

Sensores e Transdutores

Transdutor: É definido como sendo um dispositivo que recebe energia de um sistema e a transforma, geralmente numa forma diferente.

Sensor : É definido com um dispositivo que é sensível à um fenômeno físico (luz, temperatura, impedância elétrica etc...) e transmite um sinal para um dispositivo de medição ou controle.

Como exemplo um transdutor de pressão não inclui apenas um sensor de pressão, mas a rede de compensação requerida para agrupar o sensor e compatibiliza-lo com outros tipos de transdutores.

Parâmetros importantes num transdutor:

- 1) Princípios de operação envolvidos;
- 2) Tensão / corrente externa aplicada ao sensor para fazê-lo funcionar;
- 3) A saída elétrica do transdutor;
- 4) A repetitividade do transdutor para reproduzir as mesmas saídas sob as mesmas condições ambientais ;
- 5) Confiabilidade, resistência a choques mecânicos;
- 6) Terminais de saída resistentes;
- 7) A estabilidade do transdutor durante a sua vida útil;
- 8) O dimensionamento do transdutor deve ser tal que o mesmo não se destrua em condições normais de operação.

Fatores que influenciam o tipo do sensor, uso e qualidade da medição.

- 1) Efeitos de não linearidade;
- 2) Efeitos de histerese;
- 3) Efeitos de temperatura;
- 4) Efeitos de alinhamento de cargas;
- 5) Calibração;
- 6) Limitações dos componentes;
- 7) Tamanho, principalmente para fins fisiológicos.

Na especificação de um sensor existe um aspecto que é o condicionamento do sinal. Por vezes um sensor claramente superior, necessita de um sistema de condicionamento muito complexo. Analisando o custo do sistema, MTBF, tamanho etc, pode-se optar por um sensor inferior, mesmo com alguma perda de informação.

Sensores de temperatura

Temperatura de um corpo é o estado térmico com referência ao poder de comunicar calor a outros corpos.

Calor é a energia sendo transferida devido a uma diferença de temperatura. A transferência de calor pode se dar por condução, radiação e convecção.

1) Detectores resistivos de temperatura (RTD) ou bulbos de resistência.

Princípio: Variação da resistência de certos metais com a temperatura.

Para a maioria dos metais, dentro de moderados intervalos de temperatura a variação da resistividade é bastante proporcional à variação da temperatura.

$$R_t = R_0 \cdot [1 + \alpha(t - t_0)]$$

A Platina em particular, tem uma excelente estabilidade dentro de um largo intervalo de temperaturas, sendo que um termômetro de bulbo de platina é usado para definir a escala internacional de temperaturas de – 183,962 °C até 630,74 °C.

Na faixa de 0 até 100 °C os RTDs de Platina têm uma linearidade de ± 0,2% e uma resolução de 0,001 °C.

Dentro do intervalo de 0 até 630 °C, a equação abaixo é usada para definir a relação entre resistência e temperatura.

$$R_T = R_0(1 + AT + BT^2)$$

$$A = 3,983 \times 10^{-3} (\text{°C})^{-1}$$

$$B = -0,586 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-2}$$

Para a Platina R_0 é a resistência a 0 °C.

Características das medições com RTD s.

- Coeficiente de temperatura baixo da Platina $\alpha = 0,4\% / ^\circ\text{C}$, requer especial atenção a detalhes que normalmente são considerados fontes insignificantes de erro;
- Terminais do elemento sensor, sujeito a um gradiente de temperatura indefinido. Para minimizar este erro certos RTDs utilizam 3 ou 4 fios de modo a compensar o erro com um circuito especial de medição;
- Outro aspecto é o efeito de auto aquecimento devido à corrente que flui pelo elemento resistivo. Pode-se diminuir este efeito utilizando-se uma fonte pulsada.

Circuitos de conexão

Vantagens do uso de RTDs

- a) Linearidade numa larga faixa de operação;
- b) Larga faixa de temperatura de operação;
- c) Possibilidade de operação em altas temperaturas;
- d) A melhor estabilidade a altas temperaturas.

Desvantagens

- a) Baixa sensibilidade;
- b) Alto custo;
- c) Pode ser afetado por resistências de contato, choque ou descarga elétrica;
- d) Requer 3 ou 4 fios para operação;
- e) Tamanho não reduzido.

Não são aconselháveis para aplicações de resposta rápida ou monitoramento de temperatura em pequenas áreas.

Tipos e aplicações:

- Principal é o RTD de Platina conhecido como PT 100;
- O RTD de Nickel utiliza Nickel puro ou liga de Nickel tal com Balco. São mais baratos e fáceis de manufaturar que os RTDs de Platina. Faixa de utilização de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- O RTD de Cobre requer longos comprimentos de fio o que o tornou obsoleto. Faixa de utilização de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $260\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Nos RTDs de filmes metálicos depositados em materiais isolantes, a relação resistência x temperatura é empírica, devendo ser levantada ponto a ponto uma vez que não existe uma relação teórica estabelecida.

Para RTDs de Platina tem-se as características.

- a) Faixa de utilização: -200 até 850 °C. Maior linearidade entre -185 °C até 630 °C;
- b) Coeficiente de temperatura: $\alpha = 0,003983 / ^\circ\text{C}$ (a 0 °C);
- c) Auto aquecimento: 0,02 a 0,75 °C/mW (típico);
- d) Terminais de Cobre: 2, 3 ou 4 terminais;
- e) Precisão : $\pm 0,6 \%$ a 100 °C;
- f) Resolução: 0,29 a 0,39 $\Omega / ^\circ\text{C}$;
- g) Drift de aproximadamente 0,01 a 0,1 °C por ano.

Normalmente os RTDs vêm colocados dentro de um encapsulamento metálico, cerâmico ou de vidro.

2) Termopares

- Termopar é um transdutor de temperatura termo-elétrico que desenvolve uma f.e.m. que é função da diferença de temperatura entre dois pontos;
- Consiste de um par de fios de metais diferentes ligados juntos em uma extremidade (junção sensora ou junção quente) e terminadas na sua outra extremidade por terminais (junção de referência ou junção fria) mantida em uma temperatura igual e constante (temperatura de referência);
- Quando uma diferença de temperatura existe entre a junção quente e a fria, uma f.e.m. é produzida. O efeito foi descoberto por Thomas J. Seebeck também chamado de efeito Seebeck;

2) Termopares

- Fenômenos relacionados: Efeito Peltier e Efeito Thomson.

O efeito Peltier ocorre quando uma corrente flui através de uma junção de condutores diferentes;

O efeito Thomson ocorre quando uma corrente flui através de um fio ao longo do qual existe um gradiente de temperatura.

- Junções: Soldagem com Prata, Latão ou fusão de elementos.
 - O Ponto de fusão da solda limita a máxima temperatura utilizável e inclui outro metal à junção;
 - Outro meio usual é torcer as junções, se bem que este método não garante uma estabilidade durante a sua vida útil.

Termopilhas

Combinação de diversos termopares de mesmo material conectados em série.

Na saída tem-se o valor multiplicado pelo número de termopares.
Junções de referência mantidas à mesma temperatura.

Medição em ambientes ruidosos:

Em geral o termopar está a uma certa distância do elemento de medição. Esta espira é ideal para que se introduza toda sorte de ruídos provenientes da comutação de resistências, motores, ruídos de rádiofreqüência, etc. Difícil a blindagem dos cabos já que são de compensação; Por vezes tem-se sobre tensões entre A e B de até 60 Vpp; Levando em conta que o tempo de resposta requerido é muito pequeno, em relação à inércia térmica dos fornos e caldeiras, pode-se limitar a banda passante.

Proteção contra a ruptura do termopar

A ruptura do termopar ou do cabo de compensação pode ocasionar complicações dado que a temperatura do sistema controlado poderá elevar-se perigosamente.

Medições com termopares

O termopar típico tem cerca de 20 a 30 cm de comprimento. É necessário o uso de condutores de união do mesmo material que o termopar para evitar-se a formação de novos termopares.

Temperatura da junta fria

A temperatura do equipamento é variável e como consequência a temperatura da junta fria. Isto é uma fonte considerável de erro. Para evitar este problema existem vários métodos de compensação da junta fria.

Compensação mediante termopar auxiliar;

Compensação mediante termistor;

3) Junção semicondutora

É sabido que um diodo de junção P-N quando alimentado com uma corrente constante, exibe uma tensão nos terminais que varia linearmente com a temperatura.

Diodos de Silício, Germânio ou Arsenieto de Gálio têm sido investigados para utilização em diversas faixas de temperatura. Diodos de Silício e Germânio são utilizados na faixa de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4) Termistores NTC e PTC

O termo termistor provêm de Thermally Sensitive Resistors, que exibem variação da resistência elétrica proporcionalmente a temperatura.

São semicondutores cerâmicos que exibem largas mudanças na resistência com a temperatura.

São de dois tipos: O NTC que tem coeficiente de temperatura negativo e o PTC que tem coeficiente de temperatura positivo.

Vantagens do uso do termistor:

- Alta sensibilidade;
- Baixo custo;
- Larga faixa de valores de resistência;
- Disponível em tamanhos reduzidos (<0,5 mm) e grande variedade de formas;
- Rápido tempo de resposta.

Desvantagens:

- Características $R \times T$ não lineares;
- Estreita faixa de temperatura de utilização.

Características dos termistores

- O NTC tem coeficiente de temperatura entre -3 a -5% / $^{\circ}\text{C}$, 10 vezes maior que dos RTDs.
- Curva $V \times I$ dos NTCs;
- Curva $R \times T$ para NTCs.

Linearização de termistores

- Colocação de resistor em paralelo;
- Colocação de resistor em série.

Circuitos de medição

- É medida a corrente que flui pelo mesmo ou a tensão nos terminais;
- O termistor faz parte de uma ponte de Wheatstone.

Sensores de Luz

A radiação visível que apresenta a capacidade de excitar o nervo ótico, se encontra entre os comprimentos de 390 a 770 nm.

Dentro desta faixa o olho humano percebe uma determinada cor, dependendo do comprimento de onda que o estimulou. Por isto, esta faixa é dividida em várias sub-faixas de acordo com a cor percebida.

Sistemas Fotométrico e Radiométrico

Medições de radiações eletromagnéticas como uma entidade física é efetuada com grandezas do sistema radiométrico

Quando a radiação é percebida pelo olho humano as grandezas são do sistema fotométrico, que utiliza a curva de sensibilidade do olho humano.

Grandezas do sistema fotométrico

- Intensidade Luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte puntual num ângulo sólido infinitesimal, é tem como unidade e candela.
- Luminância é a intensidade luminosa numa dada direção por unidade de área. Equivalente ao brilho a unidade é candela / m².
- Iluminação (ou Iluminância) é a densidade de fluxo luminoso numa superfície, expressa como fluxo luminoso por área (uniformemente iluminada) unidade lux ou lúmem / m².
- Luminosidade é a relação entre o fluxo luminoso e o correspondente fluxo radiante, é expresso em lúmens / Watt.

1) Célula Fotoelétrica

Converte energia radiante em tensão (corrente) são chamadas de células solares. Os materiais mais usados são: Silício, Arseniato Fosfórico de Gálio, Sulfeto de Cádmio e Selênio.

Produz uma tensão de 0,6 V ao sol, não possuindo uma função linear da iluminação com a tensão produzida para circuito aberto.

Características

- Alta velocidade de resposta;
- Excelente linearidade;
- Pequena corrente no escuro (baixo ruído);
- Larga resposta espectral;
- Robustez mecânica.

Resposta Espectral

Efeito foto voltaico que ocorre quando a energia dos fotons é maior que o limiar da junção (E_g) corte em 1100 nm.

Na fotocélula de Silício a energia de limiar de junção é 1,12 eletron-volts
GaAsP 1,8 e.V a 700 nm.

A sensibilidade em comprimentos de onda mais curtos é determinada pela espessura da camada P, que aumenta a medida que a espessura diminui.

Normalmente este corte é de 300 a 400 nm. Fotocélulas para ultra violeta de camadas P extra finas, podem ter pontos de corte abaixo de 200 nm.

2) Fotoresistor LDR

- Chamado de Fotoresistor ou LDR (Light Dependent Resistor);
- Construção de filme extra fino de Silício, Germânio ou Sulfeto Metálico;
- Quando exposto a certos tipos de energia radiante o fenômeno fotocondutivo é observado, isto é decréscimo de resistência;
- Valor absoluto da resistência depende do nível de iluminação do material fotocondutivo, da espessura da área superficial, da geometria do material sensível, da geometria dos eletrodos e da composição espectral da luz incidente.

Materiais mais usados

Sulfeto de Cádmio (CdS)

Selenato de Cádmio (CdSe) que possui sensibilidade espectral semelhante ao espectro visível, exibem alta sensibilidade a variações de luminosidade.

Sensibilidade e Resposta Espectral

- A sensibilidade é a relação entre a intensidade de luz incidente e a resistência;
- Depende do comprimento da onda da luz incidente;
- A sensibilidade é função do comprimento de onda;
 - Resposta espectral;
- Fotoresistor de Sulfeto de Cádmio (CdS) tem resposta espectral próxima do olho humano;
- O Selenato de Cádmio (CdSe) tem pico de sensibilidade em 720 nm próximo ao infra vermelho;
- Para o infra vermelho são usados:
 - Sulfeto de Chumbo (PbS);
 - Selenato de Chumbo (PbSe). Cujas resposta situa-se entre 2000 a 2500 nm.

Tempo de Resposta

- Tempo de subida é o ponto onde a condutância sobe a 63%;
- Tempo de descida é o ponto onde a condutância desce a 37%.
- O tempo de subida diminui conforme a resistência de saída;
- Tempo de resposta depende de:
 - Nível de iluminação;
 - Resistência da carga;
 - Temperatura ambiente;
 - Condições pré históricas.
- Constante de tempo típica para o CdSe é 10ms, para o CdS 100 ms.

Efeito pré histórico

- Quando um fotoresistor é mantido no escuro por um certo período de tempo antes do uso, sua condutância será maior do que um fotoresistor mantido num certo nível de iluminação;
- Maior no CdS;
- Significativo para utilizações a níveis de luz menores do que 1 Lux.

3) Fotodiodo e Fototransistor

- O comportamento elétrico de diodos semicondutores e transistores são normalmente afetados quando luz é incidida sobre sua junção;
- Quando em polarização direta o fotodiodo atua como um dispositivo fotovoltaico. A energia dos fons incidentes na junção causa a formação de mais pares eletron-lacuna na junção o que resulta num aumento da barreira de potencial através da junção;
- O pico de resposta espectral se situa perto de 1000 nm para fotodiodos de Silício e próximo de 1600 nm para sensores de Germânio. A constante de tempo é tipicamente menor do que 1 μ s.

Sensores de Força e Pressão

Medições de força / deformação envolvem mudanças muito pequenas de comprimento das amostras. Isso é complicado por causa do efeito da temperatura, que produz expansões e contrações muito maiores do que as causadas pelas forças a serem medidas. Assim os sistemas de medição devem compensar os efeitos das temperaturas.

O Strain Gage consiste de um material condutivo de espessura reduzida na forma de um fio, que deve ser colado no material onde quer-se medir a força ou deformação.

O Strain Gage conectado como parte de um circuito ponte, pode ter o efeito da temperatura minimizado usando-se outro Strain Gage idêntico na ponte como compensação.

Com isto pode-se compensar a variação das dimensões com a temperatura, como também a variação da resistência com a temperatura.

Para extensômetros metálicos as pequenas variações da resistência a serem medidas, são proporcionais às deformações, assim variações de 0,1%, são da mesma ordem de grandeza das resistências das conexões.

O uso de extensômetros a semicondutor torna as medições mais fáceis, pelas resistências maiores dos semicondutores.

Strain Gage à base de cristais (extensômetros piezoelétrico), medem variações rápidas de deformação.

A interferometria a laser é outro método de medida de deformações, que apresenta vantagens não só na sensibilidade.

O princípio baseia-se na somatória de ondas que conforme a coincidência ou não das fases, podem produzir amplitudes maiores ou menores. Caso as ondas sejam provenientes de duas fontes, um movimento de uma das fontes igual a metade de um comprimento de onda é suficiente para mudar a interferência de construtiva para destrutiva ou vice versa.

Para a luz vermelha de comprimento de 700 nm, isto é 0,0007 mm, deslocamentos de metade desta distância podem ser medidos.