

- 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 tổn 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.

3

## Bài giảng

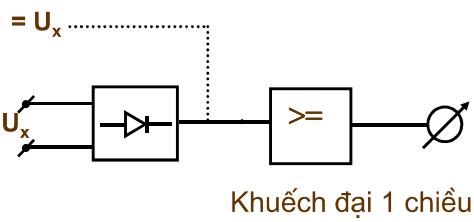
### Kỹ thuật đo lường

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

Hà nội 09/2010

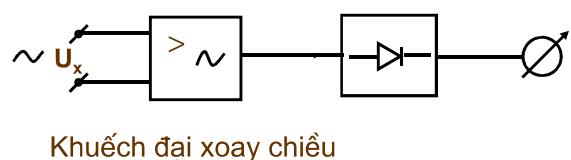
1

#### Sơ đồ khái bản của V mét điện tử



Dạng chỉ thị ???

Cơ cấu từ  
điện



Khuếch đại xoay chiều

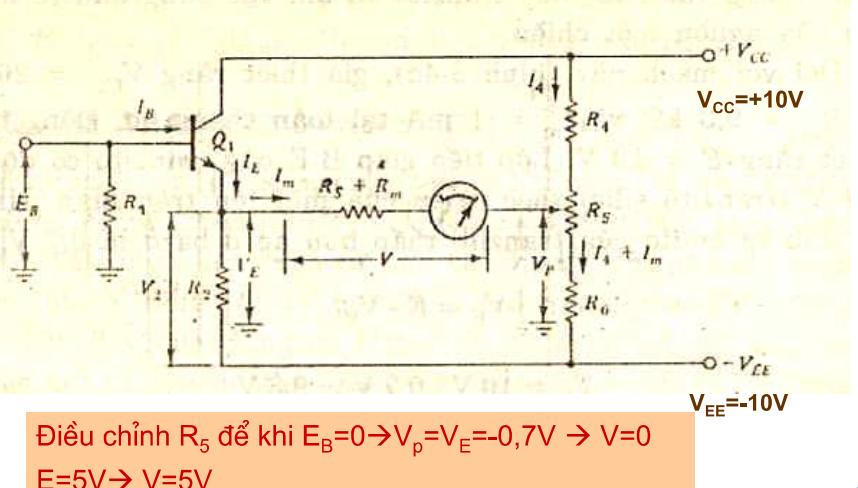
4

#### G. Volmet điện tử

- 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 → 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.
- Phần 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.

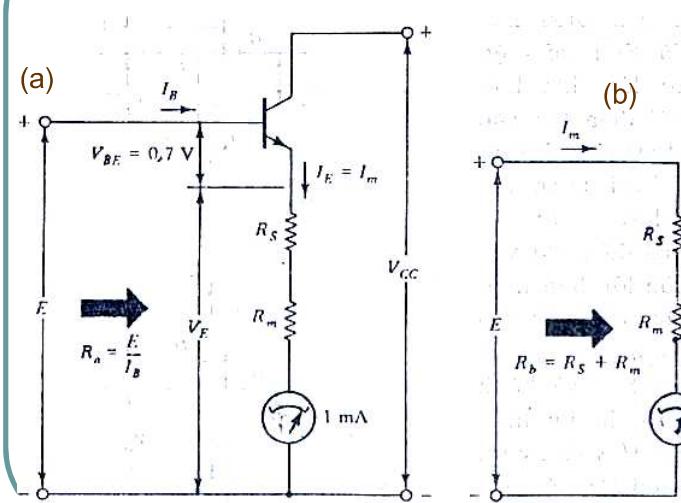
2

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



7

▪ Ví dụ Volmet điện tử mạch gánh Emmitor (a)



Nhận xét ưu  
điểm của sơ đồ  
(a) so với (b) ?

So sánh  
điện trở  
vào của  
hai cơ cấu

$$\begin{aligned} E &= 10V; T \text{ silic} \\ V_{CC} &= 20V \\ R_s + R_m &= 9,3 k\Omega \\ I_m &= 1 \text{ mA toàn thang}, k=100 \end{aligned}$$

5

Ví dụ mạch Vonmet điện tử khuếch đại một chiều dùng IC

$$U_{ra} = I_m (R_s + R_m)$$

Hệ số khuếch đại :

$$K = \frac{R_4 + R_3}{R_3}$$

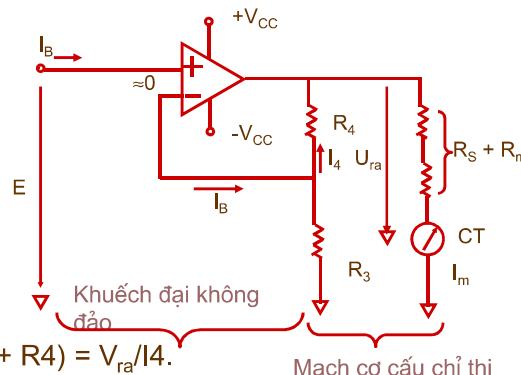
$$\{U_{ra} = I_4 (R_4 + R_3)$$

$$U_{vào} = E = I_4 R_3\}$$

$$\text{Điện trở toàn phần} = (R_3 + R_4) = V_{ra}/I_4.$$

$I_4 \gg I_B \rightarrow I_B$  không ảnh hưởng tới điện áp hồi tiếp.

@@ Ứng dụng thiết kế mạch Amet ???



8

$$V_E = E - V_{BE} = 9,3V$$

$$I_E = V_E/(R_s + R_m) = 1 \text{ mA}$$

$$I_B = I_E/k = 10 \mu\text{A}$$

$$\text{Điện trở vào của Vmet (a)}: R_a = E/I_B = 1 \text{ M}\Omega$$

$$\text{Điện trở vào của Vmet (b)}: R_b = E/I_B = 10V/1mA = 10k\Omega$$

➡ Điện trở vào tăng → Hiệu ứng tản gián đi đáng kể.

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

@@ Sai số gây ra do độ sụt  
áp B-E

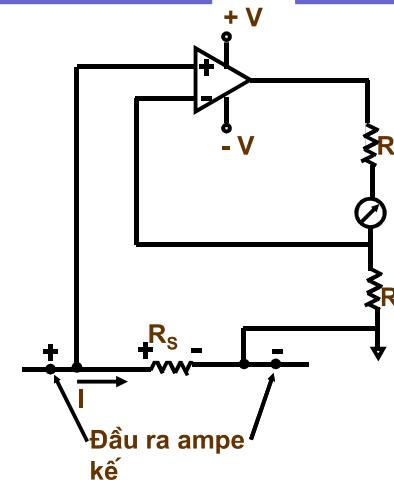
VD:  $E=5V \rightarrow I_E=0,46 \text{ mA}$  thay  
vì  $I_E=0,5 \text{ mA}$

6

3030-10 HiTESTER  
Field Measuring Instruments



11



Ampe kế điện tử đo dòng rất nhỏ

9

- Độ sụt 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.

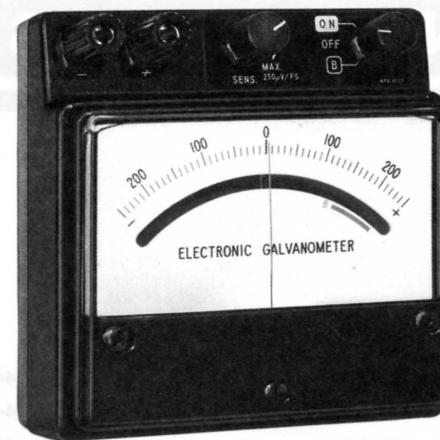
- Đối với dòng trung bình hoặc lớn thì không cần sử dụng các bộ khuếch đại điện tử.

- Khoảng đo dòng của ampe kế điện tử nói chung nhỏ, một dụng cụ đo dòng điển hình có khoảng đo dòng một chiều từ  $1.5\mu A$  đến  $150mA$ .

Item	Max. scale reading	Tolerance	Notes
DC voltage	0.3/3/12/30/120/300/600V	$\pm 2.5\%$ of full scale	$20 k\Omega$ ( $16.7 k\Omega$ in $0.3 V$ range)
AC voltage	12/30/120/300/600V	$\pm 2.5\%$ of full scale ( $12 V \pm 4\%$ )	$9 k\Omega/V$
DC current	$60\mu A/30/300mA$	$\pm 3\%$ of full scale	Internal voltage drop $300 mV$
Resistance	$3k/30k/300k/3M\Omega$	$\pm 3\%$ of scale length	Internal voltage $3 V$
Temperature scale	$-50 - 150^\circ C$	$\pm 3\%$ of scale length	With optional temperature measurement probes
Battery check	$0.9 - 1.8V$	$\pm 6\%$ of scale length	Load resistance $10 \Omega$
LED check	Yes		
Safety standards	IEC 61010, CAT III 600V		
Batteries	R6P/AA $\times 2$		
Dimensions	$95(W) \times 141(H) \times 39(D)$ , approx. 280g		
Accessories	9207 Test Leads (1 set); 9390 Carrying Case (1)		

12

## Thiết bị Galvanomet



10

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

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:

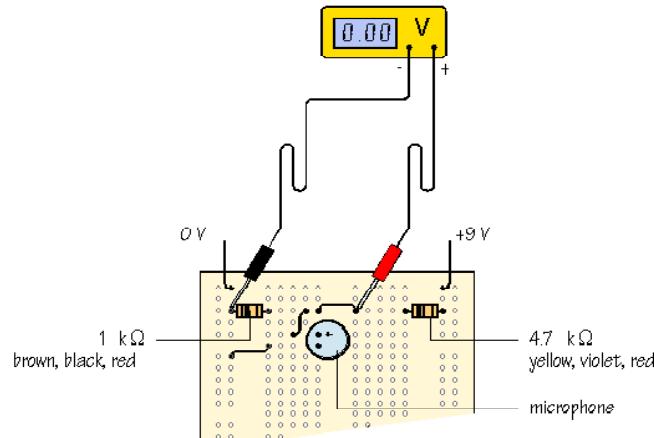
$$N_{\text{thập phân}} = a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0$$

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

## Đo như thế nào?



13

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

$$V = q \cdot N_{\text{thập phân}}$$

volt volt số thập phân

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

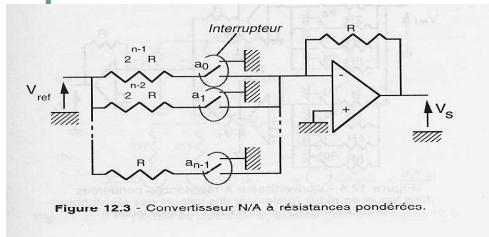
## B. Multimét số

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



14

## D/A điện trở trọng lượng



D/A 4 bits

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

19

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

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

$$V_s = -\frac{V_{\text{ref}}}{2^{n-1}} \left[ a_{n-1} 2^{n-1} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0 \right]$$

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

## 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:

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

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

- Tín hiệu ra tương tự có thể nhận  $2^N$  giá trị khác nhau

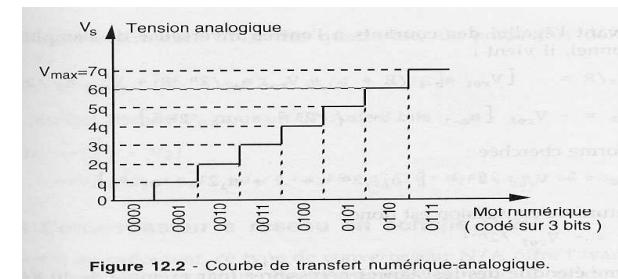
$$V_s = i \cdot q \quad \text{với } 0 \leq i \leq 2^N - 1, i \text{ nguyê } n$$

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  $V_{s\max}$
- 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  $[0 - V_{s\max}]$  hoặc  $[-V_{s\max} - V_{s\max}]$
- Giá trị điện áp vào theo chuẩn TTL hoặc CMOS

20

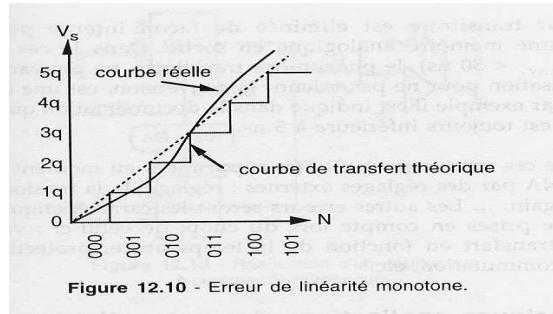


Thực tế thường sử dụng các bộ D/A có cấu trúc song song :

- D/A điện trở trọng lượng
- D/A lưới điện trở R-2R

18

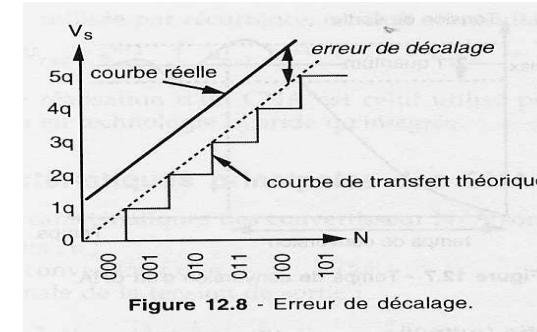
### Sai số phi tuyến



23

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

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



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 tương tự sang mã nhị phân theo quan hệ:

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

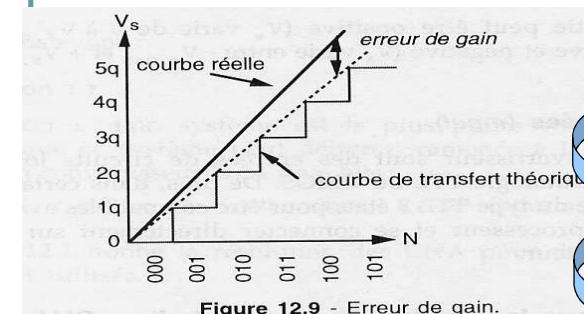
Nếu giữ giá trị điện áp vào cực đại và số bit N của bộ chuyển đổi không thay đổi, có thể tính được bước lượng tử q:

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

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

24

#### 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



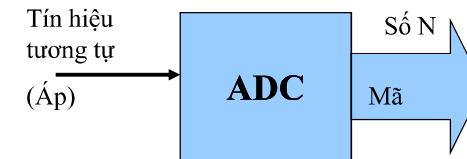
Phải thường xuyên kiểm tra đặc tính của D/A



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

22

## Chuyển đổi tương tự số ADC



- Ví dụ

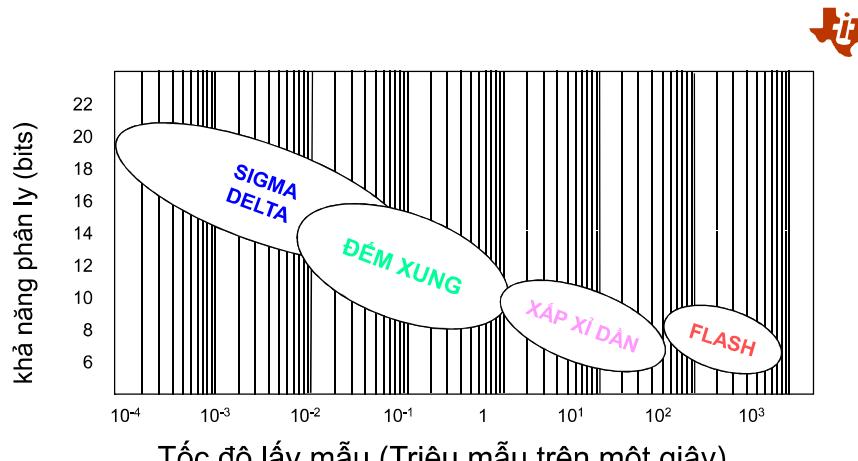
Số nhị phân  $N$  sẽ được mô tả bằng số bit (hoặc số)  $a_0$  đến  $a_{n-1}$  ( $a_i=1$  hoặc  $0$ )  
 $N = a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0$

Số thập phân tương ứng:

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

25

## Nguyên lý kỹ thuật của các chuyển đổi



28

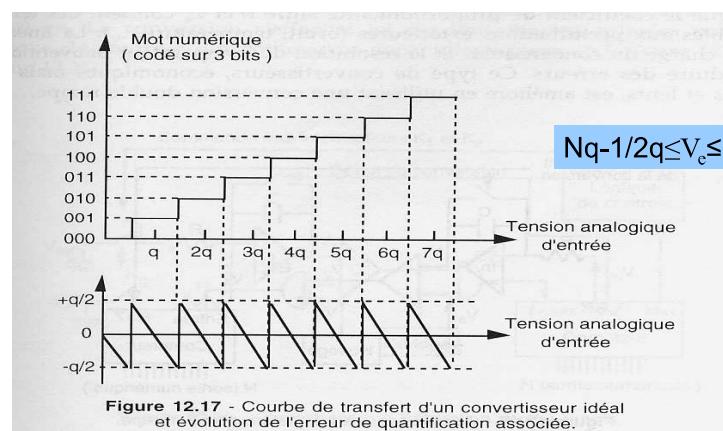
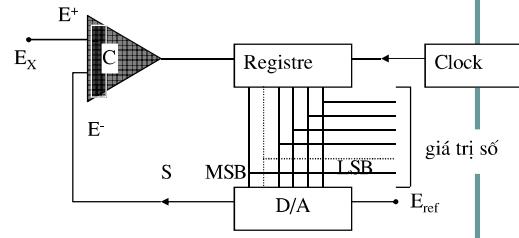
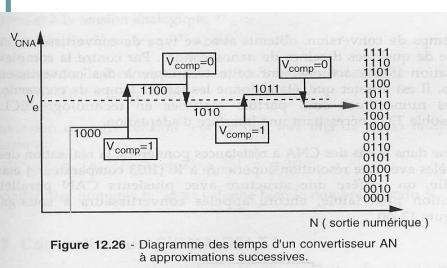


Figure 12.17 - Courbe de transfert d'un convertisseur idéal et évolution de l'erreur de quantification associée.

26

### A/D sử dụng D/A



$$V_e > V_{DA} \Leftrightarrow V_{comp} = 1$$

$$V_e < V_{DA} \Leftrightarrow V_{comp} = 0$$

Thuật toán ra mẫu/so sánh

31

### Bộ chuyển đổi ADC theo nguyên lý xấp xỉ liên tiếp

Bước 1:  $E_x$  so với  $E_{ref}/2$

$$E_x > E_{ref}/2 \rightarrow B_1 = 1;$$

Bước 2:  $E_x$  so với  $B_1 \cdot (E_{ref}/2) + E_{ref}/4$

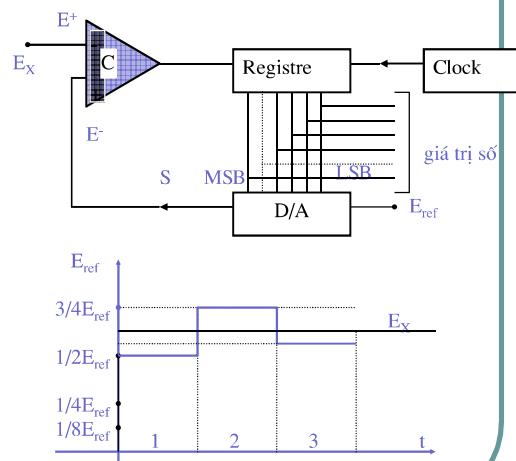
$$E_x < B_1 \cdot (E_{ref}/2) + E_{ref}/4 \rightarrow B_2 = 0$$

Bước 3:

$E_x$  so với  $B_1 \cdot (E_{ref}/2) + B_2(E_{ref}/4) + E_{ref}/8$

$$E_x > B_1 \cdot (E_{ref}/2) + B_2(E_{ref}/4) + E_{ref}/8$$

ta có  $B_3 = 1$



32

### A/D tích hợp 1 sườn xung theo nguyên lý biến đổi điện áp → thời gian

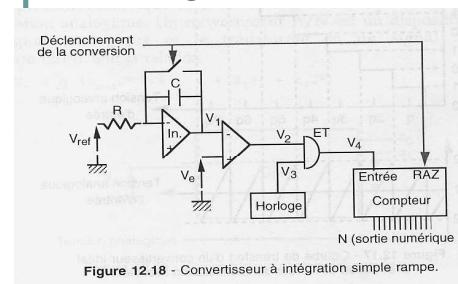
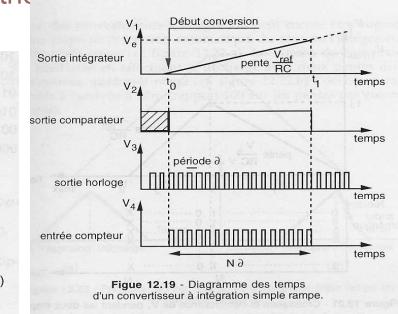


Figure 12.18 - Convertisseur à intégration simple rampe.



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

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

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  $255 \mu s$

30

## §4.10. Các loại hiện thị số

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

35

### Đèn LED (Light-emitting Diode)

- Nguyên lý dựa trên hiện tượng phát quang của lớp chuyển tiếp pn
  - 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 (Galium arsenide) mức năng lượng 1.37eV ánh sáng Đỏ
    - GaP (galium Phosphide) 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

36

- 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
  - Hỗ chuyển đổi mã BCD: ICL 7106; 7107; MC 14433 (motorola)
  - Hỗ chuyển đổi mã nhị phân: ICL 7109
- Loại Delta-Sigma
  - AD 7721; 7726



Xem thêm tài liệu  
tham khảo

33

### 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

34

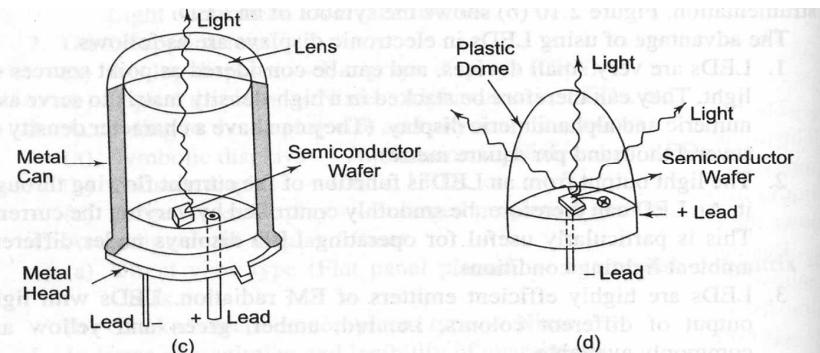
## Ví dụ đặc tính kỹ thuật của một đèn LED

### 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 đảo tắt ngược	3.0	12		V	$I_R = 1.0mA$
$I_0$	cường độ ánh sáng theo trục Mỗi một thanh FND350, 357 FND360, 367	240 590	450 900		$\mu$ cd	$I_F = 20mA$
$\Delta I_0$	cường độ ánh sáng theo chiều dọc, thanh đèn thanh (theo chủ thích)		$\pm 33$ $\pm 20$		%	$I_F = 20mA$ $I_F = 20mA$ cho mọi thanh cùng một lúc
$L_0$	Độ roi của các thanh FND350, 357 FND360, 367		26 52		ftL	$I_F = 20mA$
$\theta_{1/2}$	Góc nhín		$\pm 27$		độ	
$\lambda_{pk}$	Bước sóng cường độ sáng cực đại		665		nm	$I_F = 20mA$

39

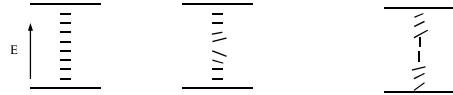
## Đèn LED



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 phân tử (theo một hướng xác định)



$E=0$

$E > E_c$

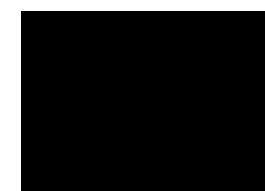
$E >> E_c$

- Sử dụng điện áp xoay chiều 25Hz đến 1kHz

40

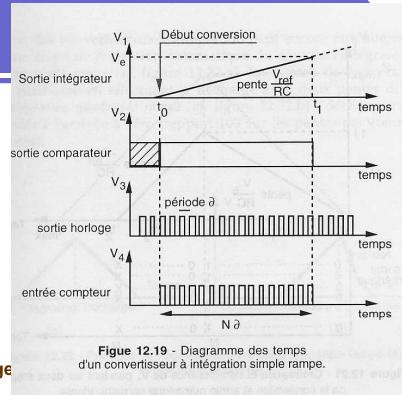
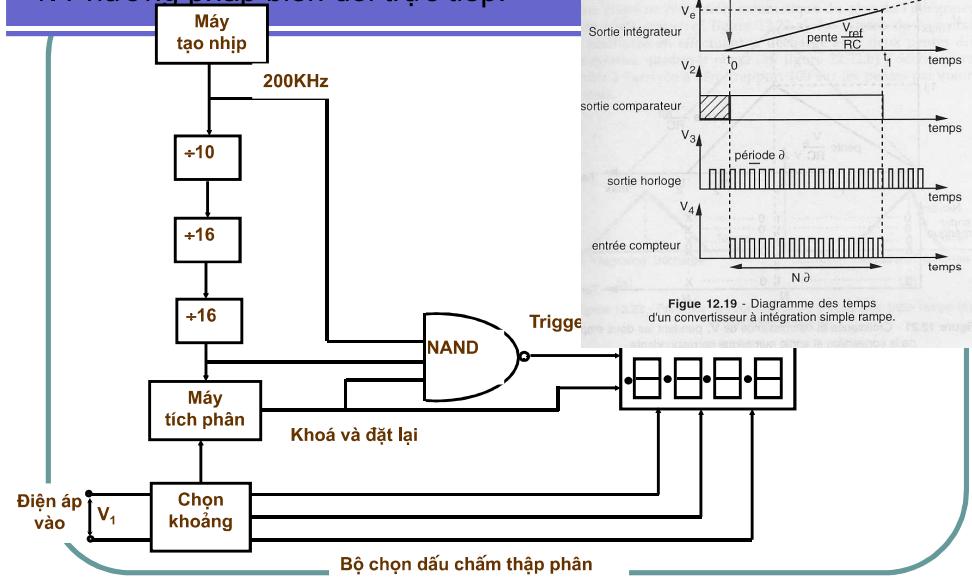
## Đèn LED 7 thanh

- Cấu tạo
- VD:



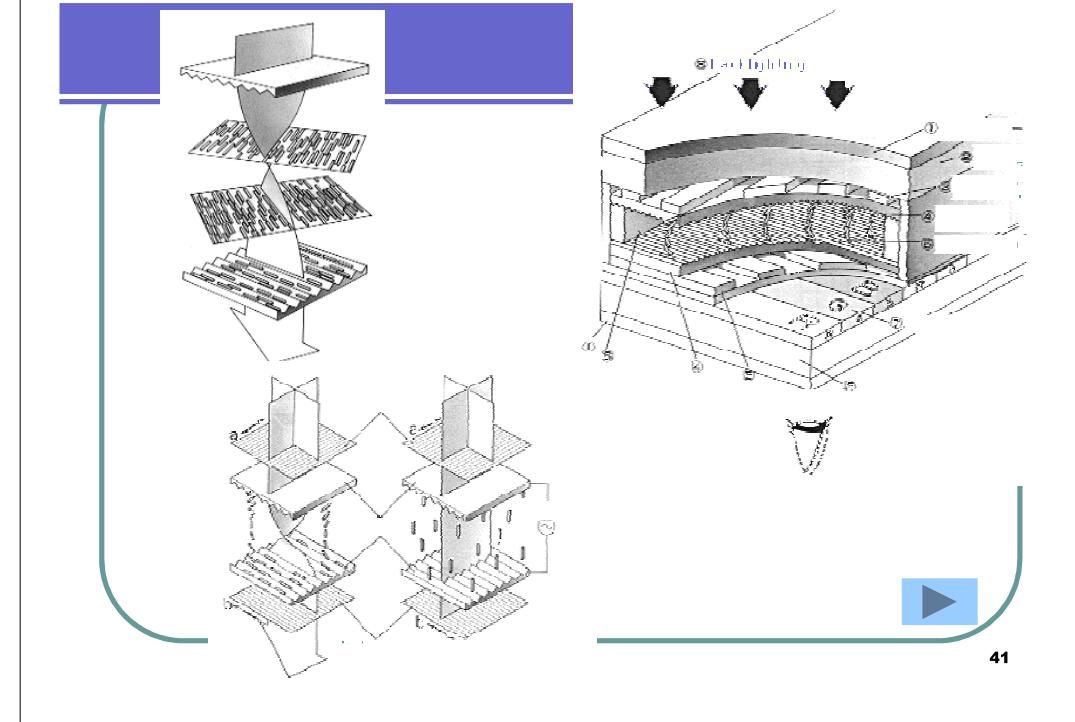
38

## 1. Phương pháp biến đổi trực tiếp:



gramme des temps  
égration simple ramp

43



41

- Máy tạo nhịp có tần số 200KHz được chia bởi một máy đếm thập phân và hai máy đếm chia 16, cho mỗi tần 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  $t_2$ .
  - Đầu ra của bộ dò qua không được sử dụng để điều khiển mạch đếm và mạch khoá. 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 khoá 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 Volmét 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

44

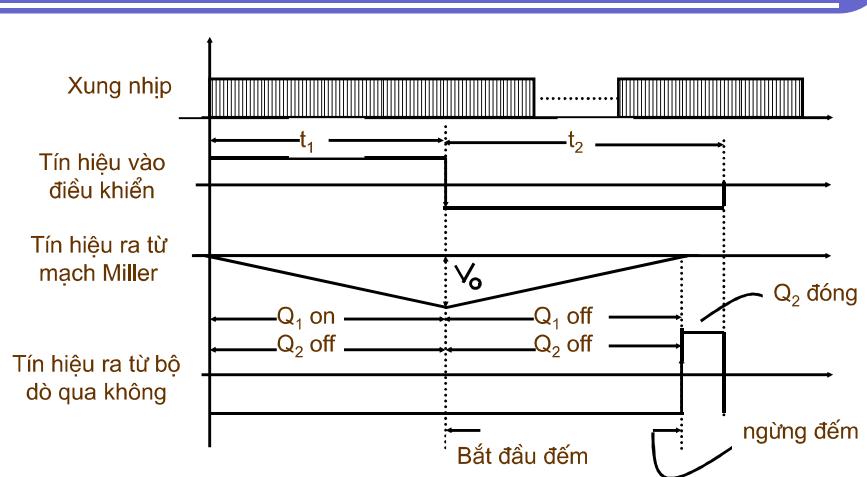
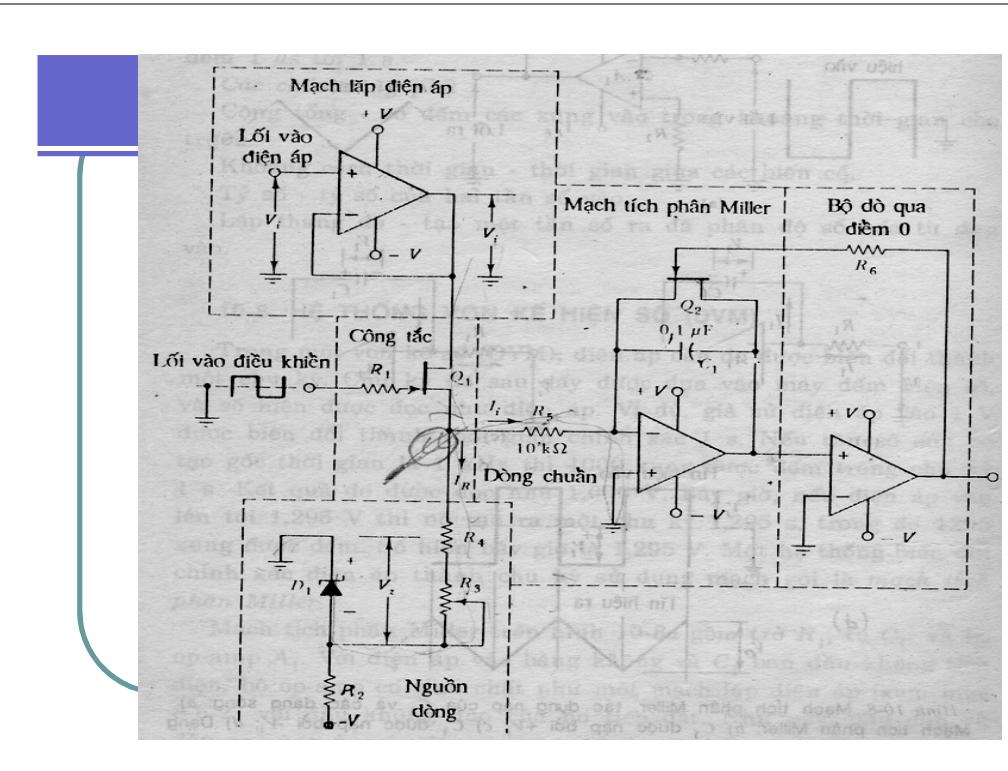
42

- Lối vào điều khiển là các xung vuông tới  $Q_1$  điều khiển khoảng thời gian  $I_i$  tới  $R_5$  và  $I_R$  ra khỏi  $R_5$  ( $I_i$  là dòng nạp,  $I_R$  là dòng phóng  $C_1$ ).
- Nếu xung điều khiển vào âm,  $Q_1$  ngắt và  $V_i$  bị cách ly. Do có nguồn dòng, trong thời gian  $Q_1$  ngắt dòng chuẩn  $I_R$  qua  $R_5$  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  $\rightarrow$  bộ dò qua không sẽ có tín hiệu ra là một mức dương lớn làm  $Q_2$  đóng  $\rightarrow$  ngắn mạch  $C_1$ . Khi  $C_1$  ngắn mạch thì đầu ra của Miller luôn được giữ gần với mức đất.

47



48

- 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  $Q_2$ .
- 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,  $Q_2$  thông  $\rightarrow C_1$  ngắn mạch. Khi bộ dò qua không có đầu ra thấp,  $Q_2$  ngắt  $\rightarrow C_1$  được nạp.

46

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  $t_2$  :

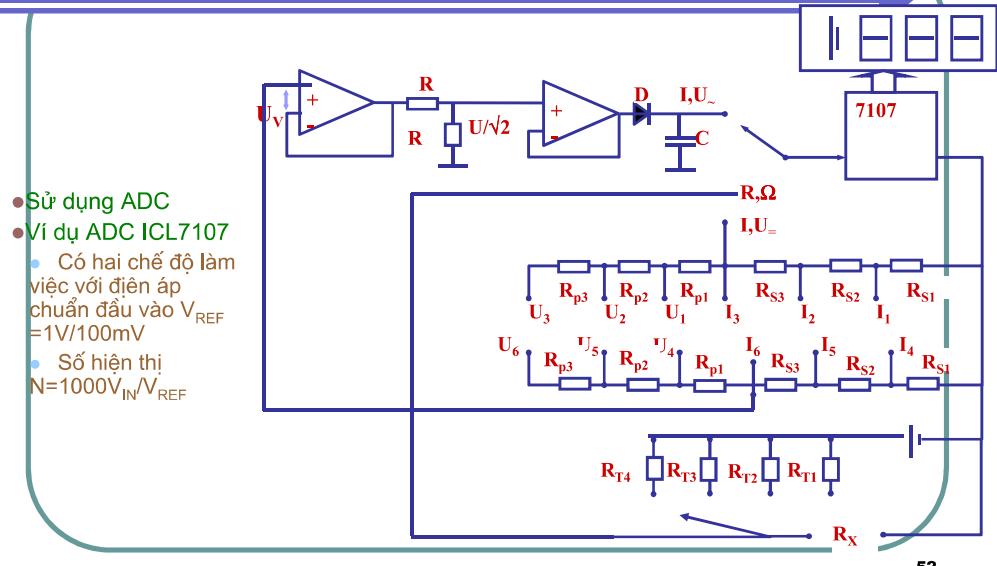
$$I_R = \frac{V_0 C_1}{t_2} = \frac{6,4V \times 0,1\mu F}{5ms} = 128 \mu A$$

51

- Khi xung điều khiển dương →  $Q_1$  đóng →  $V_i$  được nối với  $R_5$  tạo thành dòng vào  $i_l = V_i/R_5$ .
- $C_1$  được tích điện và tạo ra một tín hiệu ra theo chiều âm của mạch Miller. Do đó bộ dò qua không có đầu ra âm →  $Q_2$  ngắt → 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 → 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 sườn xuống của tín hiệu vào điều khiển, ngừng đếm ở sườn lên của bộ dò điểm không.

49

## 2. Voltmeter bằng phương pháp lượng tử



52

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  $t_2$  phải biểu diễn đầu vào  $V_i = 1V$ . Hãy xác định mức dòng chuẩn cần thiết.

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

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

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

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

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

50

### 3. Ví dụ về mạch lấy rms thực

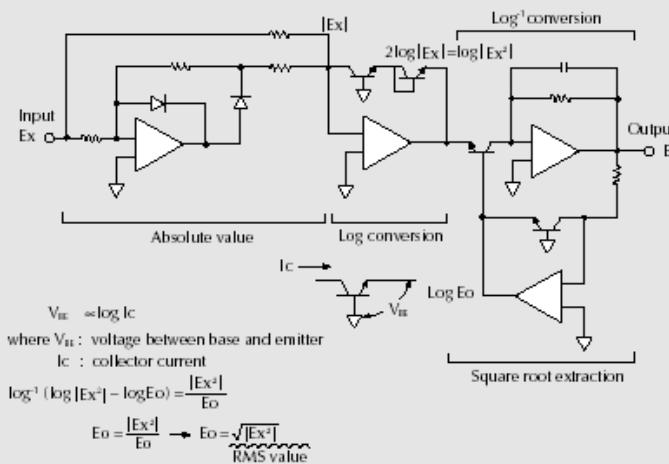


Fig. 6 RMS Value Conversion by Log-Antilog System

55

### Tính toán điện trở đo dòng

Thang điện áp nhỏ nhất là 200mV

$$R_{1S} I_1 = 200\text{mV} \quad \Rightarrow \quad R_{1S} = 0.1 \Omega$$

$$(R_{2S} + R_{1S}) I_2 = 200\text{mV}; \quad \text{suy ra } R_{2S} = 0.9 \Omega$$

Tương tự  $R_{3S} = 9\Omega \dots$

$$I_1 = 2000\text{mA}; I_2 = 200\text{mA}; I_3 = 20\text{mA}$$

53

### • Nguyên lý: Theo nguyên tắc

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

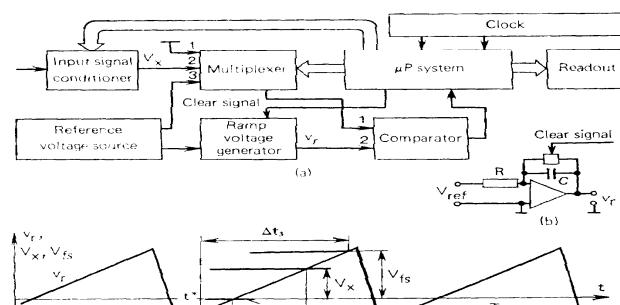


Fig. ...

56

### Tính toán điện trở phụ cho phần đo điện áp

$$R_{1P} \cdot I = U_1 \quad \Rightarrow \quad R_{1P} = \frac{U_1}{I} = \frac{200\text{mV} - 200\text{mV}}{2\mu\text{A}} = 0\Omega$$

$$(R_{1P} + R_{2P}) = \frac{U_2}{I} = \frac{2\text{V}}{2\mu\text{A}} = 10^6 \Omega \quad \Rightarrow \quad R_{2P} = 10^6 \Omega$$

Tương tự:

$$R_{3P} = 90 \cdot 10^5 \Omega; R_{4P} = 900 \cdot 10^5 \Omega$$

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