsoft, ajudam nesta tarefa e inclusive calculam o fator  $G$  e  $Z$  do gráfico.

Quando o circuito apresenta uma função de transferência conforme a curva azul da figura 1, definir o sinal de entrada em função do valor medido na saída se torna mais difícil, o que leva à maioria das aplicações a evitar esta situação. Mas muitas vezes fugir de um circuito não linear é impossível e temos que, de alguma forma, contornar este inconveniente. A figura 1 pode estar representado não só a função de transferência de nosso circuito de entrada mas sim o conjunto formado pelo transdutor e o circuito de entrada. Se esta função de transferência é estável, ou seja, nas condições de medição ela se repete, não varia ao longo do tempo, podemos, utilizando uma planilha eletrônica como o Excel, criar um gráfico com valores de entrada e saída e calcular uma curva de tendência que represente da melhor forma possível esta função. Assim, podemos incluir uma tabela de correção na fase digital de processamento de nosso sinal. Com os recursos disponíveis hoje, podemos inclusive definir uma função de transferência e incluí-la na fase digital do processamento (em linguagem C ou Visual Basic fica bem fácil. Em assembly fica mais complicado e trabalhoso)

## Variação com a Temperatura

As funções de transferência apresentadas na figura 1, não levam em consideração uma fator muito importante

nos circuitos de precisão que é a variação da temperatura. A variação da temperatura basicamente provoca uma alteração nos parâmetros G (ganho) e Z (desvio de zero) de nosso circuito. Para muitas aplicações, em função da excelente estabilidade de circuitos disponíveis hoje, esta variação é irrisória e pode ser desconsiderada. Mas quando estamos medindo valores muito pequenos ou onde a precisão final é importante a dependência da temperatura deverá ser considerada durante o projeto do circuito. Veremos esta condição mais a diante. A nossa fórmula (1) pode ser alterada para a fórmula (4) a seguir para introduzir a dependência da temperatura em nossa análise:

$$S_{saída} = G(t) \times S_{entrada} + Z(t) \quad (4)$$

Na fórmula (4), G e Z passam a ser uma função da temperatura e, conforme o caso, serão utilizadas para a correção na leitura obtida do sinal de saída.

## Variação com a Alimentação

Outra fonte de erro em nosso circuito de entrada é a dependência em relação à tensão de alimentação do mesmo. Esta dependência é difícil de ser definida já que a variação da tensão de alimentação é aleatória. Imaginamos que a fonte de alimentação do circuito não é muito estável e seu valor de saída varia com a variação da tensão da rede de alimentação. Como a variação da rede é imprevisível, fica difícil definir uma função que corrija a tensão de saída do circuito em função da variação da rede. Felizmente hoje existem bons circuitos que permitem a implementação de fontes de alimentação bem estáveis e também circuitos de condicionamento de sinais

bastante independentes da tensão de alimentação.

## Variação com a Freqüência

Basicamente, os sinais que vamos medir ou são DC, ou de baixa freqüência ou de alta freqüência. Sinal DC é aquele estático ou de freqüência tão baixa que podem ser considerados estáticos. Quando estamos medindo a temperatura de uma sala, normalmente a velocidade de variação do sinal é tão baixa que podemos considerá-lo estático.

Sinais de baixa freqüência são aqueles que, apesar de não poderem ser considerados estáticos, a velocidade de alteração não é grande suficiente para necessitar de cuidados especiais.

Sinais de média ou alta freqüência são aqueles que já implicam em cuidados durante o projeto do circuito de entrada. Os principais problemas relacionados à freqüência são a oscilação do circuito de entrada, atenuação e deformação do sinal de entrada e o erro de fase. Quando estamos projetando um circuito onde a freqüência é importante, tudo pode influir como por exemplo a banda passante do circuito amplificador ou o comprimento das trilhas do layout.

A freqüência do sinal é muito importante na fase de digitalização do sinal como veremos mais adiante.

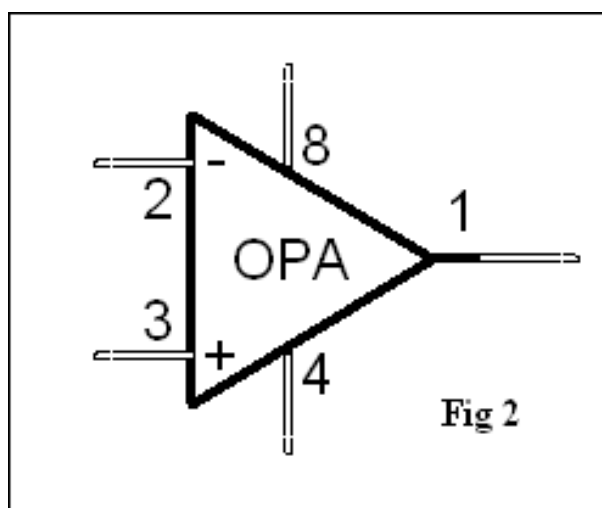
## O Amplificador Operacional

A cerca de 30 anos, se tornou popular um circuito integrado chamado de amplificador operacional. As vantagens de uso destes circuitos são tão grandes que praticamente não existem soluções para aquisição de sinais que não utilizem estes

dispositivos. As principais vantagens é a grande linearidade e precisão no ganho que apresentam, além da independência em relação à fonte de alimentação. Ou seja, tudo que queremos para um bom circuito de entrada! Mas o amplificador operacional não é perfeito e a sua imperfeição fica mais evidente à medida que a frequência do sinal aumenta.

Vamos conhecer um pouco mais os amplificadores operacionais.

A figura 2 apresenta a representação esquemática de um amplificador operacional.



O amplificador operacional (OPA) nada mais é que um bloco de amplificação, com entrada diferencial e um ganho muito elevado. Na figura 2, os pinos 2 e 3 representam as entradas diferenciais do componente, o pino 1 representa a saída e os pinos 8 e 4 as alimentações positiva e negativa respectivamente. A tensão na saída do OPA é função da tensão nas entradas – e + e é dado pela seguinte fórmula simplificada:

$$V_{out} = G_{opa} \times (V_{+} - V_{-}) \quad (5)$$

Onde:

$V_{out}$ : é a tensão na saída pino 1

$V_{+}$ : é a tensão na entrada +

$V_{-}$ : é a tensão na entrada –

$G_{opa}$ : é o ganho do operacional em malha aberta

A fórmula (5) mostra que a tensão de saída do operacional é proporcional à diferença entre as tensões nas entradas (+) e (-) do componente. Assim, se você tem na entrada (+) 5V e na entrada (-) 4,9V, a tensão diferencial de entrada é de 0,1V e a tensão de saída será dada por esta tensão diferencial, multiplicada pelo ganho  $G_{opa}$ .

Tipicamente, o ganho em malha aberta do operacional é muito elevado, podendo chegar facilmente a  $10^6$ . Esta característica é importante e nos permite concluir que se o componente está sendo utilizado como um amplificador numa região de não saturação, a tensão de entrada diferencial deve ser muito pequena. Vamos supor como exemplo, um circuito onde  $G_{opa} = 100.000$  e que numa determinada situação a tensão de saída  $V_{out} = 7V$ . Nestas condições, para satisfazer a equação (5), a tensão diferencial de entrada deverá ser de:

$$7 / 100.000 = 70 \text{ uV (microvolts)}$$

(continua...)