

Bài giảng

Kỹ thuật đo lường

GV: Nguyễn Hoàng Nam
Bộ môn: Kỹ thuật đo và THCN

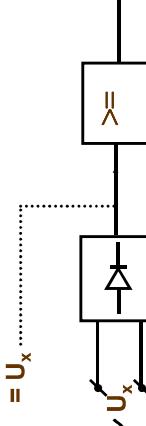
Hà nội 09/2010

- Ưu điểm cơ bản của dụng cụ đo điện tử là có độ nhạy cao, giải thông tần số rộng, phạm vi đo động rộng, công suất tốn hao nhỏ.
 - Nhược điểm của dụng cụ đo điện tử là có sai số lớn (sai số bằng tổng sai số của chỉ thị cơ điện và sai số của biến đổi điện tử), cấp chính xác từ $1 \div 5$, kích thước tương đối lớn, cần có thêm nguồn cung cấp phụ.

- Các volmet chế tạo bằng dụng cụ đo chỉ thị cơ điện có một số hạn chế quan trọng : điện trở của các dụng cụ đo quá nhỏ \rightarrow Không thể đo được ở các mạch có trở kháng cao và do đó cũng không đo được ở điện áp quá thấp
- Nhược điểm này có thể được khắc phục bằng cách sử dụng các dụng cụ đo điện tử có điện trở đầu vào cao và có thể khuếch đại điện áp thấp tới mức có thể đo được.
- Phân lớn các dụng cụ đo điện tử được chế tạo có phần chỉ thị để đọc thẳng, có thể là dụng cụ tự ghi hoặc máy hiện sóng.

Dạng chỉ thị ???

Cơ cấu từ
diện



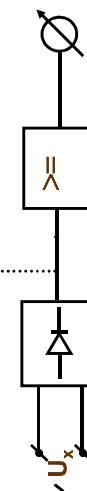
Khuếch đại 1 chiều



Khuếch đại xoay chiều

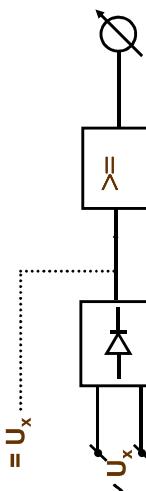
Sơ đồ khởi cơ bản của V mét điện tử

$$= U_x \dots$$

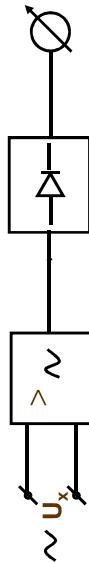


Dạng chỉ thị ???

Cơ cấu từ
diện



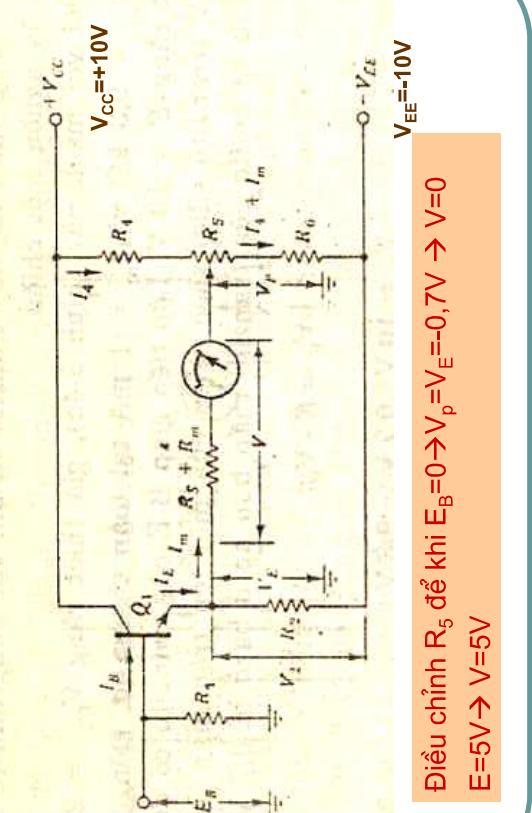
Khuếch đại 1 chiều



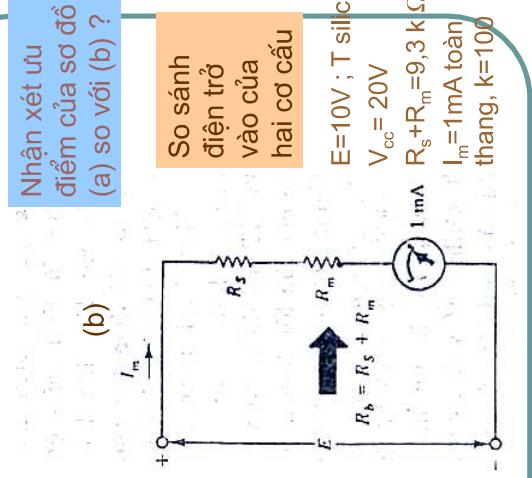
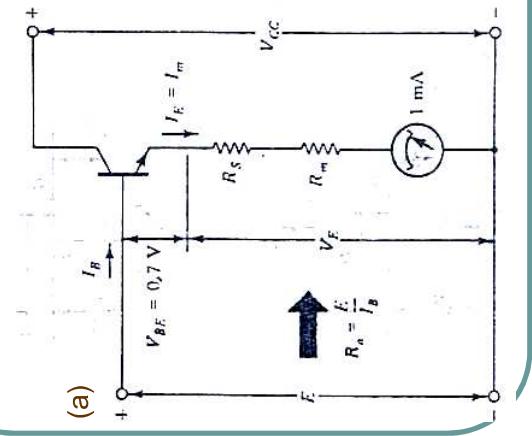
Khuếch đại xoay chiều

Có thể khắc phục bằng cách sử dụng các mạch chia áp và mạch gánh emitter

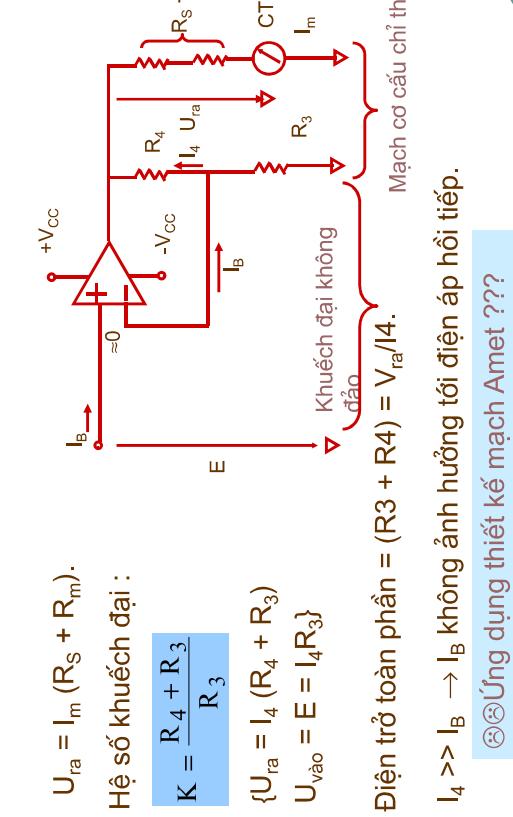
Ví dụ Voltmet điện tử mạch gánh Emitter (a)



7



5



8

$$\begin{aligned} V_E &= E - V_{BE} = 9,3V \\ I_E &= V_E / (R_S + R_m) = 1mA \\ I_B &= I_E / k = 10\mu A \\ \text{Điện trở vào của Vmet (a)} &: R_a = E/I_B = 1M\Omega \\ \text{Điện trở vào của Vmet (b)} &: R_b = E/I_B = 10V/1mA = 10k\Omega \end{aligned}$$



④ Nhược điểm của Vmet điện tử thể hiện trên hình (a)???

⑤ Sai số gây ra do độ sụt áp B-E
V/D: E=5V $\rightarrow I_E = 0,46mA$ thay vì $I_E = 0,5mA$

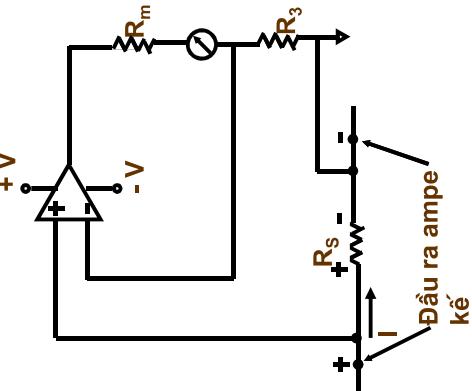
6

3030-10 HITEMTER

Field Measuring Instruments



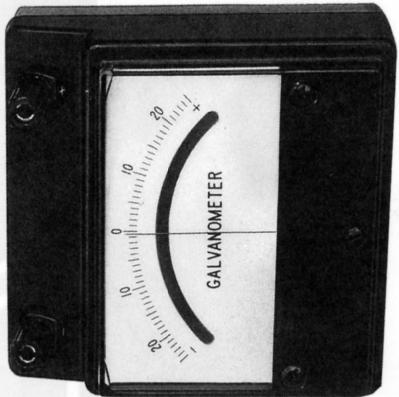
- Độ sút áp nhỏ trên điện trở R_s được khuếch đại trước khi đưa vào dụng cụ đo. Có thể áp dụng để đo dòng một chiều cũng như dòng xoay chiều.
- Đối với dòng trung bình hoặc lớn thì không cần sử dụng các bộ khuếch đại điện tử.
- Khoảng đo dòng của ampe kế điện tử nói chung nhỏ, một dụng cụ đo dòng điện hình có khoảng đo dòng một chiều từ 1,5μA đến 150mA.



Ampere kế điện tử đo dòng rất nhỏ

9

Thiết bị Galvanomet



10

Item	Max. scale reading	Tolerance	Notes
DC voltage	0.3/3/12/30/120/V	$\pm 2.5\%$ of full scale (0.3V range)	20 kΩ (16.7 kΩ in 0.3V range)
AC voltage	12/120/300/V	$\pm 2.5\%$ of full scale (12 V $\pm 4\%$)	9 kΩ/V
DC current	60μ/30/300mA	$\pm 3\%$ of full scale	Internal voltage drop 3.00 mV
Resistance	3k/30k/3MΩ	$\pm 3\%$ of scale length	Internal voltage 3 V
Temperature scale	-50 - 150°C	$\pm 5\%$ of scale length	With optional temperature measurement probes
Battery check	0.9 - 1.8V	$\pm 5\%$ of scale length	Load resistance 10 kΩ
LED check	Yes		
Safety standards	IEC 61010, CAT III 600V		
Batteries	R6PAA $\times 2$		
Dimensions	95(W) \times 141(H) \times 39(D) - approx. 280g		
Accessories	9207 Test Leads (1 set); 9390 Carrying Case (1)		

12

§4.9. Bộ biến đổi tương tự số và số tương tự

Đo như thế nào?

Mục đích của chuyển đổi tương tự/số và số/tương tự là làm tương ứng một số nhị phân N với một điện áp tương tự V

Số nhị phân N sẽ được mô tả bằng số bit (hoặc số) a_0 đến a_{n-1} ($a_i=1$ hoặc 0)

$$N = a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0$$

a_0 bit có trọng số nhỏ nhất LSB (least significant bit)

a_{n-1} bit có trọng số lớn nhất MSB (most significant bit)

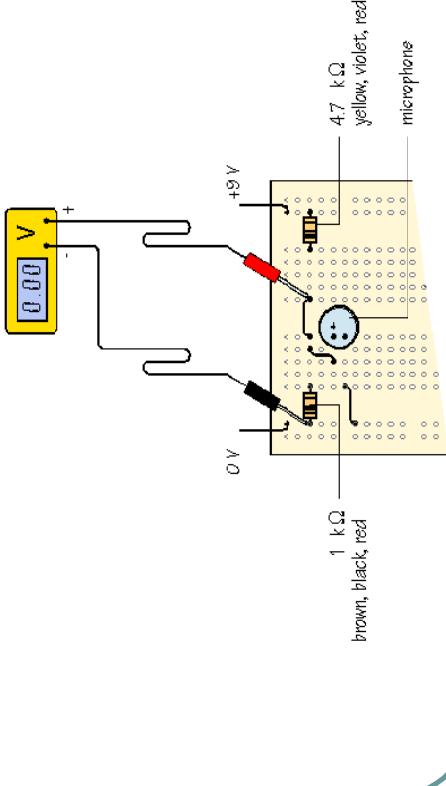
Số thập phân tương ứng:

$$N_{\text{thập phân}} = a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0$$

VD: số nhị phân 8 bit: 00110101 tương ứng với giá trị thập phân:

$$N_{\text{thập phân}} = 0.2^7 + 0.2^6 + 1.2^5 + 1.2^4 + 0.2^3 + 1.2^2 + 0.2^1 + 1.2^0 = 53$$

15



13

B. Multimét số



14

- Bộ biến đổi tương tự/số
- Các loại hiện thị số
- Tổ chức Voltmét số

Giá trị điện áp biến đổi V là rời rạc và được nhân với một giá trị cơ bản gọi là bước lượng tử hoá q (thực chất là giá trị điện áp tương tự cơ bản)

$$\begin{aligned} V &= q N_{\text{thập phân}} \\ &\text{volt volt số thập phân} \end{aligned}$$

$$Gt: q=2 \text{ mV}$$

$$V = ??? \text{ mV}$$

$$V = q [a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0]$$

$$V = 106 \text{ mV}$$

Đặc tính cơ bản của các bộ biến đổi
tương tự/số và số/tương tự

- Số bits: n
- Giá trị điện áp tương tự cơ bản: q

16

D/A điện trở trọng lượng

1. Các bộ chuyển đổi số - tương tự D/A

- Các bộ biến đổi D/A làm nhiệm vụ biến đổi một tín hiệu số biểu diễn theo một mã xác định thành một tín hiệu tương tự. Ví dụ chuyển đổi từ mã nhị phân sang một điện áp tương tự theo quan hệ:

$$V_s = -\left[\frac{V_{ref}}{R} a_{n-1} + \dots + \frac{V_{ref}}{2^{n-2} R} a_1 + \frac{V_{ref}}{2^{n-1} R} a_0\right]$$

Figure 12.3 - Convertisseur N/A à résistances pondérées.

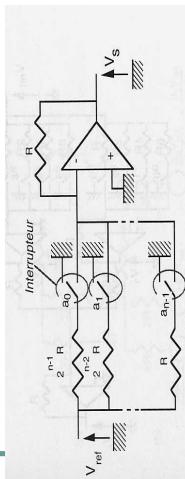
$$V_s = -V_{ref} [a_{n-1} 2^{n-1} + \dots + \frac{a_1}{2^{n-2}} + \frac{a_0}{2^{n-1}}]$$

D/A 4 bits

$$q = -\frac{V_{ref}}{2^{n-1}}$$

$$V_s = -V_{ref} \left[a_3 + \frac{a_2}{2} + \frac{a_1}{4} + \frac{a_0}{8} \right]$$

19



17

2. Đặc tính cơ bản của các bộ chuyển đổi D/A

- Số bit n
- Bước lượng tử q
- Giá trị cực đại của tín hiệu ra V_{smax}
- Độ phân giải $r = \frac{1}{2^N - 1}$
- Thời gian biến đổi: là thời gian điện áp ra tăng từ 0 tới giá trị đầy thang
- Giá trị điện áp ra $[0 - V_{smax}]$ hoặc $[-V_{smax} - V_{smax}]$
- Giá trị điện áp vào theo chuẩn TTL hoặc CMOS

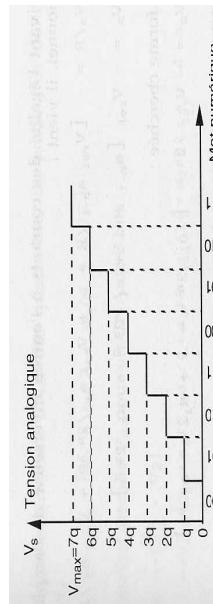


Figure 12.2 - Courbe de transfert numériques-analogique.

- Thực tế thường sử dụng các bộ D/A có cấu trúc song song:
 - D/A điện trở trọng lượng
 - D/A lưỡng điện trở R-2R

20

18

3. Một số sai số của bộ chuyển đổi D/A

Sai số phi tuyến

Sai số offset: $V_a \neq 0$ khi $V_{vào} = 0$

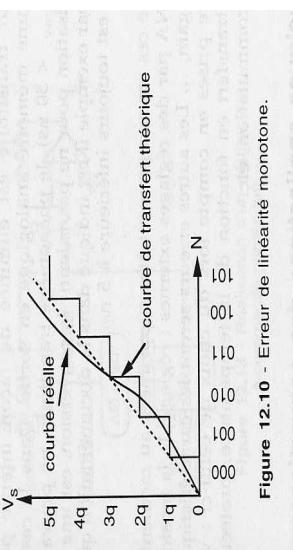


Figure 12.10 - Erreur de linéarité monotone.

23

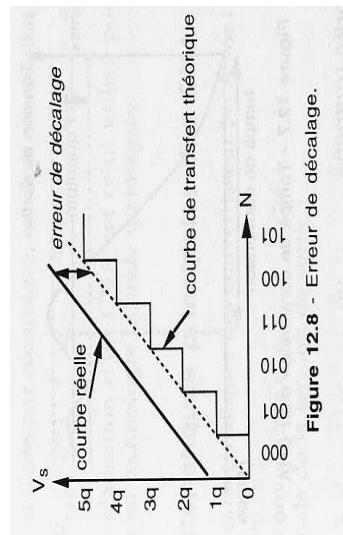


Figure 12.8 - Erreur de décalage.

21

4. Các bộ chuyển đổi tương tự - số A/D

Các bộ biến đổi ADC làm nhiệm vụ biến đổi một tín hiệu tương tự thành một tín hiệu số biểu diễn theo một mã xác định. Ví dụ chuyển đổi từ một điện áp vào cực đại và số bit N của bộ chuyển đổi không thay đổi, có thể tính được bước lượng tử q:

$$V_e = q (a_{n-1} 2^{n-1} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0)$$

Nếu giữ giá trị điện áp vào cực đại và số bit N của bộ chuyển đổi không thay đổi, có thể tính được bước lượng tử q:

$$q = V_{e \max} / (2^{N-1})$$

Về mặt lý thuyết, hàm truyền đạt của bộ chuyển đổi sẽ biểu diễn quan hệ giữa giá trị ra bằng số N và tín hiệu vào tương tự V_e dạng quan hệ bậc thang

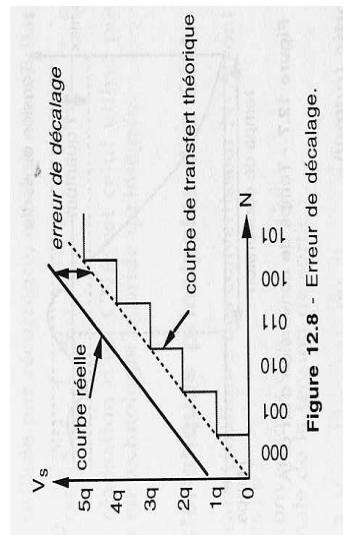
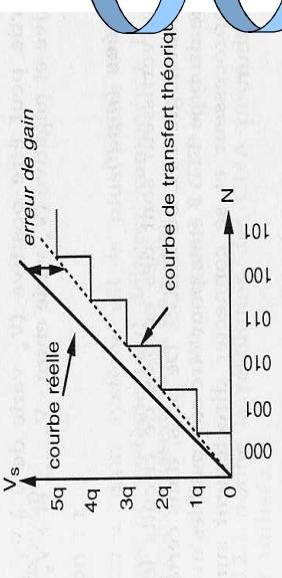
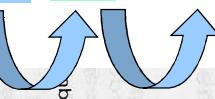


Figure 12.9 - Erreur de gain.



Sai số khuếch đại (sai số hệ số thang đo)

Sai số KĐ thường gây ra do ảnh hưởng của nhiệt độ. Sai số khuếch đại thường tỷ lệ thuận với điện áp ra so với điện áp lý thuyết



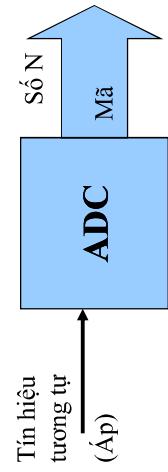
Phải thường xuyên kiểm tra đặc tính của D/A

Sự thay đổi tương đối của góc của đường chuyển đổi theo hàm của nhiệt độ

24

22

Chuyển đổi tương tự số ADC



• Ví dụ

Số nhị phân N sẽ được mô tả bằng số bit (hoặc số) a_0 đến a_{n-1} ($a_i=1$ hoặc 0)

$$N_{\text{thập phân}} = a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0$$

Số thập phân tương ứng:

$$N_{\text{thập phân}} = a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0$$

25

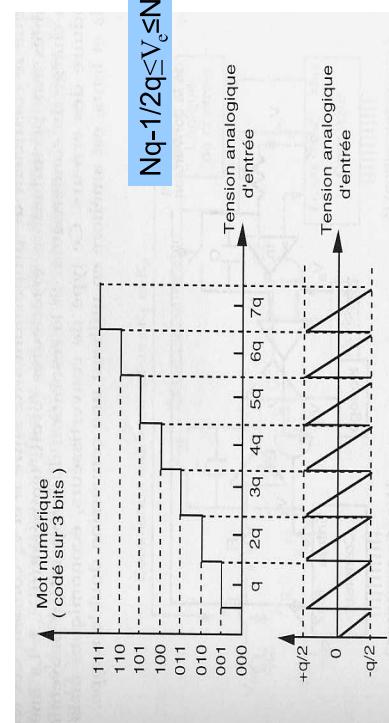


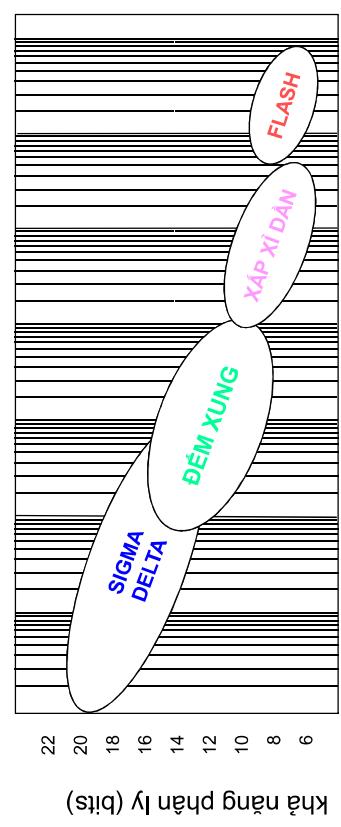
Figure 12-17 - Courbe de transfert d'un convertisseur idéal et évolution de l'erreur de quantification associée.

26

- Nhiều kỹ thuật thực hiện kế các bộ chuyển đổi A/D phụ thuộc và đặc tính kỹ thuật ưu tiên:
 - Chính xác: A/D tích hợp 1 sườn xung, 2 sườn xung
 - Kinh tế và nhanh: A/D sử dụng D/A
 - Rất nhanh (flash): A/D song song

27

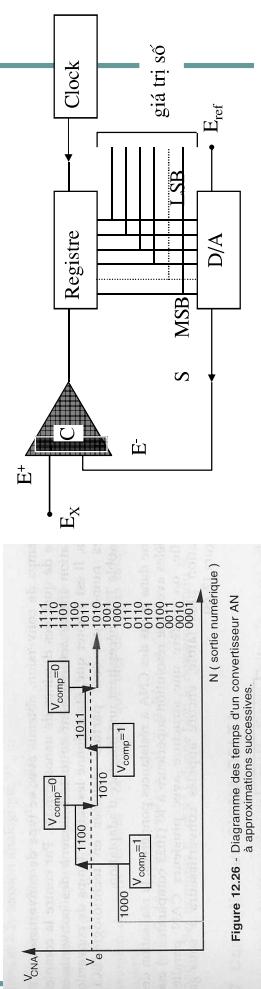
Nguyên lý kỹ thuật của các chuyển đổi



Tốc độ lấy mẫu (Triệu mẫu trên một giây)

28

A/D sử dụng D/A



Thuật toán ra mẫu/so sánh

$$\begin{aligned} V_e > V_{DA} &\rightarrow V_{comp}=1 \\ V_e < V_{DA} &\rightarrow V_{comp}=0 \end{aligned}$$

A/D tích hợp 1 sườn xung theo nhanh kí hiến nhanh

\rightarrow thời gian

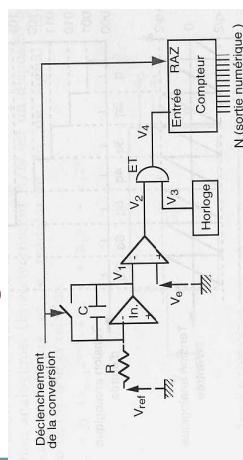


Figure 12.18 - Convertisseur à intégration simple rampe.

$$t_1 - t_0 = V_e \left(\frac{RC}{V_{ref}} \right) = N \delta$$

$$N = V_e \left(\frac{RC}{V_{ref}} \right) \delta$$

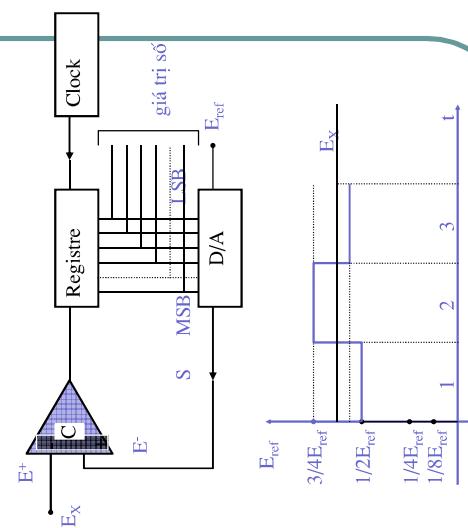
Với bộ A/D 8 bit, đồng hồ nhịp 1MHz, thời gian biến đổi là bao nhiêu ???

29

Bộ chuyển đổi ADC theo nguyên lý xấp xỉ liên tiếp

$$\begin{aligned} \text{Bước 1: } E_x &> E_{ref}/2 \quad \rightarrow \quad B_1=1; \\ E_x &< B_1 \cdot (E_{ref}/2) + E_{ref}/4 \rightarrow B_2=0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bước 2: } E_x &> B_1 \cdot (E_{ref}/2) + B_2 \cdot (E_{ref}/4) + E_{ref}/8 \\ E_x &< B_1 \cdot (E_{ref}/2) + B_2 \cdot (E_{ref}/4) + E_{ref}/8 \\ \text{ta có } B_3 &= 1 \end{aligned}$$



31

A/D tích hợp 1 sườn xung theo nhanh kí hiến nhanh

\rightarrow thời gian

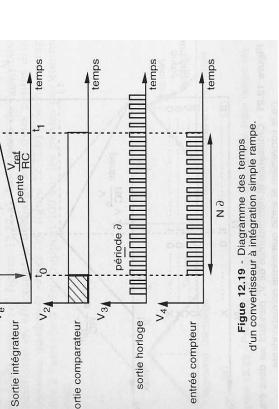


Figure 12.19 - Diagramme des temps d'un convertisseur à intégration simple rampe.

Với bộ A/D 8 bit, đồng hồ nhịp 1MHz, thời gian biến đổi là bao nhiêu ???

29

- A/D 8 bits \rightarrow 255 xung
- Đồng hồ 1 MHz \rightarrow thời gian chuyển đổi 255 μ s

30

§4.10. Các loại hiện thị số

- Đèn LED (Light Emitter Diode)
- Đèn LCD
- Đèn phóng điện và Plasma

35

Loại kiểu mã hoá song song:

- AD 7821;

- 8 bit

- thời gian chuyển đổi: 660ns

- Tốc độ lấy mẫu: 1MHz

- Có dấu

Loại xấp xỉ liên tiếp

- AD571

- 12 bit

- thời gian chuyển đổi: 10µs

- Điện áp định mức: 5V

- Hỗ ADC: 0800; 0804; 0808; 0816, ...

Loại đếm xung

- Hệ chuyển đổi mã BCD: ICL 7106; 7107; MC 14 433 (motorola)

- Hệ chuyển đổi mã nhị phân: ICL 7109

Loại Delta-Sigma

- AD 7721; 7726

Xem thêm tài liệu
tham khảo



33

Đèn LED (Light-emitting Diod)

• Nguyên lý dựa trên hiện tượng phát quang của lớp chuyển tiếp p-n

Khi dòng điện chạy qua, điện tử tự do chuyển từ mức năng lượng này sang mức năng lượng khác. Khi chuyển về từ mức năng lượng cao xuống mức năng lượng thấp, phát ra ánh sáng phụ thuộc vào hiệu năng giữa các mức năng lượng

- Ví dụ

- GaAS (Gallium arsenide) mức năng lượng 1.37eV ánh sáng Đỏ
- GaP(gallium Phosphoride) mức năng lượng 2.25eV xanh lá cây

• Dòng cung cấp cho đèn thường 20mA

• Loại đèn tổ chức 7 thanh: Loại cathod chung và Anod chung

Ví dụ

• ADC 8 bit có điện áp đầu vào là 5V

• Tính giá trị của N khi điện áp vào là 4V, biểu diễn con số này dưới dạng mã nhị phân

• Ngược lại tính điện áp đầu vào khi nhận được giá trị N=250

36

34

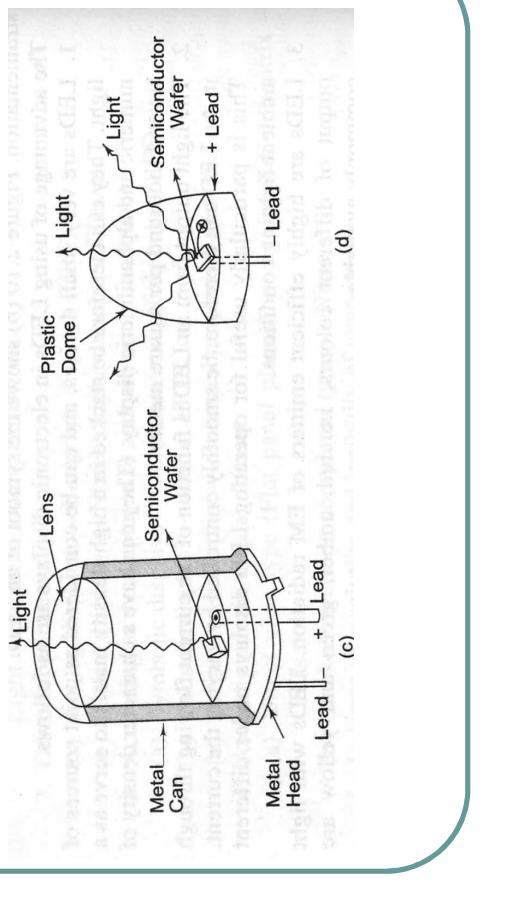
Ví dụ đặc tính kỹ thuật của một đèn LED

Đặc tính kỹ thuật của đèn FND 357/376 –anod chung

Ký hiệu	Đặc tính kỹ thuật	MIN	TYP	MAX	Đơn vị	Trạng thái thử nghiệm
V_F	điện áp thuận		1.7	2.0	V	$I_F = 20mA$
BV_R	Điện áp đập tắt ngược	3.0	12		V	$I_R = 1.0mA$
I_0	cường độ ánh sáng theo trực Nối mới thanh FND350, 367 FND360, 367	240	450		μcd	$I_F = 20mA$
ΔI_0	cường độ ánh sáng theo chiều dọc, thanh đèn thanh (theo chủ thích3) cường độ ánh sáng dọc một thanh	590	900		%	$I_F = 20mA$ cho mọi thanh cùng một lực
I_0	Độ rọi của các thanh FND350, 357 FND360, 367		26		fl.	$I_F = 20mA$
$\theta_{1/2}$	Độ rộng của ánh sáng Góc nhín		52			
$\lambda_{0.5}$	Bước sóng cường độ sáng cực đại		±27		độ	
			665		nm	$I_F = 20mA$

39

Đèn LED



37

Đèn LCD (Liquid Crystal Dipslay)

- Nguyên lý: Dựa vào hiện tượng ánh sáng truyền trong môi trường(dạng vật liệu hữu cơ - dạng tinh thể lỏng), Các phân tử của tinh thể lỏng có dạng hình trụ cho phép ánh sáng truyền qua dọc theo phần tử (theo một hướng xác định)

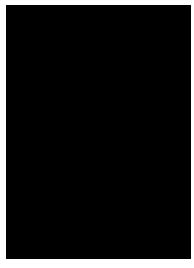


- $E=0$ $E>E_C$ $E>>E_C$
- Sử dụng điện áp xoay chiều 25Hz đến 1kHz



Đèn LED 7 thanh

- Cấu tạo
- VD:



40

1. Phương pháp biến đổi trực tiếp:

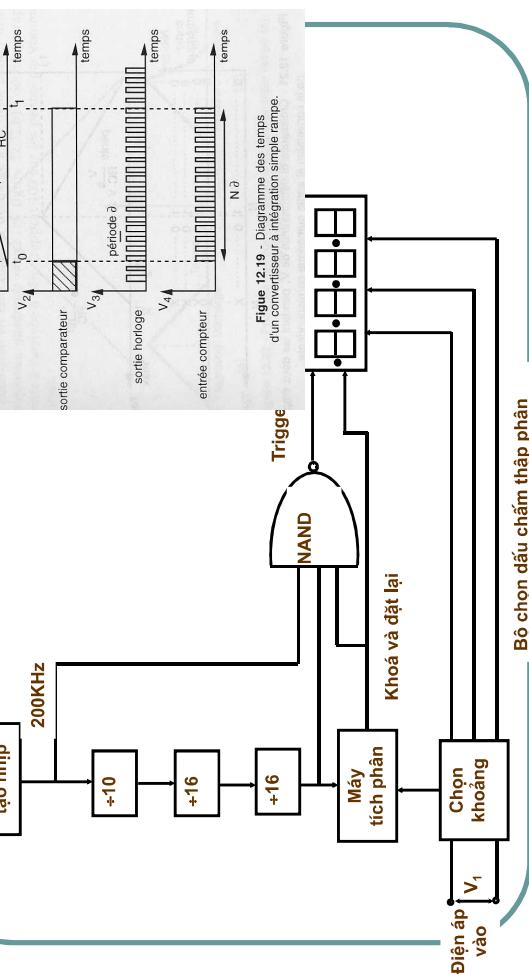


Figure 12.19 - Diagramme des temps d'un convertisseur à intégration simple temps.



43

- Máy tạo nhịp có tần số 200KHz được chia bởi một máy đếm thập phân và hai máy đếm chia 16, cho mỗi lần số xấp xỉ 78Hz để làm xung điều khiển mạch tích phân.

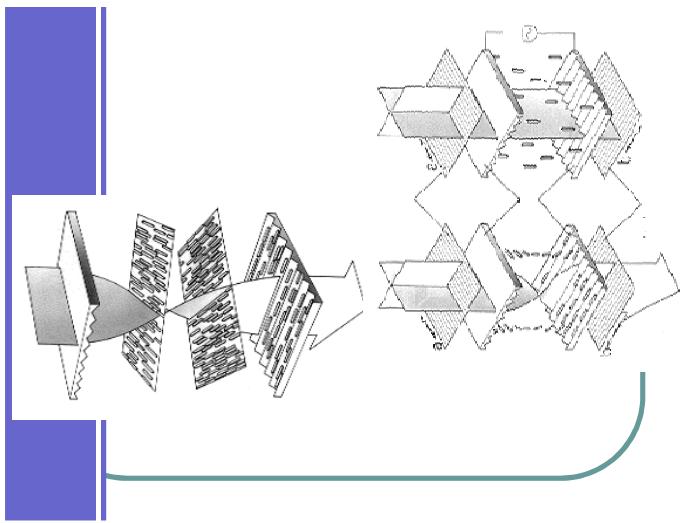
Tín hiệu vào mạch NAND gồm xung nhịp, xung điều khiển và đầu ra của mạch tích phân.

- Xung nhịp 200KHz tác động như tín hiệu khởi động mạch đếm khi 2 đầu vào tới cửa NAND là cao. Điều này xảy ra trong thời gian t_1 .
- Đầu ra của bộ đếm được sử dụng để điều khiển mạch đếm và mạch khóa. Các mạch đếm được điều chỉnh lại lúc bắt đầu khoảng thời gian t_1 . Việc đếm bắt đầu lại ở khoảng thời gian t_2 . Mạch khóa được chuyển sang đóng ở cuối t_2 để điều chỉnh các bộ hiện số theo các mạch đếm.

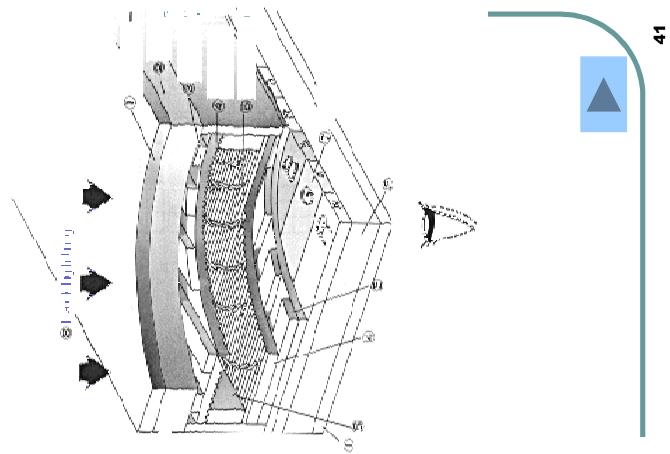
- Bộ chọn khoảng đo được điều chỉnh để thích hợp với điện áp vào.

§4.11. Tổ chức Voltmét số

- ✓ Phương pháp biến đổi trực tiếp
- ✓ Phương pháp lượng tử
- ✓ Phương pháp điều chế độ rộng xung
- ✓ Phương pháp biến đổi áp thời gian

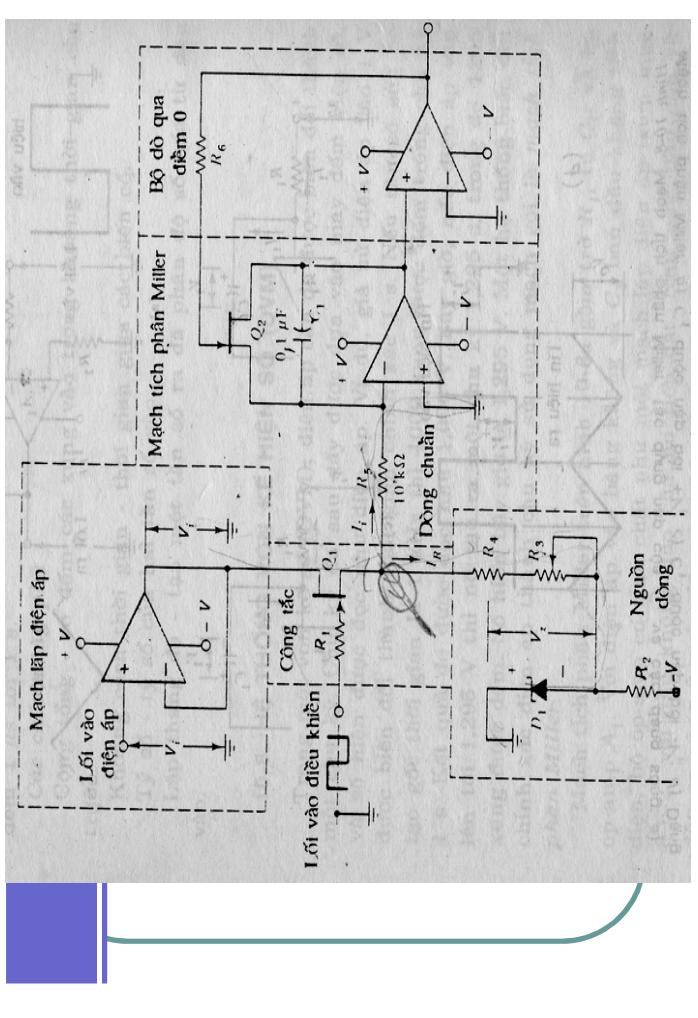


41



42

44



- Lối vào điều khiển là các xung vuông tới Q₁ điều khiển
khoảng thời gian I_i tới R₅ và I_R ra khỏi R₅ (I_i là dòng nạp, I_R là
dòng phóng C₁).
- Nếu xung điều khiển vào âm, Q₁ ngắt và V_i bị cách ly. Do
có nguồn dòng, trong thời gian Q₁ ngắt dòng chuẩn I_R qua R₅
sẽ là:

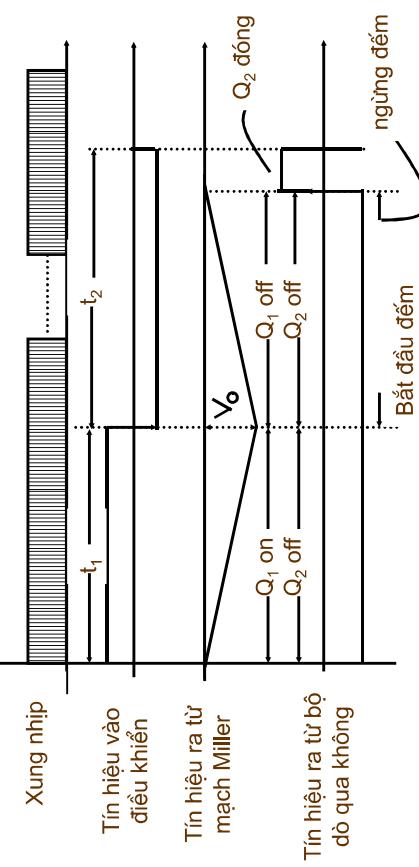
$$I_R = -\frac{V_Z}{R_3 + R_4 + R_5}$$

- I_R có xu hướng nạp điện dương ở bản bên phải. Đầu ra của
bộ tích phân Miller ở cuối chu kỳ âm tăng tới mức đất → bộ dò
qua không sẽ có tín hiệu ra là một mức dương lớn làm Q₂
đóng → ngắn mạch C₁. Khi C₁ ngắn mạch thì đầu ra của Miller
luôn được giữ gần với mức đất.

47

- Điện áp cần đo (V_i) được đưa vào mạch lặp điện áp tạo ra trở
kháng vào cao.
- Nguồn dòng chính xác được mắc vào đầu vào của mạch tích
phân Miller
- Mức ra của mạch tích phân được giám sát bởi bộ dò qua không
(zero crossing detector) có độ khuếch đại cao, điều khiển FET Q₂.
- Bộ dò qua không có đầu ra dương lớn được tạo ra khi tín hiệu vào
chỉ hơi vượt mức đất và có đầu ra âm lớn xuất hiện khi đầu vào ở
dưới mức đất.
- Khi đầu ra của bộ dò qua không là cao, Q₂ thông → C₁ ngắn
mạch. Khi bộ dò qua không có đầu ra thấp, Q₂ ngắt → C₁ được nạp

48



48

- Khi xung điều khiển dương $\rightarrow Q_1$ đóng $\rightarrow V_I$ được nối với R_5 tạo thành dòng vào lì $= V_I/R_5$.
 - C_1 được tích điện và tạo ra một tín hiệu ra theo chiều âm của mạch Miller. Do đó bộ đếm qua không có đầu ra âm $\rightarrow Q_2$ ngắt \rightarrow cho phép C_1 nạp điện.
 - Đầu ra của bộ tích phân Miller là một xung răng cưa âm tuyến tính. Biên độ xung răng cưa tỉ lệ thuận với V_I .
 - Khi xung điều khiển âm thì Q_1 ngắt \rightarrow dòng chuẩn qua R_5 và C_1 . Trở lại chu kỳ đầu.
 - Thời gian t_2 để xung răng cưa lên đến mức không tỉ lệ thuận với V_I .
 - t_2 : bắt đầu đếm ở suôn xuống của tín hiệu vào điều khiển, ngừng đếm ở suôn lên của bộ đếm không.

$$I_R = \frac{V_0 C_1}{t_2} = \frac{6,4 \text{ V} \times 0,1 \mu\text{F}}{5 \text{ ms}} = 128 \text{ } \mu\text{A}$$

49

VD: Xung điều khiển có mỗi nửa chu kỳ tương đương với 1280 xung đồng hồ. Tần số xung đồng hồ 200KHz. Nếu 1000 xung trong thời gian t2 phải biểu diễn đầu vào $V_i = 1V$. Hãy xác định mức dòng chuẩn cần thiết.

Để tính thời gian ngắn nhất để dòng điện I_i đạt 1V ta có:

$$I_i = \frac{V_i}{R_5}; V_i = 1V$$

$$I_i = \frac{1V}{10k\Omega} = 100\mu A$$

$$C = \frac{It}{V}$$

$$C = \left(u = \frac{1}{C} \int idt \right)$$

$$V_0 = \frac{I_1 t_1}{C_1} = \frac{100\mu A \times 6,4ms}{0,1\mu F} = 6,4V$$

$$\frac{1}{f_{chuan}} = \frac{1}{200} = 5\mu s$$

$$t_1 = 1280 \times 5\mu s = 6,4ms$$

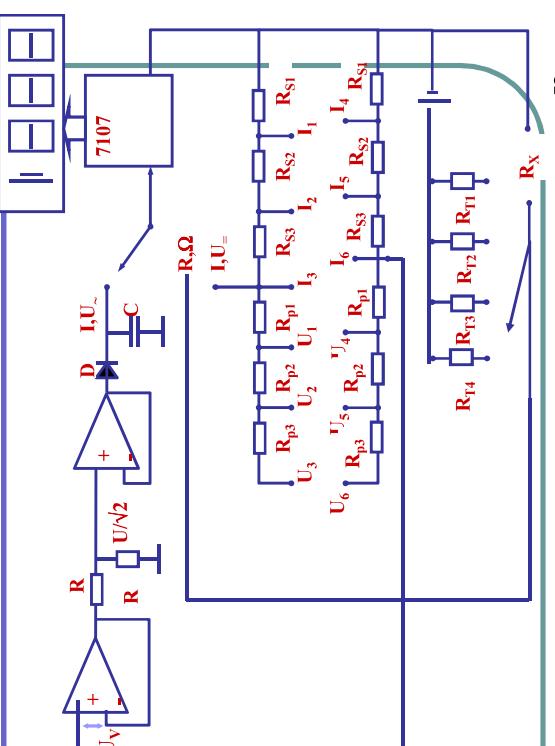
८

Nếu t_2 thời gian của 1000 xung : $t_2 = 1000 \times 5\mu s = 5ms$
 I_R là dòng phóng của C_1 trong thời gian t_2 :

$$I_R = \frac{V_0 C_1}{t_2} = \frac{6,4 \text{ V} \times 0,1 \mu\text{F}}{5 \text{ ms}} = 128 \text{ } \mu\text{A}$$

51

2. Volmét bằng phương pháp lượng tử



- Sử dụng ADC
 - Ví dụ ADC ICL7107
 - Có hai chế độ làm việc với điện áp chuẩn đầu vào $V_{REF} = 1V/100mV$
 - Số hiện thị $N = 1000V_{IN}/V_{REF}$

3. Ví dụ về mạch lấy rms thực

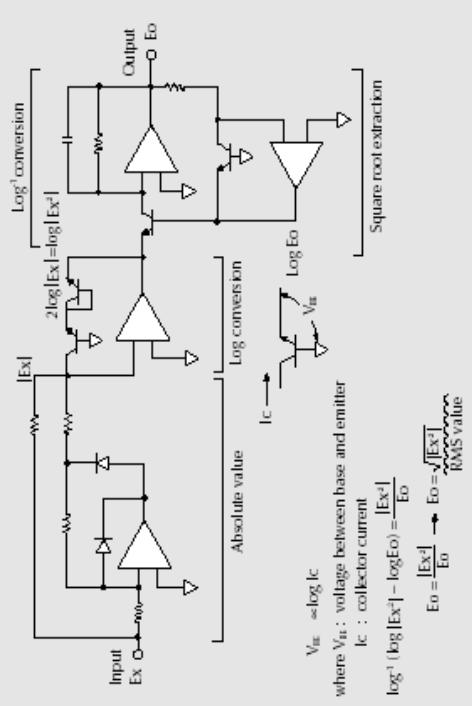


Fig. 6 RMS Value Conversion by Log-Antilog System

55

Tính toán điện trở đo dòng

$$\begin{aligned} & \text{Thang điện áp nhỏ nhất là } 200\text{mV} \\ & R_{1S} I_1 = 200\text{mV} \quad \rightarrow \quad R_{1P} = 0,1 \Omega \\ & (R_{2S} + R_{1S})I_2 = 200\text{mV} ; \quad \text{suy ra } R_{2S} = 0,9\Omega \\ & \text{Tương tự } R_{3S} = 9\Omega \dots \end{aligned}$$

$$I_1 = 20000\text{mA}; I_2 = 200\text{mA}; I_3 = 20\text{mA}$$

53

Tính toán điện trở phụ cho phần đo điện áp

$$\begin{aligned} & R_{1P} \cdot I = U_1 \quad \rightarrow \quad R_{1P} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{200\text{mV}}{2\mu\text{A}} = 0\Omega \\ & (R_{1P} + R_{2P}) = \frac{U_2}{2\mu\text{A}} = \frac{2\text{V}}{2\mu\text{A}} = 10^6 \Omega \quad \rightarrow \quad R_{2P} = 10^6 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tương tự:} \\ & R_{3P} = 90.10^5 \Omega; R_{4P} = 900.10^5 \Omega \end{aligned}$$

Chú ý: Dòng điện nhỏ nhất là $2\mu\text{A}$
 $U_1 = 200\text{mV}; U_2 = 2000\text{mV}; U_3 = 20\text{V}$

54

$$U_x = \frac{C(N_2 - N_1)}{(N_3 - N_1)}$$

- Nguyên lý: Theo nguyên tắc

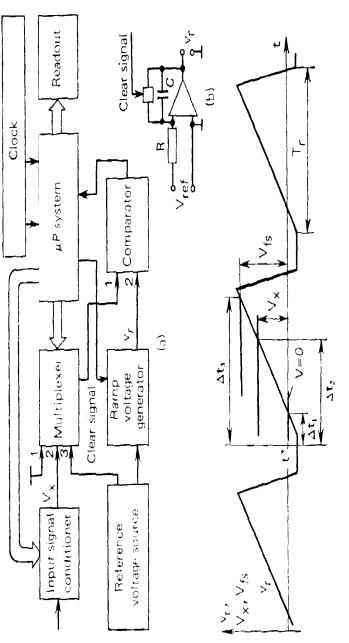


Fig. ...

56