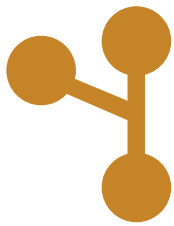


REVISTA TÉCNICO - CIENTÍFICA



# robótica®

automação  
controlo  
instrumentação



## ARTIGO CIENTÍFICO

- Glove for People with Disabilities

## ELETRÓNICA INDUSTRIAL

- Eletrónica (31.ª Parte)

## PORTUGAL 3D

- Aspetos construtivos de um banco dianteiro automóvel: estrutura e tipologia

## DOSSIER SOBRE AUTOMAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO NA INDÚSTRIA

- Instrumentação inteligente em sistemas 4 - 20 mA/HART e Ethernet-APL: uma comparação
- Robots não tomam café - mas já tomam decisões?
- Indústria 5.0 e a evolução da automação
- Não há segurança para as pessoas (*Safety*) sem medidas de Industrial Security que protejam as máquinas

## REPORTAGEM

- Portugal conquista o ouro europeu em Robótica Industrial: excelência e inovação Made in CENFIM
- Descodificar os dados - a plataforma OpenBlue como pilar da descarbonização dos edifícios
- F.Fonseca debateu a necessidade de uma maior cibersegurança OT
- Mewa já tem mais de 1500 clientes em Portugal
- 20 anos de PLC: Produtividade, Liderança e Competitividade!



**Módulos de comunicação plug-ins PROtop  
para digitalização**

PRO COM IO-LINK e PRO COM CAN OPEN

www.weidmuller.pt

**Weidmüller**

# Termómetros de semicondutores

Uma das facetas dos materiais semicondutores é a dependência das suas características com a temperatura.

Nos aparelhos electrónicos usuais (amplificadores, transmissores, ...) esta dependência é quase sempre indesejável e costuma mesmo ser compensada. No entanto, esta dependência das características dos semicondutores pode ser aproveitada vantajosamente na construção de sensores de temperatura. Estes têm a particularidade de possuir uma sensibilidade alta, boa linearidade e grande precisão. Têm, porém, o inconveniente de não suportarem temperaturas elevadas. Os seus intervalos de medição estão compreendidos entre os  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  e os  $150\text{ }^\circ\text{C}$ .

## 1. A JUNÇÃO PN COMO SENSOR DE TEMPERATURA

Uma junção semicondutora quando polarizada com uma tensão  $U_D$  é percorrida por uma corrente  $I_D$  dada por

$$\begin{cases} I_D = I_0 \left( e^{\frac{U_D}{\eta U_T}} - 1 \right) \\ U_T = \frac{k_B T}{|e|} \end{cases} \quad (1)$$

em que:

- $I_D$  – corrente na junção PN (positiva no sentido direto);
- $U_D$  – tensão aplicada à junção PN;
- $I_0$  – corrente inversa de saturação na junção PN;
- $\eta$  – coeficiente, tal que  $1 \leq \eta \leq 2$ ;
- $U_T$  – tensão térmica;
- $e$  – carga do eletrão,  $-1,602\,176\,634 \times 10^{-19}\text{ C}$ ;
- $k_B$  – constante de Boltzmann,  $1,380\,649 \times 10^{-23}\text{ J/K}$ ;
- $T$  – temperatura absoluta da junção PN.

Esta equação representa a característica típica de um díodo semicondutor e é descrita graficamente na Figura 1.

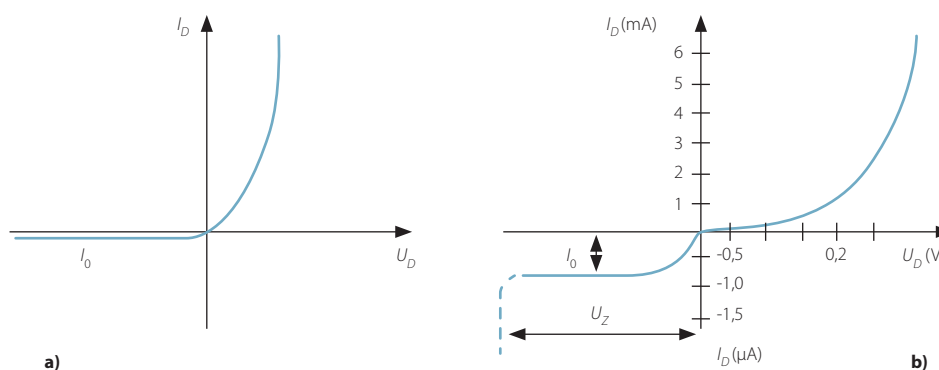


Figura 1. Característica tensão/corrente de uma junção PN semicondutora real (a) e real em que as escalas directa e inversa são diferentes (b).

A junção semicondutora é o díodo PN de silício, discreto ( $\eta=2$ ), ou integrado num material semicondutor ( $\eta=1$ ). Muitas vezes utiliza-se, como junção semicondutora, um transistor NPN ligado como díodo (base e colector ligados entre si), o qual pode apresentar-se como elemento discreto ( $\eta=2$ ) ou incluído num circuito integrado ( $\eta=1$ ). Para o transistor ligado como díodo, continua a aplicar-se a expressão (1), em que a tensão  $U_D$ , referida na fórmula, é  $U_{BE}$ , dirigida da base (ligada em curto-circuito ao colector) para o emissor.

Observe-se, na Figura 1 (b), que a corrente directa é várias ordens de grandeza superior à corrente inversa de saturação, excepto quando esta entra na zona de ruptura, para valores de tensão superiores, em valor absoluto, à tensão de Zener,  $U_Z$ .

Na expressão (1), o valor 1 que se subtrai à exponencial, pode ser desprezado quando a junção PN está polarizada directamente e para valores de  $U_D \geq 0,4\text{ V}$ , por ser  $e^{U_D/(\eta U_T)} \gg 1$ . Ainda na expressão (1), chama-se a atenção para a variável temperatura. Se, por meio de um circuito exterior, for aplicada à junção PN uma corrente  $I_D$  constante, quando a temperatura  $T$  variar,  $U_D$  variará na mesma relação, de modo a manter a parcela exponencial constante, já que  $I_D$  está a ser forçada constante pelo circuito exterior. Tal não é, no entanto, absolutamente correcto, uma vez que a corrente inversa de saturação  $I_0$  também depende da temperatura. Dados experimentais permitem concluir que, mesmo assim, a dependência da tensão  $U_D$  com a temperatura  $T$  é linear, dentro de determinados limites de operação, i.e. desde que  $I_D$  seja mantida constante com a junção PN polarizada diretamente. Esta dependência pode escrever-se como a seguinte relação linear

$$U_D(T) \approx aT + b \quad (2)$$

que se representa na Figura 2, para alguns díodos comuns. O coeficiente  $a$  tem valores compreendidos entre  $-3\text{ mV}/^\circ\text{C}$  e  $-1\text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

Uma forma de reduzir na característica  $U_D(T)$  a sua dependência de  $I_D$ , consiste em utilizar, não uma junção, mas duas junções iguais, feitas atravessar por correntes de polarização diferentes, e efectuar a medição diferencial  $U_D$ , como se indica na Figura 3, em que se utilizam dois transístores iguais, cada um deles ligado como díodo.

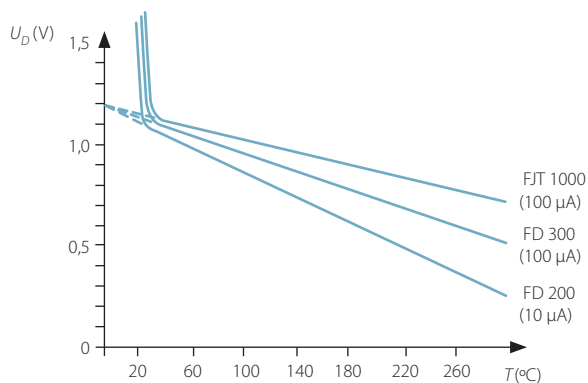


Figura 2. Característica tensão/temperatura para alguns díodos comuns.

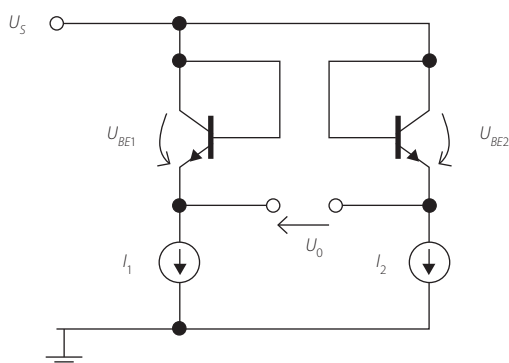


Figura 3. Utilização de duas junções como sensor de temperatura.

Fazendo a análise do circuito: uma vez que cada junção se encontra com polarização directa, que as junções são iguais e que numa delas é forçada uma corrente  $I_1$  e na outra uma corrente  $I_2$ , pode escrever-se (desprezando o valor 1 na equação (1), pela razão já apresentada)

$$\begin{cases} U_{BB1}(T) = \frac{\eta K_B}{|e|} \ln\left(\frac{I_1}{I_0}\right) T \\ U_{BB2}(T) = \frac{\eta K_B}{|e|} \ln\left(\frac{I_2}{I_0}\right) T \end{cases} \quad (3)$$

Notando que  $U_0(T) = U_{BE1}(T) - U_{BE2}(T)$  e substituindo nesta as equações (3), após simplificação, resulta

$$U_0(T) = \frac{\eta K_B}{|e|} \ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right) T = kT \quad (4)$$

em que  $k$  é constante.



Para o transistor ligado como díodo, continua a aplicar-se a expressão (1), em que a tensão  $U_D$ , referida na fórmula, é  $U_{BE}$ , dirigida da base (ligada em curto-circuito ao colector) para o emissor.

PUB

BRESIMAR AUTOMAÇÃO | 40 ANOS YEARS

CONTROLO E AUTOMAÇÃO

## X2 Extreme

HMIs para ambientes exigentes



Beijer  
ELECTRONICS

Conheça todos os detalhes do produto



www.bresimar.pt

bresimar@bresimar.pt

Obtém-se, desta forma, um valor de tensão  $U_o$  proporcional à temperatura  $T$ , que terá, ainda, de ser amplificado por um amplificador diferencial, para normalização do sinal.

## 2. SENSORES DE TEMPERATURA EM CIRCUITO INTEGRADO

O sensor de temperatura em circuito integrado é um dispositivo electrónico para medida de temperatura, utilizando semicondutores. O seu princípio de funcionamento baseia-se no que acaba de se expor: os circuitos integrados utilizam, normalmente, dois transístores ligados como díodos e exploram a diferença de tensões entre a base e o emissor.

Na Figura 4 mostra-se o esquema de um sensor de temperatura em circuito integrado, o *Analog Devices AD590*<sup>®</sup>. Os transístores Q8 e Q11 são os que originam, cada um deles, uma tensão  $U_{BE}$ , cuja diferença é proporcional à temperatura a que se encontra o circuito.

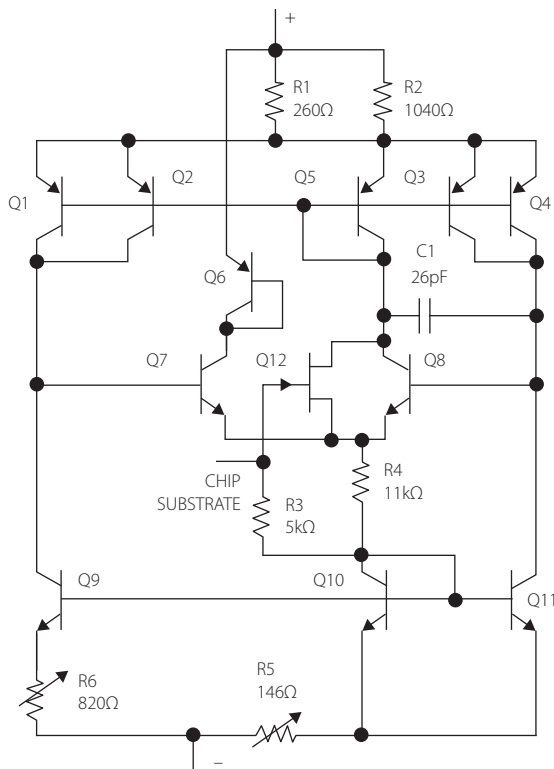


Figura 4. Esquema do *Analog Devices AD590*<sup>®</sup>, sensor de temperatura em circuito integrado.

Dados experimentais permitem concluir que, mesmo assim, a dependência da tensão  $U_D$  com a temperatura  $T$  é linear, dentro de determinados limites de operação, i.e. desde que  $I_D$  seja mantida constante com a junção PN polarizada diretamente.

O *Analog Devices AD590*<sup>®</sup> é fornecido em três tipos de embalagem diferentes, com oito, três ou dois terminais; em qualquer destes tipos de embalagem, apenas o pino + e o pino - se encontram ligados ao exterior. O circuito integrado comporta-se como um

gerador de corrente, sendo por este motivo ligado em série no circuito. Vem calibrado de origem, de modo a ter uma sensibilidade de  $1 \mu\text{A/K}$  e a fornecer uma corrente de  $298,2 \mu\text{A}$  à temperatura de  $298,2 \text{ K}$  ( $\approx 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ). A tensão de alimentação pode estar entre os  $4 \text{ V}$  e os  $30 \text{ V}$ , sendo que o seu valor afecta em muito pouco a corrente de saída. Não poderá ser inferior a  $4 \text{ V}$ , devido à forte variação da corrente  $I$  com a tensão  $U$ , para cada valor fixo da temperatura  $T$ , conforme se pode verificar na Figura 5, que representa a característica  $I(U)$  para três valores distintos da temperatura  $T$ , correspondendo as curvas extremas aos limites do intervalo de medição. O erro máximo de calibração vai de  $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $0,25 \text{ }^\circ\text{C}$ , consoante o modelo.

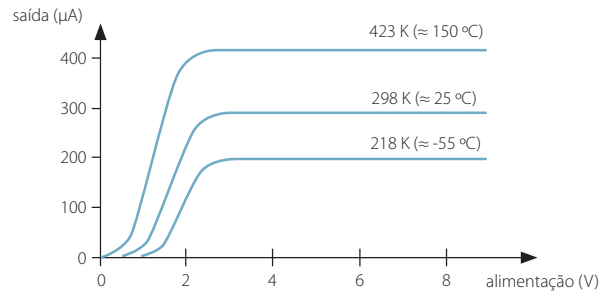


Figura 5. Características  $I(U)$  do sensor de temperatura da *Analog Devices AD590*<sup>®</sup>, para três valores distintos de  $T$ .

Este tipo de sensor não apresenta quaisquer problemas relacionados com a resistência dos cabos,  $R_C$ , ou com tensões de contacto, uma vez que se trata de um gerador de corrente. Para se obter uma tensão de saída proporcional à temperatura  $T$ , pode usar-se o esquema indicado na Figura 6, do qual se conclui

$$U_o = IR_s = S_i TR_s = S_u T \quad (5)$$

onde:

- $U_o$  – tensão de saída do circuito;
- $I$  – corrente do circuito imposta pelo sensor;
- $R_s$  – resistência de ajuste;
- $S_i$  – sensibilidade em corrente,  $\mu\text{A/K}$ ;
- $S_u$  – sensibilidade em tensão,  $\mu\text{V/K}$ ;
- $T$  – temperatura do sensor.

O sensor de temperatura em circuito integrado é um dispositivo electrónico para medida de temperatura, utilizando semicondutores.

A resistência  $R_s$  é ajustável e permite ter uma sensibilidade adaptada à instalação, normalmente  $1 \mu\text{V/K}$  ou  $10 \mu\text{V/K}$ .

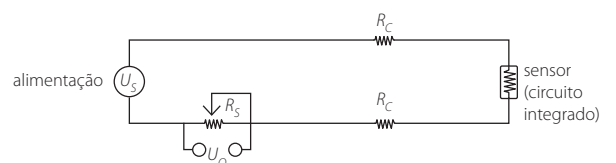


Figura 6. Esquema para uso em termómetro com circuito integrado.