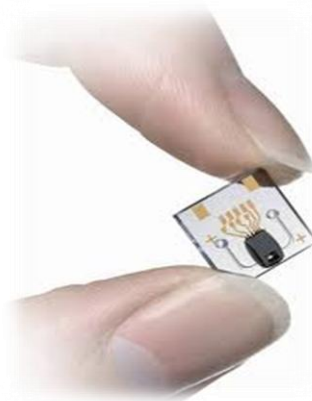


Bài giảng Kỹ Thuật Cảm Biến (sensors)

Hoang Si Hong

-----2011-----

Faculty of Electrical Eng., Hanoi Univ. of Science and Technology (HUST),
Hanoi, VietNam





Nguồn tham khảo

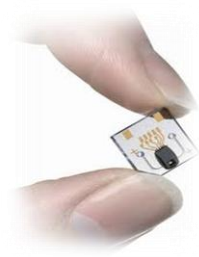
Note: Bài giảng môn học này được tham khảo, trích dẫn và lược dịch từ các nguồn sau:

✓ Sách

- Kỹ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1, 2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
- Các bộ cảm biến trong đo lường-Lê Văn Doanh...
- Các bộ cảm biến-Nguyễn Tăng Phô
- Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và [Hoàng Sĩ Hồng](#)
- Sensor technology handbook (edited by JON WILSON)
- Elements of Electronic Instrumentation and Measurement (Prentice-Hall Company)
- Sách giải thích đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam

✓ Bài giảng và website:

- Bài giảng kỹ thuật cảm biến-[Hoàng Sĩ Hồng](#).(2005)
- Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo:P.T.N.Yến, Ng.T.L.Hương (2010)
- Bài giảng MEMs ITIMS – BKHN
- Một số bài giảng về cảm biến và đo lường từ các trường đại học KT khác ở Việt Nam
- Website: sciendirect/sensors and actuators A and B



Nội dung môn học và mục đích

Nội dung

- Chapter 1: **Khái niệm chung về Cảm biến (2b)**
- Chapter 2: **Cảm biến điện trở (2b)**
- Chương 3: **Cảm biến nhiệt điện (2b)**
- Chương 4: **Cảm biến quang (2b)**
- Chương 5: **Cảm biến tĩnh điện (2b)**
- Chương 6: **Cảm biến Hall và hoá điện**
- Chương 6: **Cảm biến và PLC(1b)**

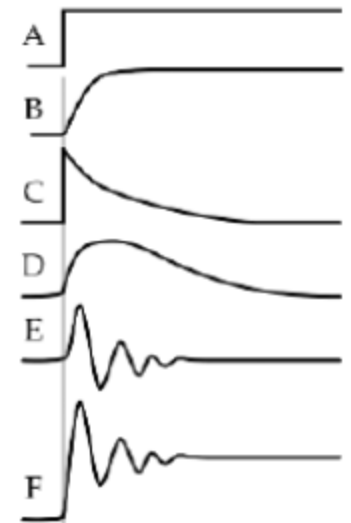
Mục đích: nắm được cấu tạo, nguyên lý hoạt động và ứng dụng của các loại cảm biến thông dụng trong công nghiệp và đời sống. Nắm được xu thế phát triển chung của công nghệ cảm biến trên thế giới.

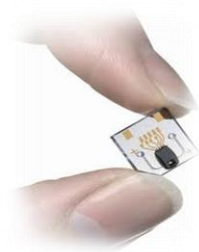


Đặc tính động của cảm biến

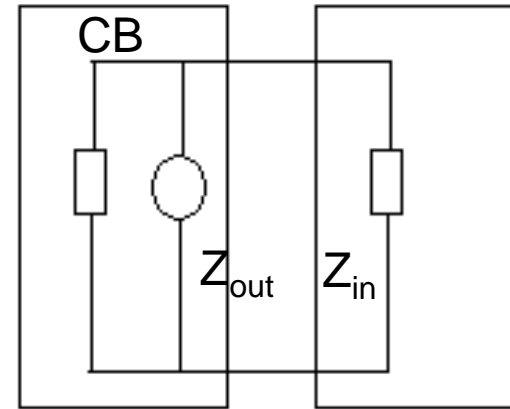
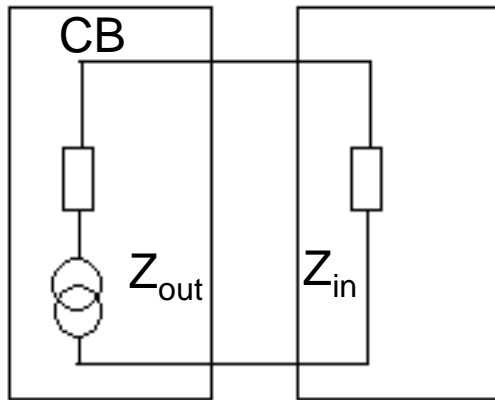
- Kn: Khi cho tín hiệu đo vào chuyển đổi thường xuất hiện quá trình quá độ. Quá trình này có thể nhanh hay chậm tùy thuộc vào dạng chuyển đổi. Đặc tính này được gọi là độ tác động nhanh. Độ tác động nhanh của cảm biến có ảnh hưởng đến sai số của phép đo và ảnh hưởng đến tốc độ của phép đo
- Một số dạng đáp ứng

Fig. 2.11. Types of response: (A) unlimited upper and lower frequencies; (B) first-order limited upper cutoff frequency; (C) first-order limited lower cutoff frequency; (D) first-order limited both upper and lower cutoff frequencies; (E) narrow bandwidth response (resonant); (F) wide bandwidth with resonant.

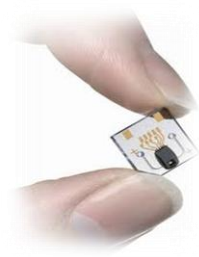




Trở kháng của cảm biến

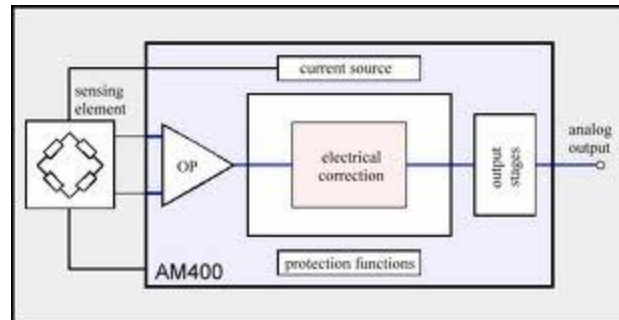


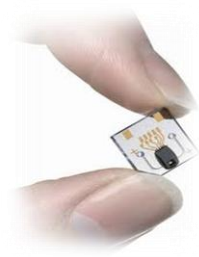
- Cảm biến có kiểu ra là dòng $\rightarrow Z_{out} \gg Z_{in}$
- Cảm biến có kiểu ra là áp $\rightarrow Z_{out} \ll Z_{in}$
- Trở kháng ra càng bé \rightarrow công suất ra càng lớn
- Trở kháng vào càng lớn \rightarrow khuếch đại công suất càng lớn



Cảm biến và mạch đo

- Hoà hợp tải giữa cảm biến và mạch đo
- Cấp nguồn cho cảm biến thụ động
- Tuyến tính hoá đặc tính phi tuyến của cảm biến
- Tuyến tính hoá tín hiệu ra của mạch đo (VD cầu Wheastone)
- Khuếch đại tín hiệu ra của cảm biến
- Lọc nhiễu tác động lên tín hiệu ra của cảm biến
- Khuếch đại đo lường để triệt tiêu hoặc làm giảm các nhiễu tác động (điện áp ký sinh và dòng điện rò trên đường truyền)





Giới hạn làm việc của cảm biến

Trong quá trình sử dụng, các cảm biến luôn chịu tác động của ứng lực cơ học, tác động nhiệt... Khi các tác động này vượt quá ngưỡng cho phép, chúng sẽ làm thay đổi đặc trưng làm việc của cảm biến. Bởi vậy khi sử dụng cảm biến, người sử dụng cần phải biết rõ các giới hạn này.

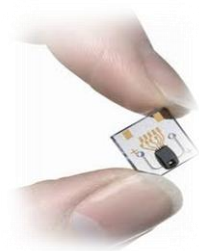
a) Vùng làm việc danh định

Vùng làm việc danh định tương ứng với những điều kiện sử dụng bình thường của cảm biến. Giới hạn của vùng là các giá trị ngưỡng mà các đại lượng đo, các đại lượng vật lý có liên quan đến đại lượng đo hoặc các đại lượng ảnh hưởng có thể thường xuyên đạt tới mà không làm thay đổi các đặc trưng làm việc danh định của cảm biến.

b) Vùng không gây nên hư hỏng

Vùng không gây nên hư hỏng là vùng mà khi mà các đại lượng đo hoặc các đại lượng vật lý có liên quan và các đại lượng ảnh hưởng vượt qua ngưỡng của vùng làm việc danh định nhưng vẫn còn nằm trong phạm vi không gây nên hư hỏng,

c) Vùng không phá hủy



Chuẩn cảm biến

- Chuẩn trực tiếp: dùng các đại lượng mẫu để kiểm tra cảm biến, từ kết quả thu được sẽ chỉnh cảm biến
- Chuẩn gián tiếp: dùng cảm biến có đặc tính chuẩn và so sánh kết quả với bộ cảm biến cần định chuẩn trong cùng một điều kiện
- Chuẩn nhiều lần: khi cảm biến có chứa các phần tử có độ trễ thì giá trị của đáp ứng của chúng sẽ phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Vì vậy phải thực hiện chuẩn nhiều lần. Thường áp dụng cho cảm biến có độ trễ lớn.



Nhiều trong các bộ cảm biến và truyền dẫn

$$\text{Signal-to-noise ratio} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_s}{V_n} \right)$$

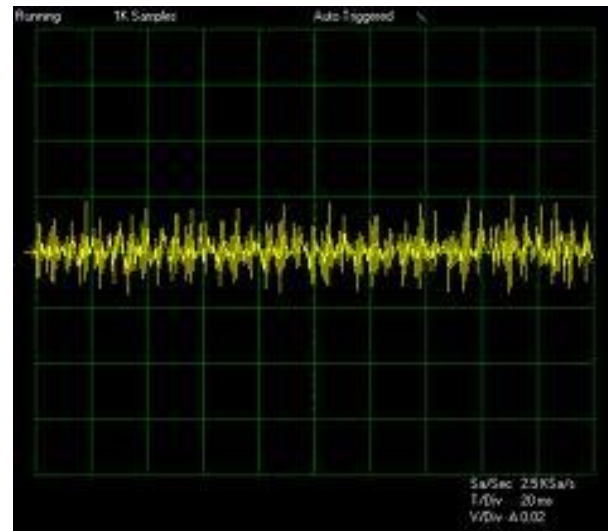
where V_s is the mean voltage level of the signal and V_n is the mean voltage level of the noise. In the case of a.c. noise voltages, the root-mean squared value is used as the mean.

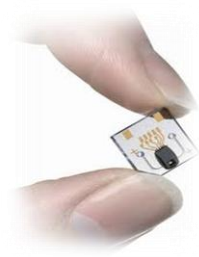
- Nhiều nội tại: phát sinh do sự không hoàn thiện cấu trúc thiết kế, chế tạo hoặc vật liệu cảm biến. Vì vậy đáp ứng cảm biến sai lệch so với đáp ứng chuẩn.
- Nhiều do truyền dẫn: gây ra do các nguồn nhiễu như từ trường, nguồn nuôi, trường điện từ tần số radio, sự thay đổi của nhiệt độ, lực hấp dẫn, bức xạ ion, độ ẩm môi trường, các tạp chất hoá học



Một số nhiễu điện điển hình

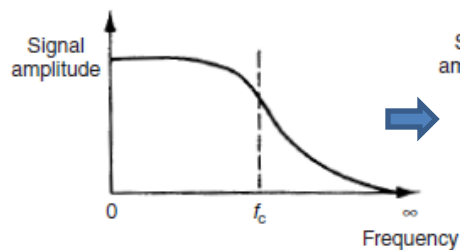
- Nhiễu do nối nhiều đất khác nhau
- Nhiễu xung điện áp khi tắt bật động cơ hoặc thiết bị điện
- Nhiễu thể nhiệt điện gây ra do hiệu ứng nhiệt điện (seebeck..)
- Nhiễu phóng gây ra do các phần tử transistor, mạch tích hợp và thiết bị bán dẫn.
- Nhiễu thể hoá điện



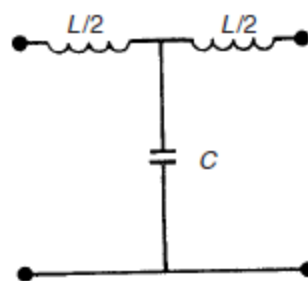


Một số phương pháp chống nhiễu

- Chống nhiễu: chuẩn hoá về công nghệ mạch in, sử dụng kỹ thuật vi sai trong truyền dẫn, truyền dòng điện, môi trường truyền dẫn cáp quang, sử dụng nối đất, mạch lọc tương tự, lọc số...
- Lọc tương tự dùng phần tử thụ động
- Lọc tương tự dùng phần tử chủ động

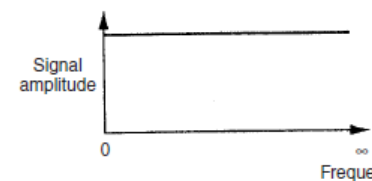


(a) Low-pass filter

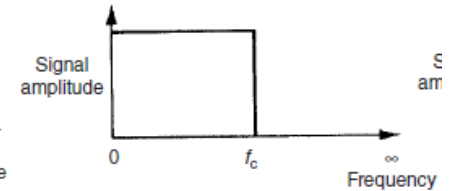


(a) Low-pass filter

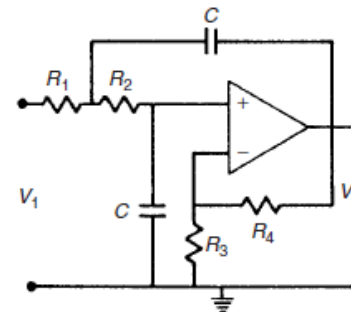
$$f_c = \omega_c / 2\pi = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$$



(a) Raw signal



(b) Low-pass filter

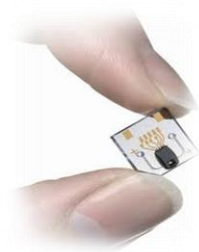


(a) Low-pass filter



Giới thiệu chung về các mạch đo và chuẩn hoá

- Các bộ chuẩn hoá tín hiệu gồm có: các bộ khuếch đại, các bộ tương thích hóa giữa tín hiệu cảm biến và thiết bị đo. Mạch cầu đo, mạch tuyến tính hoá, tích phân, vi phân, lặp, cộng, trừ..
- Lưu ý rằng tín hiệu ra từ cảm biến có thể là tín hiệu số (encoder, chuyển mạch...) hoặc tín hiệu tương tự (điện áp, dòng điện)
- Mạch biến đổi tương tự số (ADC), số tương tự (DAC)
- Chuẩn hoá theo điện áp, dòng điện và tần số

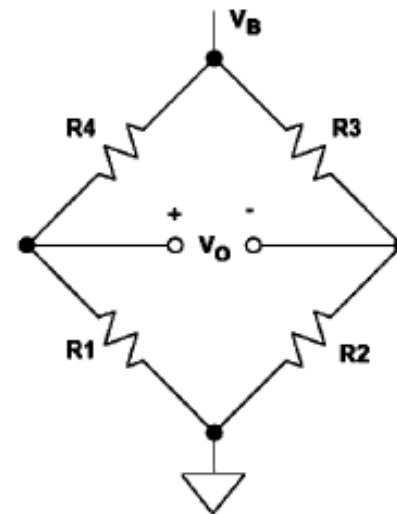


Mạch cầu điện trở

- Ứng dụng cho các loại cảm biến thụ động.
- Giá trị điện trở của phần tử cảm biến thường từ 100 Ω đến vài trăm k Ω . Ví dụ như bảng bên dưới.
- Thường giá trị điện trở thay đổi do tác động của đại lượng đo là rất nhỏ so với giá trị điện trở ban đầu
- Thiết kế sao cho dòng qua điện trở đủ nhỏ để không đốt nóng điện trở gây ra lỗi

■ Strain Gages	120 Ω , 350 Ω , 3500 Ω
■ Weigh-Scale Load Cells	350 Ω - 3500 Ω
■ Pressure Sensors	350 Ω - 3500 Ω
■ Relative Humidity	100k Ω - 10M Ω
■ Resistance Temperature Devices (RTDs)	100 Ω , 1000 Ω
■ Thermistors	100 Ω - 10M Ω

Figure 4.1.1: Resistance of popular sensors.



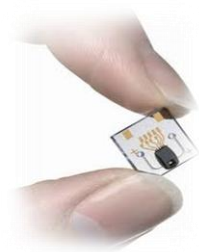
$$V_O = \frac{R_1}{R_1 + R_4} V_B - \frac{R_2}{R_2 + R_3} V_B$$

$$= \frac{\frac{R_1}{R_4} - \frac{R_2}{R_3}}{\left(1 + \frac{R_1}{R_4}\right) \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)} V_B$$

AT BALANCE,

$$V_O = 0 \quad \text{IF} \quad \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$$

Figure 4.1.3: The Wheatstone bridge.



Mạch cầu điện trở

- Để tăng độ nhạy người ta dùng cầu 2 nhánh và 4 nhánh như hình vẽ
- Trong đó cầu một nhánh ứng dụng chủ yếu cho cảm biến nhiệt điện trở (RTD)
- Cầu 2 hoặc 4 nhánh ứng dụng chủ yếu cho strain gages
- Nếu nguồn cấp cho cầu $V_B = 10\text{ V}$, và điện áp ra toàn thang là 10 mV thì độ nhạy cầu là 1 mV/V .

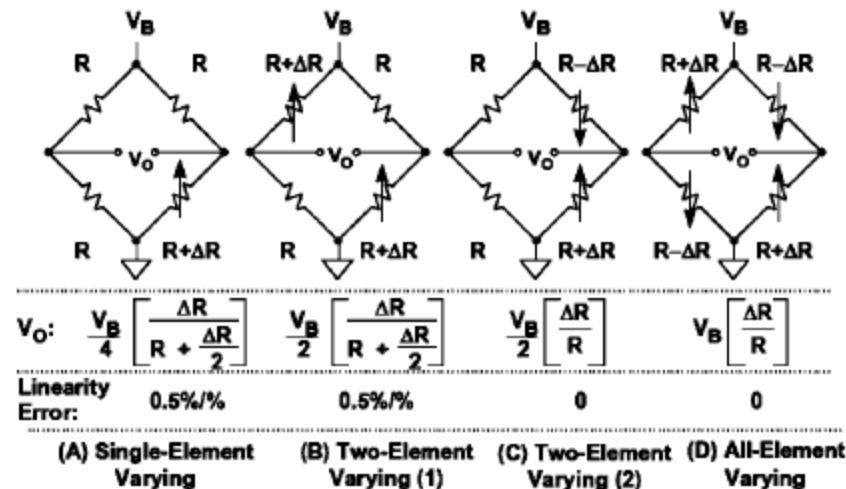
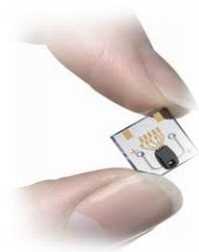


Figure 4.1.4: Output voltage and linearity error for constant voltage drive bridge configurations.



Mạch cầu điện trở

- Hình 4.1.1, dùng một phần tử khuếch đại thuật toán để khuếch đại tín hiệu ra của cầu. Trường hợp này cầu khó cân bằng vì điện trở R_f và dòng lệch của khuếch đại thuật toán. Ngoài ra độ chính xác khuếch đại và độ phi tuyến không cao.
- Sơ đồ hình 4.1.8 sử dụng khuếch đại dụng cụ đã cải thiện được các nhược điểm của sơ đồ 4.1.1

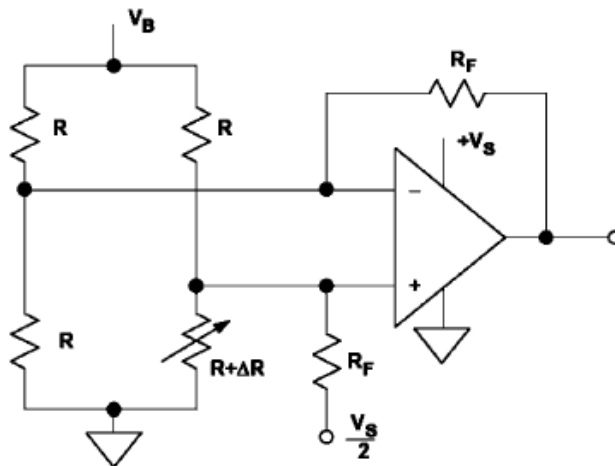


Figure 4.1.7: Using a single op amp as a bridge amplifier for a single-element varying bridge.

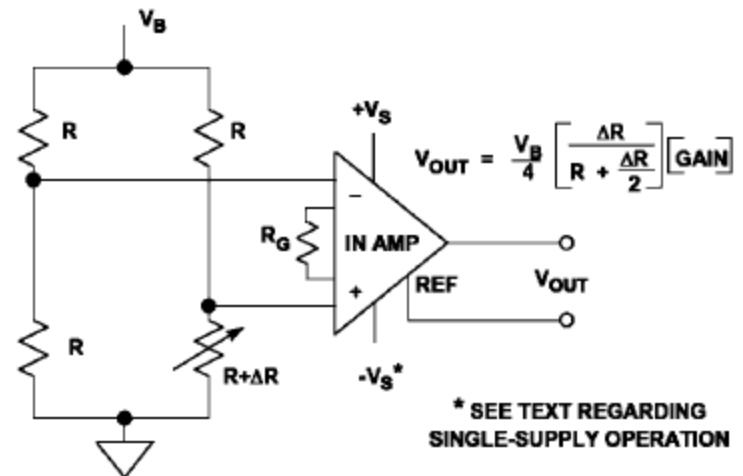
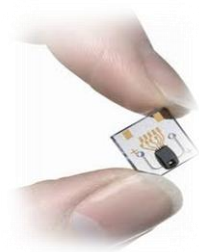


Figure 4.1.8: Using an instrumentation amplifier with a single-element varying bridge.



Sai số của mạch cầu khi điện trở đường dây thay đổi

- Ví dụ hình 4.1.13, phần tử nhạy strain gage có giá trị điện trở chuẩn ban đầu là $350\ \Omega$ đã được nối với một nhánh của mạch cầu bằng cặp đôi dây xoắn bằng đồng có độ dài 100 feet = 3047.6 cm = 30.5 m. Điện trở 1 dây khoảng $1.05\ \Omega/\text{feet}$ tại 25°C hay $10.5\ \Omega$ cho 100 feet. Do đó điện trở của cặp xoắn là $21\ \Omega$. Ngoài ra hệ số thay đổi nhiệt độ của đồng là $0.385\%/^\circ\text{C}$. Chúng ta tính toán giá trị điện áp ra và lỗi trôi điểm không khi nhiệt độ tăng thêm 10°C . (cầu điện trở có điện áp cấp 10V)

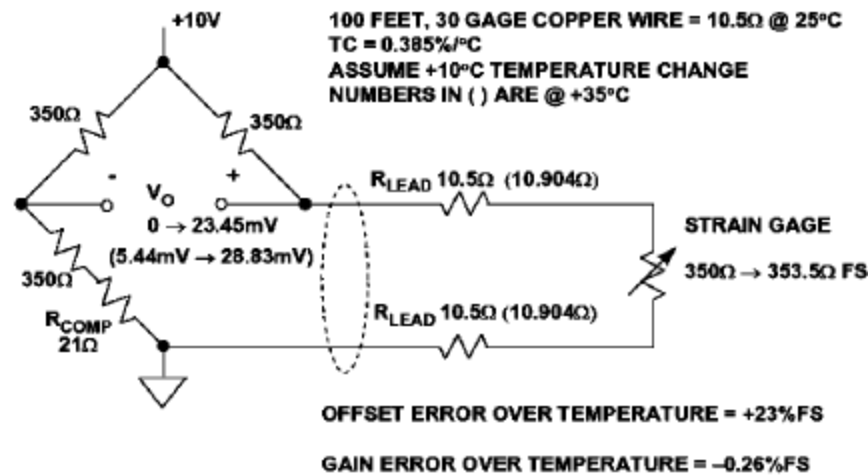


Figure 4.1.13: Errors produced by wiring resistance for remote resistive bridge sensor.



Sai số của mạch cầu khi điện trở đường dây thay đổi

- Giả sử sự biến đổi toàn thang của điện trở strain gage là khoảng 1% (3.5Ω), khi đó điện trở của strain gage là 353.5Ω , và kết quả là giá trị điện áp ra của cầu là $+23.45 \text{ mV}$. Lưu ý trường hợp này bao gồm cả 21Ω cho điện trở bù (R_{COMP}) để cầu cân bằng. Nếu không có điện trở bù thì điện áp ra lệch không là 145.63 mV .
- Nếu giả sử nhiệt độ của cáp dẫn tăng 10°C khi đó điện trở của một dây dẫn đơn sẽ tăng lên là $+0.404 \Omega$ ($10.5 \Omega \times 0.00385/^\circ\text{C} \times 10^\circ\text{C}$). Kết quả tổng cộng trên cáp xoắn sẽ là $+0.808 \Omega$. Giả sử điện trở strain không đổi, khi đó điện áp lệch không ban đầu do điện trở đường dây thay đổi là $+5.44 \text{ mV}$. Và kết quả lệch toàn thang khi strain thay đổi là $+28.83 \text{ mV}$ (điện áp thực là 23.39 mV). Như vậy với sự tăng nhiệt độ thì lỗi điện áp lệch không là $+23\%$ toàn thang (FS)($+5.44 \text{ mV}$) và lỗi điện áp ra là -0.26% FS ($-0.06 \text{ mV} = 23.39 \text{ mV} - 23.45 \text{ mV}$). Lưu ý trong trường hợp này không xét đến lỗi thay đổi điện trở của strain do nhiệt độ thay đổi)



Giảm sai số của mạch cầu khi điện trở đường dây thay đổi

- Dùng cầu với 3 dây nối như hình 4.1.14
- Trong trường hợp này loại trừ lỗi lệch không
- Khi nhiệt độ tăng 10°C thì lỗi điện áp ra là -0.02mV ($0.08\%\text{FS}$).

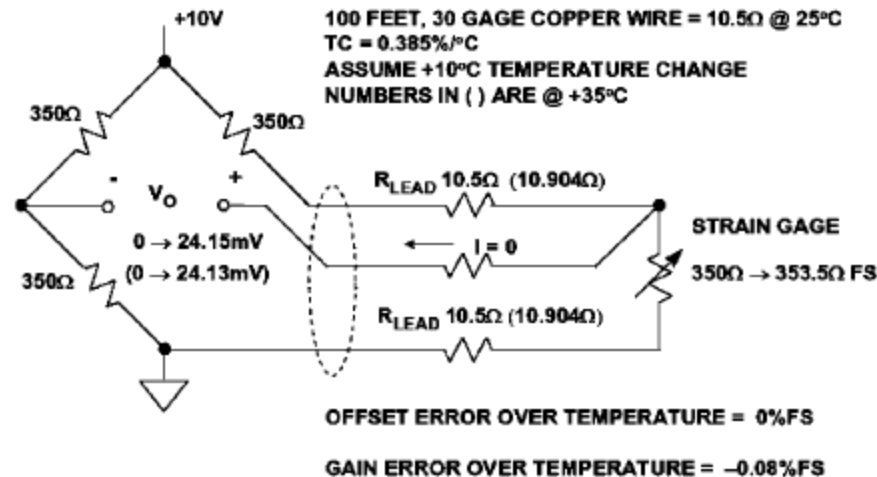
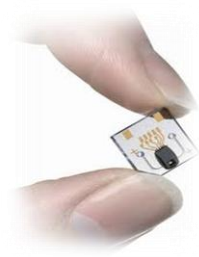


Figure 4.1.14: 3-wire connection to remote bridge element (single-element varying).



Cầu 6 dây

- Thường ứng dụng cho Loadcell.
- 2 dây cho tín hiệu ra, 2 dây nhạy được nối đầu vào của khuếch đại thuật toán có trở kháng cao. Với cách mắc này tối thiểu hoá được sai lệch do nguồn cấp. Nguồn cấp luôn ổn định là V_B . Chọn OP với các chỉ tiêu low offset, low drift và low noise

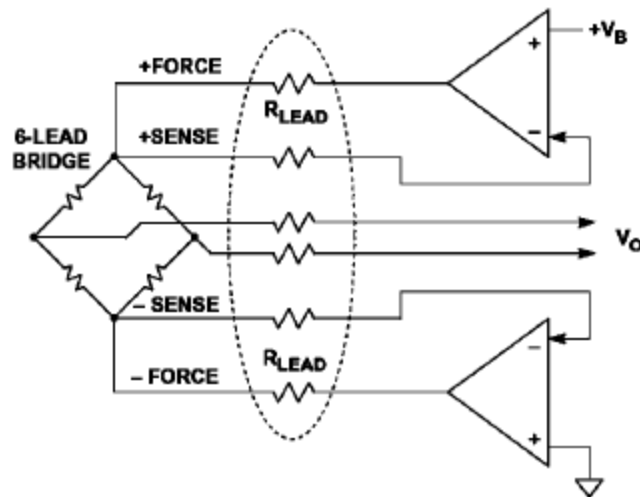


Figure 4.1.15: Kelvin (4-wire) sensing minimizes errors due to lead resistance.



Mạch khuếch đại cho chuẩn hoá tín hiệu

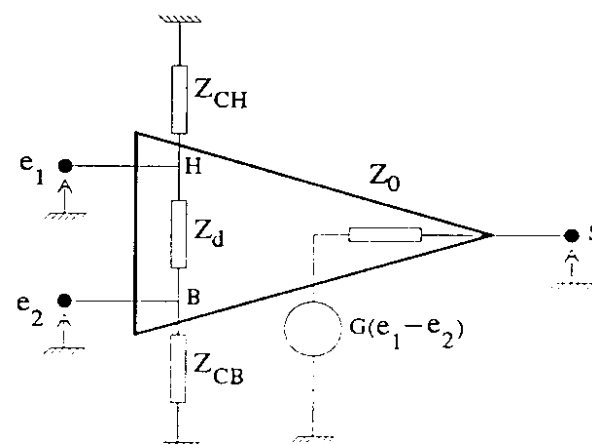
■ Input Offset Voltage	$<100\mu\text{V}$
■ Input Offset Voltage Drift	$<1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
■ Input Bias Current	$<2\text{nA}$
■ Input Offset Current	$<2\text{nA}$
■ DC Open Loop Gain	$>1,000,000$
■ Unity Gain Bandwidth Product, f_u	500kHz - 5MHz
■ Always Check Open Loop Gain at Signal Frequency!	
■ 1/f (0.1Hz to 10Hz) Noise	$<1\mu\text{V p-p}$
■ Wideband Noise	$<10\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
■ CMR, PSR	$>100\text{dB}$

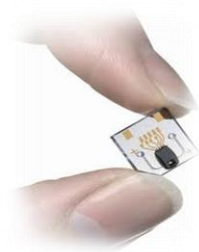
■ Single Supply Operation

■ Power Dissipation

Figure 4.2.1: Amplifiers for signal conditioning.

- ✓ Khi tín hiệu lấy ra từ cảm biến có giá trị bé, phải khuếch đại.
- ✓ Có thể dùng một khuếch đại thuật toán
- ✓ Khuếch đại thuật toán lý tưởng phải :
 - Có một tổng trở vào vô cực
 - Tổng trở ra bằng zero
 - Hệ số khuếch đại vô cực





Một vài phương pháp kiểm tra hiệu chỉnh

Input Offset Voltage

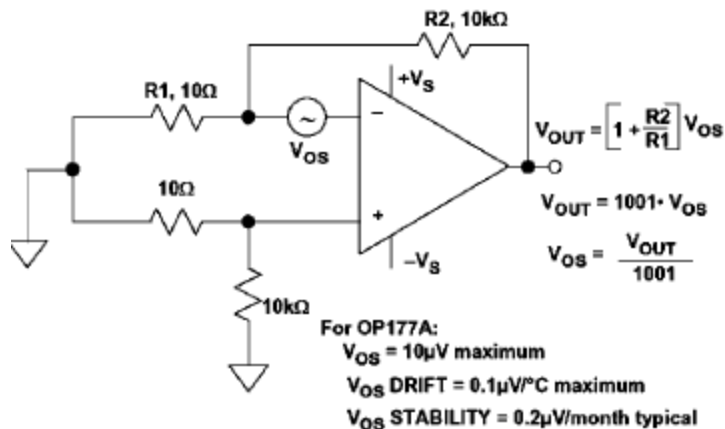
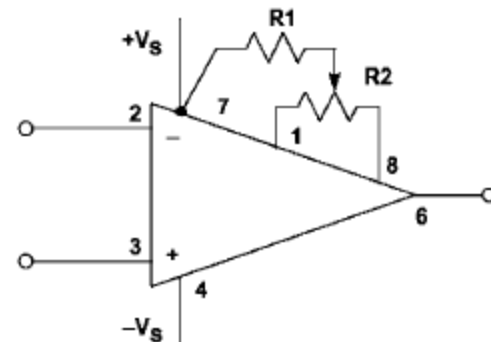
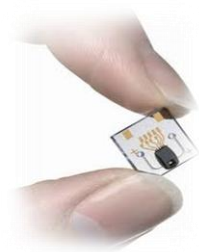


Figure 4.2.2: Measuring input offset voltage.



- $R1 = 10k\Omega$, $R2 = 2k\Omega$, OFFSET ADJUST RANGE = $200\mu V$
- $R1 = 0$, $R1 = 20k\Omega$, OFFSET ADJUST RANGE = $3mV$

Figure 4.2.3: OP177/AD707 offset adjustment pins.



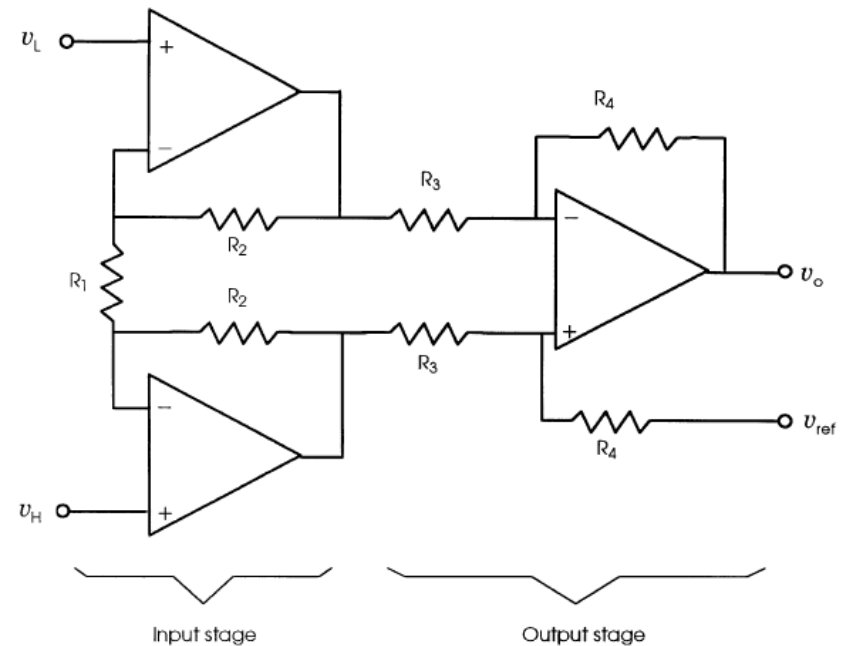
Mạch khuếch đại đo lường vi sai (dụng cụ)

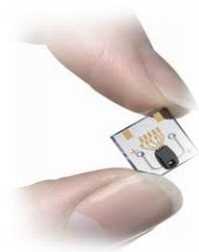
- Trong các thiết bị đo tín hiệu đo được lấy ra từ các bộ cảm biến có công suất rất nhỏ. Muốn khuếch đại được những tín hiệu như vậy cần phải có những bộ khuếch đại điện trở đầu vào phải rất lớn.

- Chồng nhiễu tốt, trở kháng vào lớn, hệ số khuếch đại lớn.

- Hệ số khuếch đại G được tính như sau:

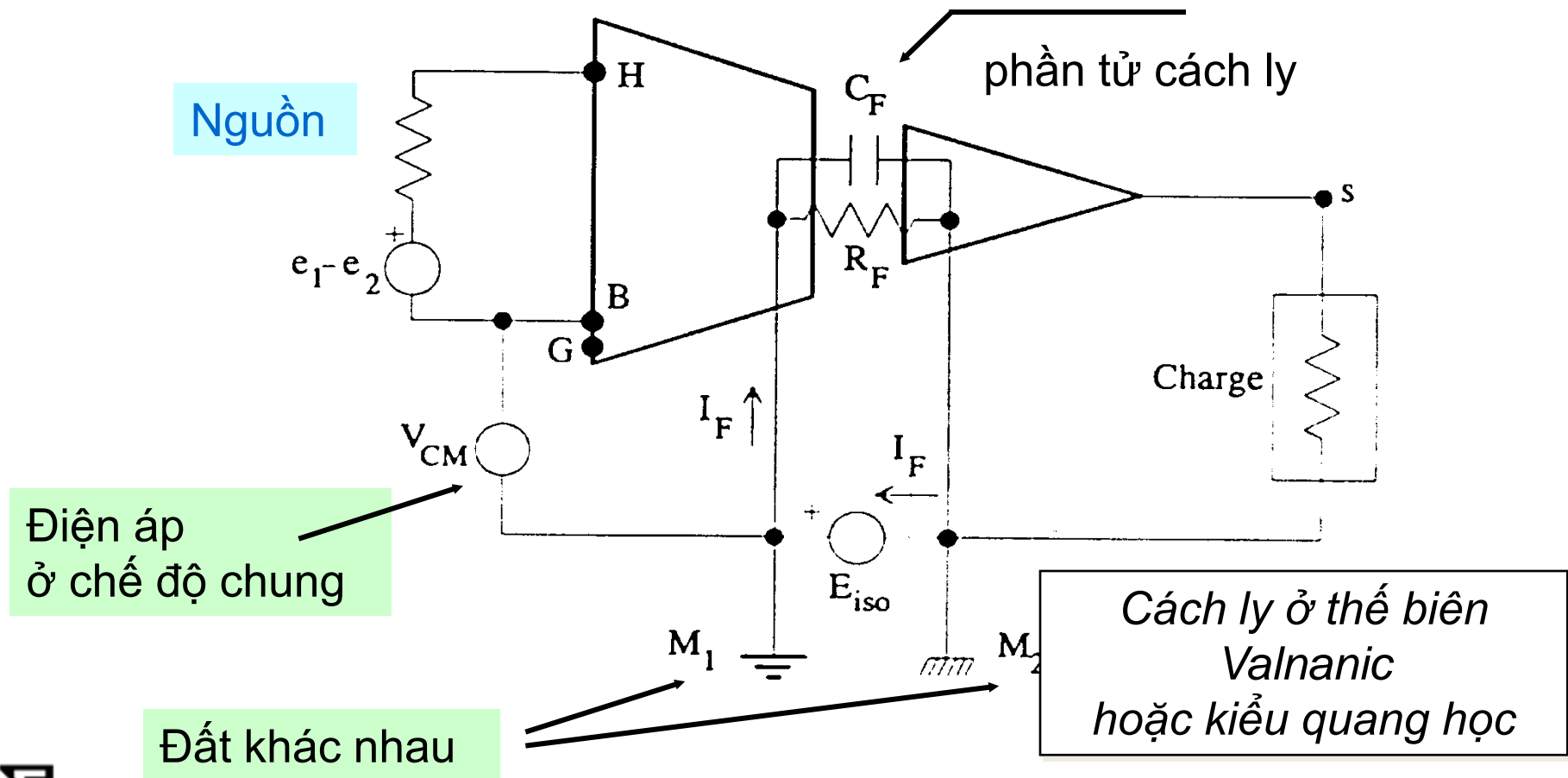
$$G = \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_4}{R_3}$$

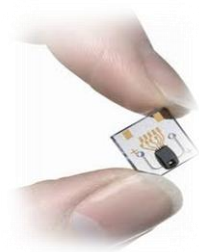




Mạch khuếch đại cách ly

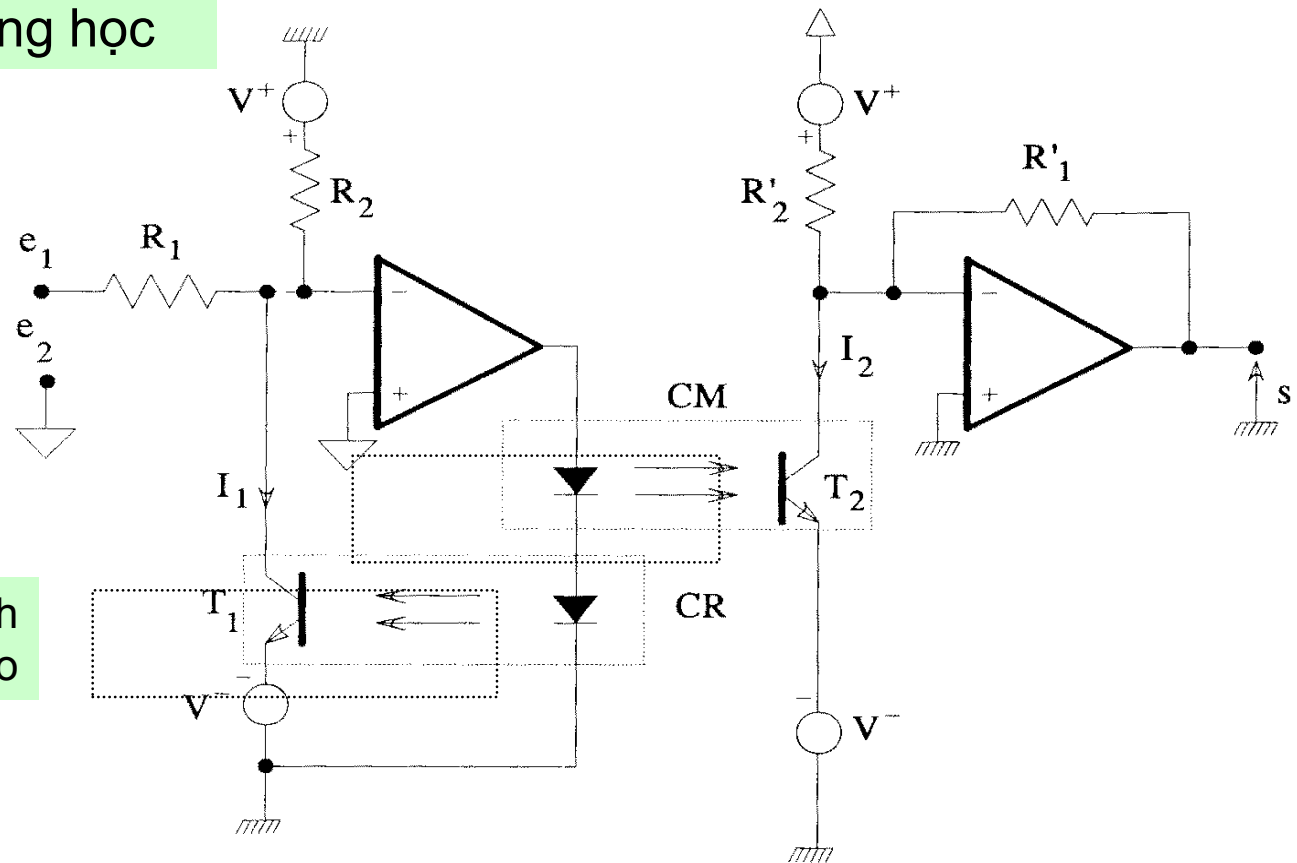
Để bảo vệ con người : ví dụ trong các thiết bị y tế.
Bảo vệ cho chế độ chung và chống nhiễu tốt





Mạch khuếch đại cách ly

Nối tầng quang học



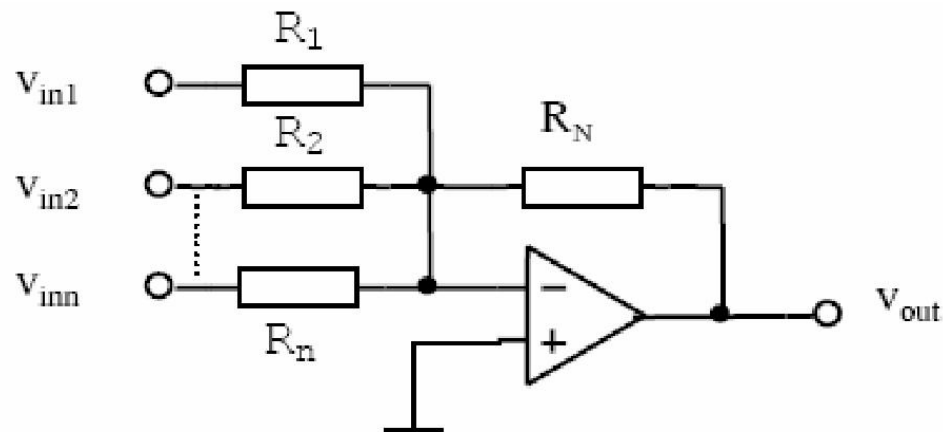
Cách mắc chuẩn bù tính
tuyến tính của phần đo

CM coupleur de mesure
CR coupleur de référence

Tension d'isolement: 2000 V
Courant de fuite : 0,25 μ A maximum

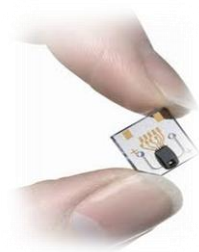


Mạch cộng đảo



$$\frac{V_{in1}}{R_1} + \frac{V_{in2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{inn}}{R_n} + \frac{V_{out}}{R_N} = 0$$

$$\Rightarrow V_{out} = - \left(\frac{R_N}{R_1} V_{in1} + \frac{R_N}{R_2} V_{in2} + \dots + \frac{R_N}{R_n} V_{inn} \right)$$



Mạch trừ

Điện áp ở cửa vào thuận:

$$V_p = V_{in2} \frac{R_p}{R_p + \frac{R_p}{a}}$$

$$R_1 = R_N/a$$

$$R_2 = R_p/a$$

Điện áp ở cửa vào đảo:

$$V_N = (V_{in1} - V_{out}) \frac{R_N}{R_N + \frac{R_N}{a}} + V_{out}$$

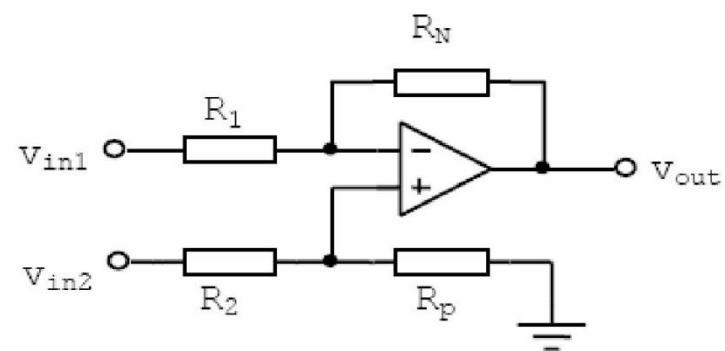
Vì:

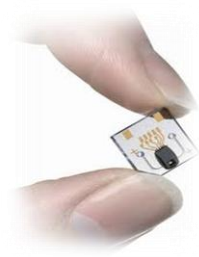
$$V_d = V_p - V_N = 0 \Rightarrow V_p = V_N$$

$$\Rightarrow V_{in2} \cdot \frac{R_p}{R_p + \frac{R_p}{a}} = \frac{R_N}{R_N + \frac{R_N}{a}} (V_{in1} - V_{out}) + V_{out}$$

Nếu $R_N = R_p$:

$$\Rightarrow V_{out} = a (V_{in2} - V_{in1})$$





Mạch tích phân đảo

Phương trình dòng điện nút tại N:

$$i_1 + i_C = 0$$

Hay:

$$\frac{V_{in1}}{R} + C \frac{dV_{out}}{dt} = 0$$

Suy ra:

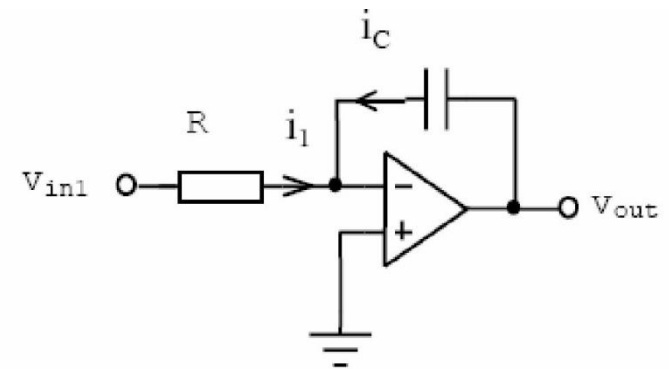
$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in1}(t) dt = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in1}(t) dt + V_{out}(t=0)$$

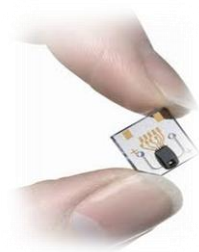
=> Điện áp ra tỉ lệ với tích phân điện áp vào.

Thường chọn hằng số thời gian $\tau = RC = 1s$. $V_{out}(t=0)$ là điều kiện đầu, không phụ thuộc vào điện áp vào V_{in1} .

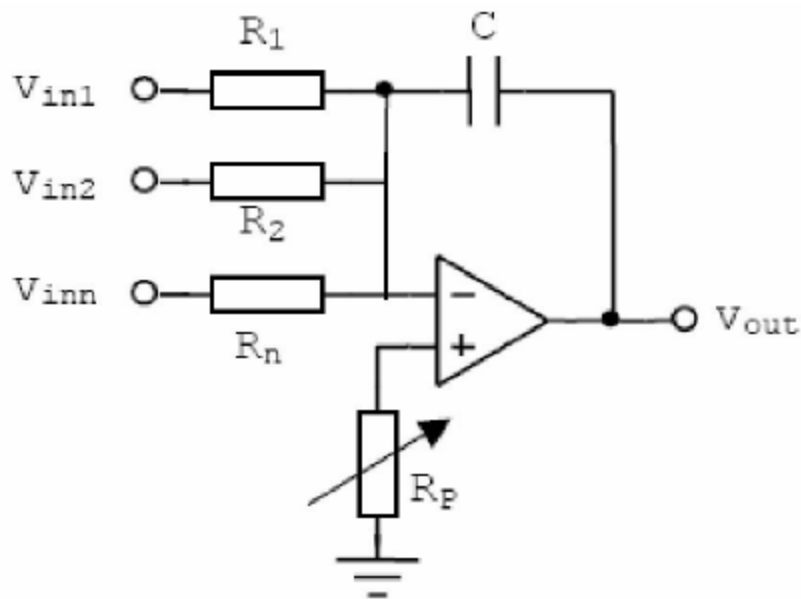
Nếu V_{in1} là điện áp xoay chiều hình sin: $v_{in1} = V_{in1} \sin \omega t$ thì:

$$v_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in1} \cdot \sin \omega t dt = \frac{V_{in1}}{\omega RC} \cdot \cos \omega t = V_{out} \cos \omega t$$





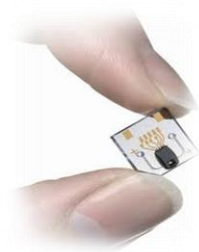
Mạch tích tổng



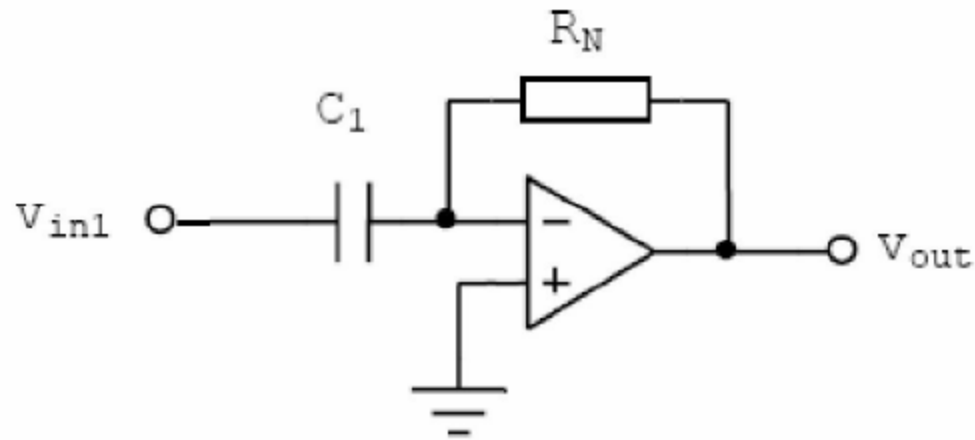
Hình 1.4. Sơ đồ mạch tích phân tổng

Dùng phương pháp xếp chồng và viết phương trình dòng điện nút đối với nút N ta tìm được:

$$V_{out} = -\frac{1}{C} \int \left(\frac{V_{in1}}{R_1} + \frac{V_{in2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{inn}}{R_n} \right) dt$$



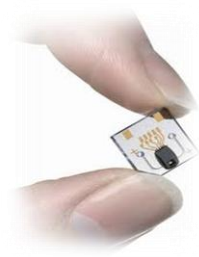
Mạch vi phân



Hình 1.6. Sơ đồ mạch vi phân

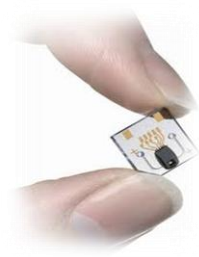
$$i = C_1 \frac{dv_{in1}}{dt} = \frac{V_{out}}{R_N}$$

$$\Rightarrow V_{out} = -R_N C_1 \frac{dv_{in1}}{dt}$$



Bộ chuyển đổi tương tự-số (ADC)

- Chuyển đổi gián tiếp: tích phân 2 sườn dốc
 - $u(t) \Rightarrow \text{Time Interval}/f/T \Rightarrow \text{code}$
 - Chậm, rẻ tiền (\$s), độ phân ly và chính xác cao
 - Dùng cho đo lường, thu thập số liệu trong công nghiệp... không cần nhanh, loại được nhiều
- Chuyển đổi trực tiếp: $u(t) \Rightarrow \text{code}$
 - Nhanh, độ phân ly thấp hơn [đắt tiền], dùng để thu thập và xử lý tín hiệu biến thiên nhanh
- Chuyển đổi song song: 10M..500 MSps
- Chuyển đổi kiểu xấp xỉ liên tiếp: 10k..10MSps



Tích phân 2 sườn dốc - Dual Slope Integration ADC:

– *Đặc điểm:*

Chậm, hàng chục..hàng trăm ms - conversion time. Loại bỏ được nhiễu lưới công nghiệp (50/60 Hz). Rẻ, độ phân li cao, độ chính xác cao, nếu Internal Ref và clock thì đắt hơn

⇒ Dùng để đo lường, thu thập số liệu trong công nghiệp

ICL 7107, 15..17kđ,

In: -2V..2V, Out: -1999 => 1999, 4.000 counts <=> 12 bit, LED 7 Seg drive directly w current sources for display. Conversion time: 20..40ms

– ICL 7135, 25..30kđ,

Inp: -2V..+2V, Out: -19999 => +19999, 40.000 count >

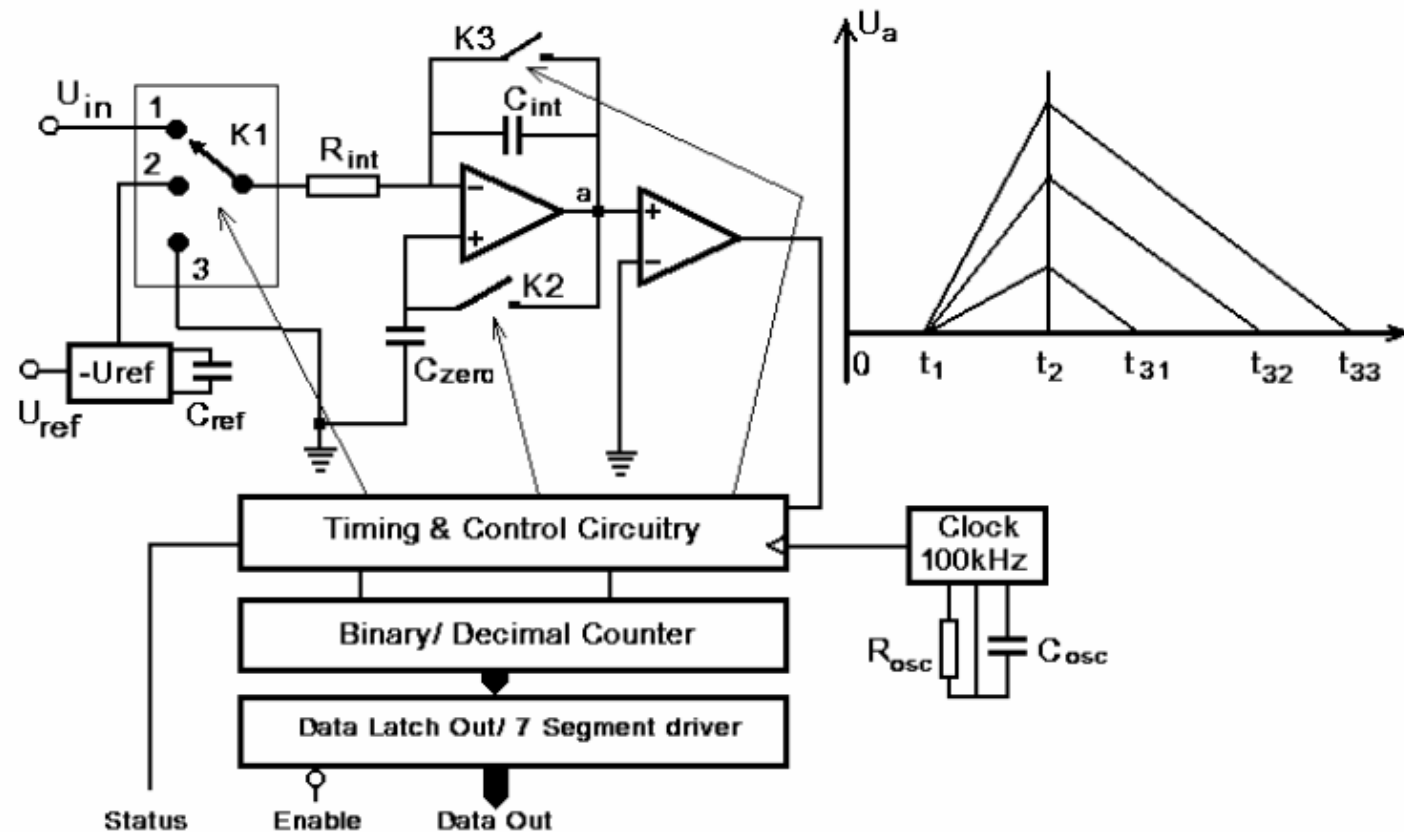
15bit, 400 ms conversion time

De-Multiplexed Out BCD for 5 digits of 7 Seg, scanned

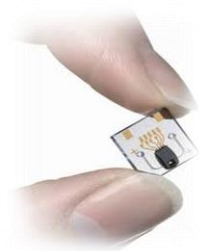
– ICL 7109, 120kđ, w REF & Clock

Inp: -2V..+2V, Out: 12 bin + pole, 8/16 bit interface to CS

Sơ đồ nguyên lý



Hình 6.20. Dual Slope Integration ADC



Nguyên lý

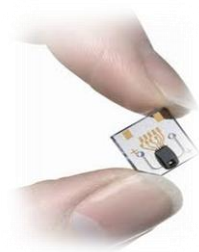
- U_{IN} : điện áp cần chuyển đổi,
- Switch: SPTT, chuyển mạch theo các phase hoạt động.

- Integrator:
$$U_a = - \frac{1}{R_I C_I} \int_{t_1}^{t_2} (U_{IN} dt)$$

- AC: Analog Comparator:
$$\begin{aligned} V_+ > V_- &\Rightarrow \text{Out} = 1 \\ V_+ < V_- &\Rightarrow \text{Out} = 0 \end{aligned}$$

Chú ý: không có khái niệm $V_+ = V_-$

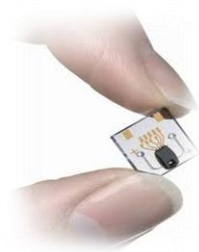
- Bộ "đảo dấu" U_{REF} , ví dụ:
$$\begin{aligned} U_{REF} &= -1,000 \text{ Volt khi } U_{IN} > 0 \text{ V} \\ U_{REF} &= +1,000 \text{ Volt khi } U_{IN} < 0 \text{ V} \end{aligned}$$
- Timing-Control: điều khiển hoạt động của ADC
- Counter: để đếm thời gian ($t_3 - t_2$), bin/BCD
- Output Latch: chốt số liệu ra: 7seg/bcd/bin; [3state] để ghép nối bus trực tiếp, có tín hiệu Hi/Low byte enable



- **Hoạt động:** Chia thành 3 phase, Free Run, không cần CS khởi động. CS có thể HOLD/RUN
- Zeroing Phase: (0.. t1)
 - K1 => grounded, K2, K3 closed => khử bỏ điện áp dư trên các phân tử (tare - trừ bì)
- Integrating Phase: (t1=>t2)
 - K1=> U_{IN}, K2, K3 Opened

$$U_a(t2) = - \frac{1}{R_I C_I} \int_{t1}^{t2} (U_{IN} dt) + U_a(t1)$$

- Tuy nhiên, U_a(t1) đã được qui zero trước đó.



- De-integration Phase: ($t_2 \Rightarrow t_3$), $K_1 \Rightarrow "-U_{REF}"$, K_2 , K_3 Opened

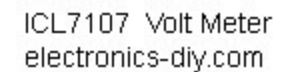
$$U_a(t_3) = - \frac{1}{R_I C_I} \int_{t_2}^{t_3} (-U_{REF} dt) + U_a(t_2) = 0$$

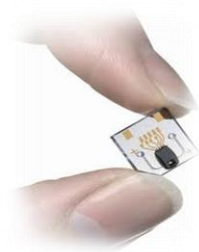
$$\rightarrow \int_{t_1}^{t_2} U_{IN} dt = \int_{t_2}^{t_3} U_{REF} dt$$

$$\rightarrow U_{IN} \sim (t_3 - t_2)$$

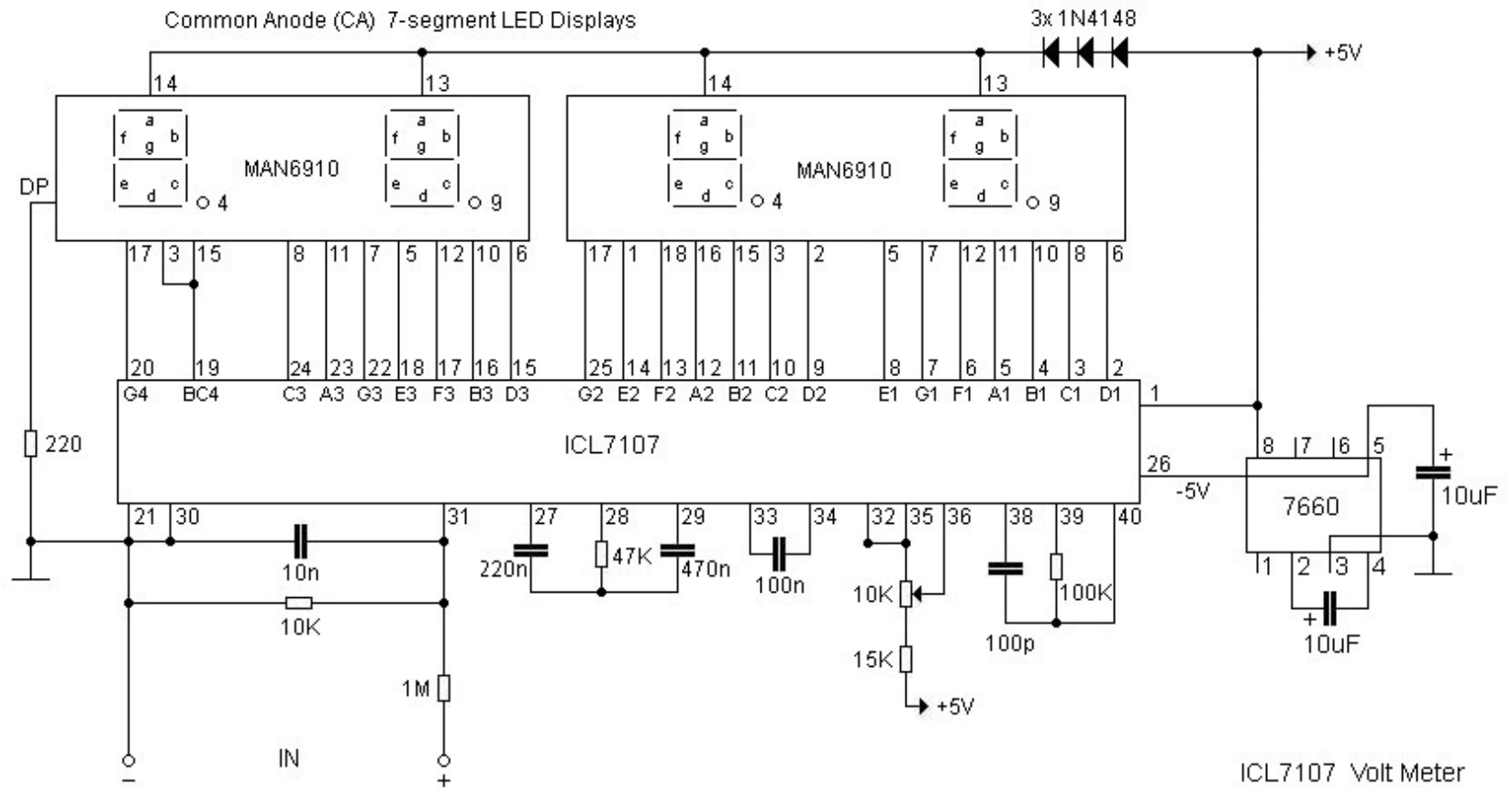
$$\rightarrow U_{IN}^* = k (t_3 - t_2);$$

với U_{IN}^* là trung bình tích phân của U_{IN} từ $t_1 \Rightarrow t_2$

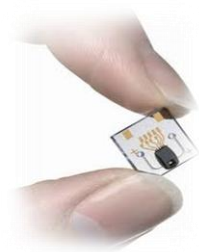




ICL 7107



ICL7107 Volt Meter
electronics-diy.com



Digital to Analog-DAC

$$V_A = V_7 + \frac{V_6}{2} + \frac{V_5}{4} + \frac{V_4}{8} + \frac{V_3}{16} + \frac{V_2}{32} + \frac{V_1}{64} + \frac{V_0}{128}$$

$V_0 \dots V_7$ are set at either the reference voltage level V_{ref} or at zero volts according to whether an associated switch is open or closed. Each switch is controlled by the logic level of one of the bits 0–7 of the 8 bit binary signal being converted. A particular switch is open if the relevant binary bit has a value of 0 and closed if the value is 1. Consider for example a digital signal with binary value of 11010100. The values of $V_7 \dots V_0$ are therefore:

$$V_7 = V_6 = V_4 = V_2 = V_{\text{ref}}; \quad V_5 = V_3 = V_1 = V_0 = 0$$

The analogue output from the converter is then given by:

$$V_A = V_{\text{ref}} + \frac{V_{\text{ref}}}{2} + \frac{V_{\text{ref}}}{8} + \frac{V_{\text{ref}}}{32}$$

