

Experimentos de Instrumentação Industrial

1º Experimento: Strain Gauge - Sensor de Deformação

Deformações e fadiga são geradas nas partes componentes, subsistemas e sistemas pelo peso, temperatura, pressão, vibração ou forças de deslocamento. Um dos métodos mais usuais para realizar estas medições é pelo uso de extensômetros metálicos, strain gauges, conectados em ponte de Wheatstone.

O extensômetro baseia-se no princípio de que quando um condutor está sujeito a um esforço de tensão ou compressão, ocorre uma variação de resistência. A amplitude da variação, relacionada com a resistência original, é proporcional à intensidade do esforço aplicado, ou ainda:

$$E = \text{Esforço (máxima microdeformação)} = \frac{\text{variação do comprimento}}{\text{comprimento original}} = \frac{\Delta L}{L}$$

Em aplicações de extensômetros utiliza-se uma constante de proporcionalidade conhecida como Fator de Calibração (Gage Factor), que varia de 2 a 4 para as ligas mais usuais na fabricação de extensômetros. Este parâmetro é baseado na variação da resistência ocorrida no extensômetro para sua resistência total relacionada com a variação no comprimento do condutor para seu comprimento unitário, ou ainda:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

A tensão de saída do amplificador de um medidor de deformação,

com extensômetros em ponte de wheatstone é dada por:

$$e_o = \Delta R/R * V_{ex} * G$$

onde V_{ex} é a tensão de alimentação da ponte e G é o ganho do amplificador de instrumentação.

Exemplo: Uma ponte de extensômetros com $G=2$ e $\Delta L/L=1500\mu_E$ (dados provenientes de catálogo do fabricante), possui $\Delta R/R = 2 * 1500 = 3000\mu_E$.

Desta maneira, pode-se calcular a tensão de saída do medidor como sendo, $e_o = 3000 * V_{ex} * G$.

1. Estude o circuito eletrônico do módulo condicionador de sinais da balança de strain gauges do LECI. Identifique neste circuito as partes principais, entendendo sua função:

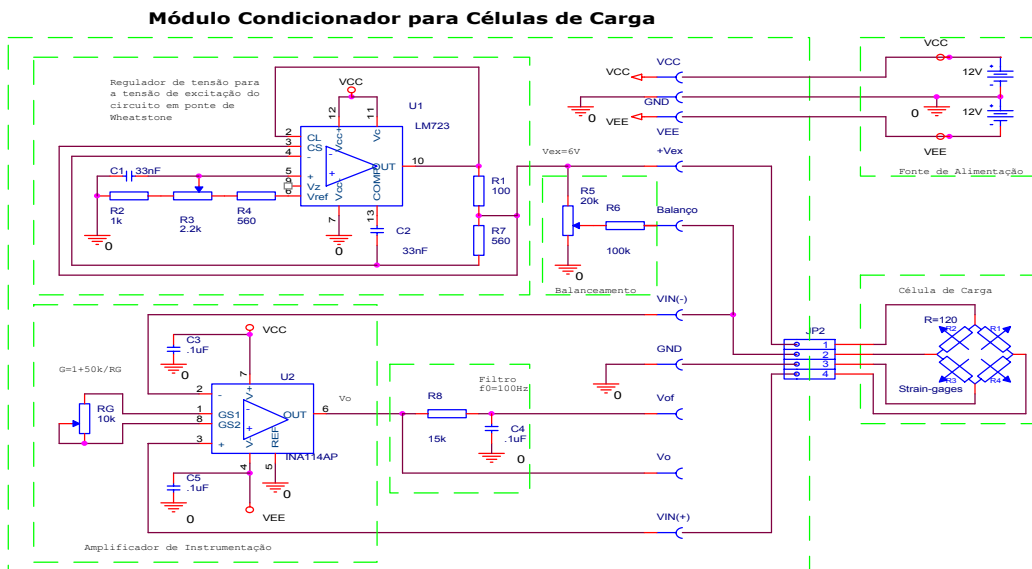
regulador de tensão para V_{ex} , amplificador de instrumentação, filtro RC passa baixas (para filtrar o ruído de 60Hz) e o circuito de balanceamento da ponte.

2. Verifique a construção física da balança e a fixação dos strain gauges na mesma. Analise os esforços possíveis sobre os mesmos.
3. Prepare a balança para iniciar o processo de calibração da mesma, ajustando os limites da faixa operacional a ser assumida para esta balança (ou ainda, o ponto de zero e o limite máximo da faixa admitida - fundo de escala).

ATENÇÃO: não utilize pesos muito elevados para não deformar a balança em excesso. Limite sua escolha ao peso de 400g. Cuidado ao manusear os padrões secundários de peso a serem utilizados na calibração. Eles não devem ser tocados com as mãos.

4. Levante 20 pontos para traçar, posteriormente, a curva de calibração da balança, sendo 10 pontos com variações crescentes e 10 com variações decrescentes.
5. Utilize o MatLab para fazer o ajuste de curva destes pontos, com o método dos mínimos quadrados (ver anexo) ou utilizando alguma função do MatLab. Determine a equação de calibração do medidor e as características de desempenho estático possíveis.
6. Verifique, com osciloscópio, o efeito do ruído presente na medição e o efeito da filtragem realizada.
7. Aplique um degrau de deformação (um "peteleco") na barrinha e observe/salve a saída do medidor. Aplique outro teste para obter uma massa de dados para validação. Encontre um modelo dinâmico para este sistema. Valide o modelo encontrado (cap. 3 Doebelin)

Comente as características estáticas e dinâmicas desta balança.



2º Experimento: Medição de Temperatura

Temperatura, ao contrário de outras quantidades, é uma quantidade abstrata que precisa ser definida em termos do comportamento dos materiais, submetidos à mudança de temperatura. Nos experimentos propostos nesta seção estão incluídos sensores que utilizam mudança na resistência (RTD - PT100, termistor), mudança na tensão de circuito aberto produzida por efeito termo elétrico (termopar), mudança na queda de tensão de tensão em junção PN semicondutora ($-2,2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$).

Escalas de temperatura existentes para representar convenientemente o nível de atividade termodinâmica associado com mudanças na temperatura:

- Escala Fahrenheit (1715): 180 divisões (graus) entre o ponto de gelo (320 F) e o ponto de ebulição (2120 F) da água.
- Escala Celsius (1742): 100 divisões entre o ponto de gelo e o ponto de ebulição da água. Posteriormente Linnaeus definiu o valor zero da escala como sendo o ponto de congelamento de água. Inicialmente esta escala foi chamada de centígrada (referindo-se às 100 divisões da escala), mas em 1948 foi modificada para Celsius, em homenagem a Anders Celsius).
- Escalas absolutas: Kelvin e Rankine, usadas para descrever temperaturas absolutas, onde o valor zero é assumido ser igual ao mínimo termodinâmico. Elas são definidas como:

$$\theta_k = T_c + 273,15$$

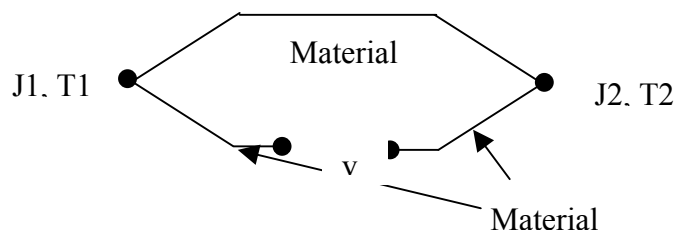
$$\theta_R = T_F + 459,67$$

Termopares

Sensor simples constituído de dois materiais diferentes em contato térmico, chamado de junção (Fig. 1). Pode ser feito de pares de fios trançados juntos, por meio de solda, ou por meio da colocação de dois fios pressionados, com pressão suficiente para mantê-los juntos. A operação deste sensor baseia-se na combinação de efeitos termoelétricos que produzem pequenas tensões de circuito aberto, quando duas junções termopares são mantidas em temperaturas diferentes. A tensão termoelétrica v_0 é uma função não linear da temperatura, que pode ser representada por uma equação empírica como sendo:

$$v_0 = C_1(T_1 - T_2) + C_2(T_1^2 - T_2^2)$$

onde C_1 e C_2 são constantes termelétricas dependentes do material usado na junção e T_1 e T_2 são as temperaturas das junções.



A seleção do termopar (ou dos materiais que o constituem) é feita para :

- oferecer estabilidade de longo termo em níveis maiores de temperatura;
- garantir compatibilidade com a instrumentação disponível;
- minimizar custo;
- maximizar sensibilidade sobre a faixa de operação ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$).

Alguns tipos de termopares com faixa de medição são mostrados na tabela 1.

Tipo	Material Positivo	Material Negativo	Faixa de Medida
E	Cromel	Constantan	0 a 980 ^o C
J	Ferro	Constantan	-185 a 400 ^o C
K	Cromel	Alumel	-185 a 1260 ^o C
R	Platina 13% Ródio	Platina	0 a 1590 ^o C
S	Platina 10% Ródio	Platina	0 a 1535 ^o C
T	Cobre	Constantan	-185 a 400 ^o C

Tabela 1: Tipos de termopares

Termômetros de Resistência

Consistem de um elemento sensor que apresenta uma mudança na resistência com a mudança da temperatura e um circuito condicionador para converter mudança de resistência para uma tensão de saída. Existem dois tipos de sensores que são usualmente empregados: RTD's (resistance temperature detectors) e termistores.

RTD's são elementos resistivos simples feitos de platina (PT 100 – bastante linear), níquel ou liga de níquel-cobre (não lineares), que possuem coeficiente positivo de resistividade. Estes materiais são estáveis e proporcionam uma resposta reproduzível para temperaturas sobre longos períodos de tempo.

Termistores são fabricados de materiais semicondutores tais como óxido de manganês, níquel ou cobalto. Estes materiais semicondutores possuem um coeficiente de resistividade altamente negativo. Quando a aplicação requer uma exatidão muito elevada, silício dopado ou germânio são utilizados como materiais para o termistor. Ver circuito em ponte da Fig. 1 para sensores resistivos.

Sensores Precisos de Temperatura (Semicondutores)

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A
Precision Temperature Sensors
(<http://www.national.com/ds/LM/LM135.pdf>)

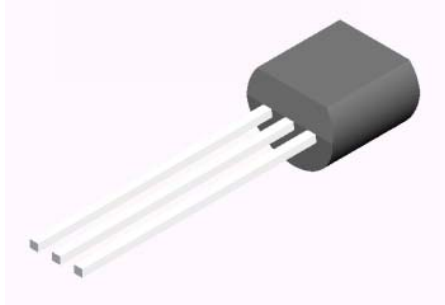
General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output. Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy. The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

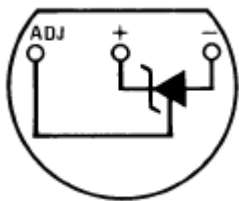
- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

3L TO 92, 4.80 × 4.80 × 3.80mm body size



LM 335

Connection Diagrams (TO-92 Plastic Package SO-8)



DS005698-8

Bottom View - Order Number LM335Z - or LM335AZ

Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter Conditions LM335A LM335 Units

Min Typ Max Min Typ Max

Operating Output Voltage $T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$ 2.95 2.98 3.01 2.92 2.98 3.04 V

Uncalibrated Temperature Error $T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$ 1 3 2 6 °C

Uncalibrated Temperature Error $T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$ 2 5 4 9 °C

Temperature Error with 25°C $T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$ 0.5 1 1 2 °C

Laboratório de Controle e Automação I – Experimentos de Instrumentação Industrial

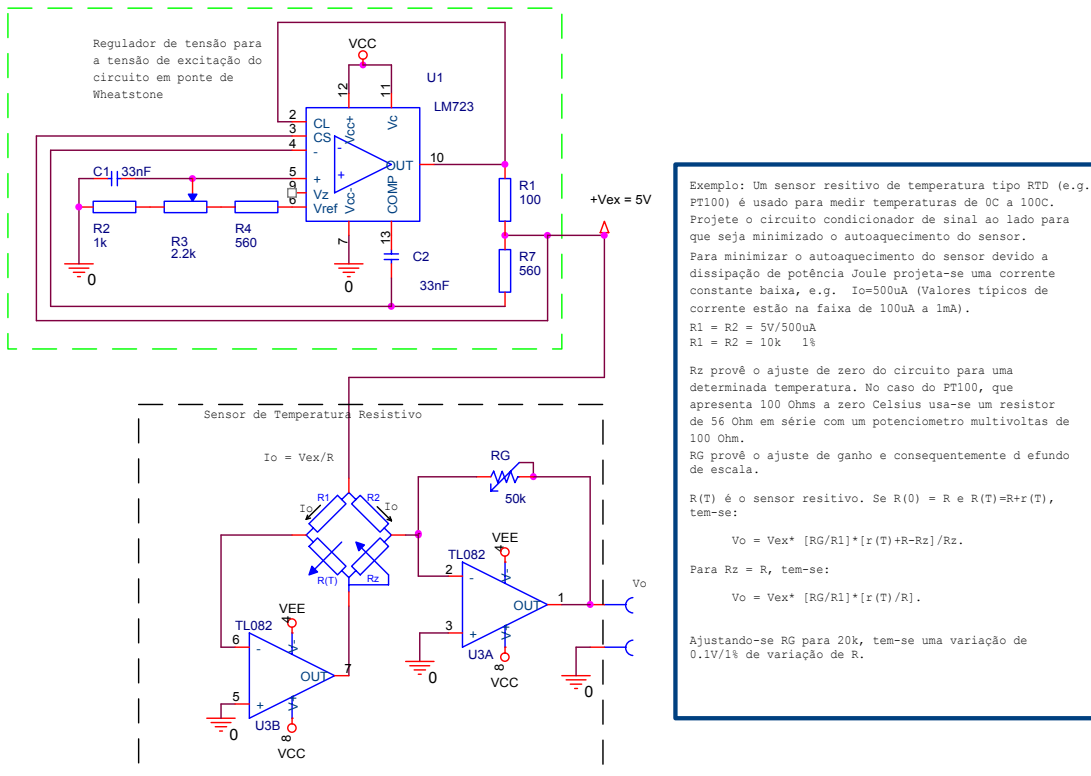
Prof. Anísio Rogério Braga – DAAE/CEFET-MG, Prof. José Carlos Rodrigues – DELT-UFGM, Profa.

Carmela Maria Polito Braga – DELT-UFGM

Calibration
 Calibrated Error at Extended $T_C = T_{MAX}$ (Intermittent) $2.2^\circ C$
 Temperatures
 Non-Linearity $I_R = 1\text{ mA}$ 0.3 1.5 0.3 $1.5^\circ C$

Experimentos

1. Identifique os sensores disponíveis: termopar, PT-100, LM 335 (semicondutor).
2. Verifique o circuito eletrônico para condicionamento do sinal de cada sensor.
3. Obtenha o ganho, calibre e determine as demais características estáticas de cada sensor.
4. Obtenha a resposta dinâmica de cada um desses sensores. Para os que permitirem, obtenha e compare a resposta dinâmica do elemento sensor sem invólucro de proteção e com invólucro. Obtenha modelos matemáticos representativos deles e observe a mudança introduzida pelo invólucro. Compare as dinâmicas dos sensores estudados. Comente e proponha um método para compensar o atraso introduzido pelo invólucro.
5. Comente sobre as vantagens e desvantagens de cada sensor estudado.



Anísio R. Braga, DAAE/CEFETMG, Sensor de temperatura resistive, doc. GEACOP120010701/01, julho 2002.

Fig 1: Circuito de medição em ponte para sensores resistivos