

Trường ĐH GIAO THÔNG VẬN TẢI
Khoa Điện – Điện tử
Bộ môn Kỹ thuật điện tử

2013

Bài giảng

KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG



Ths. PHẠM THANH HUYỀN
Ths. ĐỖ VIỆT HÀ

Bài giảng Kỹ thuật đo lường được biên soạn để phục vụ giảng dạy học phần **“KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG”** cho các ngành: Kỹ thuật điều khiển và tự động hoá, Kỹ thuật Điện tử- truyền thông, Kỹ thuật Điện –Điện tử.

Học phần Kỹ thuật đo lường gồm 2 tín chỉ với 24 tiết lý thuyết và 12 tiết bài tập. Nội dung lý thuyết được chia thành 4 chương như sau:

- ✓ Chương 1: TỔNG QUAN CHUNG VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG
- ✓ Chương 2: CẤU TRÚC CƠ BẢN VÀ CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG CỦA DỤNG CỤ ĐO
- ✓ Chương 3: ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN
- ✓ Chương 4: THIẾT BỊ ĐO LƯỜNG VÀ ỨNG DỤNG

Và phần bài tập.

Các tác giả biên soạn:

- 1. Ths. Phạm Thanh Huyền**
- 2. Ths. Đỗ Việt Hà**

Mặc dù bài giảng này được các tác giả biên soạn rất cẩn thận và nhận được nhiều góp ý của các đồng nghiệp, đặc biệt là Ths. Đỗ Lương Hùng nhưng chắc vẫn còn những thiếu sót. Rất mong nhận được những ý kiến phản hồi của người đọc để hoàn thiện hơn cho lần xuất bản sau.

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1:

TỔNG QUAN CHUNG VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

I. KHÁI NIỆM CƠ BẢN.....	9
1. Định nghĩa.....	9
2. Phân loại phép đo	10
II. CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA KTĐL.....	11
1. Tín hiệu đo và đại lượng đo	11
2. Điều kiện đo	12
3. Đơn vị đo	12
4. Thiết bị đo và phương pháp đo	15
5. Người quan sát	15
6. Kết quả đo	15
III. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO.....	15
1. Phương pháp đo biến đổi thẳng.....	15
2. Phương pháp đo kiểu so sánh.....	16
IV. PHÂN LOẠI THIẾT BỊ ĐO.....	18
1. Mẫu (chuẩn)	18
2. Thiết bị đo lường điện	20
3. Chuyển đổi đo lường	21
4. Hệ thống thông tin đo lường	21
V. ĐỊNH GIÁ SAI SỐ TRONG ĐO LƯỜNG	21
1. Nguyên nhân và phân loại sai số.....	21
2. Quy luật tiêu chuẩn phân bố sai số.....	22
3. Sai số trung bình bình phương và sai số trung bình	24
4. Sự kết hợp của các sai số	24

CHƯƠNG 2:

CẤU TRÚC VÀ CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG CỦA THIẾT BỊ ĐO

I. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA THIẾT BỊ ĐO	26
II. CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ.....	26
1. Cơ cấu chỉ thị cơ điện	27
2. Cơ cấu chỉ thị tự ghi	34
3. Cơ cấu chỉ thị số	37
III. CÁC MẠCH ĐO LƯỜNG VÀ GIA CÔNG TÍN HIỆU	38
1. Mạch tỉ lệ	38

2. Mạch khuếch đại đo lường.....	43
3. Mạch gia công tính toán.....	44
4. Mạch so sánh.....	44
5. Mạch tuyến tính hóa	48
6. Các bộ chuyển đổi tương tự – số A/D và số – tương tự D/A.....	49
IV. CHUYỂN ĐỔI ĐO LƯỜNG SỐ CẤP	51
1. Khái niệm chung.....	51
2. Phân loại các chuyển đổi sơ cấp.....	52
3. Các hiệu ứng được ứng dụng trong các cảm biến tích cực	53

CHƯƠNG 3:

ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN

I. ĐO DÒNG ĐIỆN	56
1. Ampe kế một chiều.....	57
2. Ampe kế xoay chiều	59
II. ĐO ĐIỆN ÁP	62
1. Vôn kế một chiều.....	63
2. Vôn kế xoay chiều	64
3. Vôn kế số	66
4. Điện thế kế (đo điện áp bằng phương pháp so sánh).....	69
5. Vôn kế và Ampe kế điện tử tương tự	72
III. ĐO ĐIỆN TRỞ	75
1. Đo gián tiếp	75
2. Đo điện trở trực tiếp bằng Ôm kế.....	77
IV. ĐO ĐIỆN DUNG VÀ ĐIỆN CẢM	83
1. Cầu xoay chiều đo điện dung	83
2. Cầu xoay chiều đo điện cảm	85
V. ĐO TẦN SỐ	87
1. Khái niệm chung.....	87
2. Tần số kế cộng hưởng điện từ	88
3. Tần số kế điện từ	89
4. Tần số kế chỉ thị số.....	89
5. Tần số kế cộng hưởng điện từ	90

CHƯƠNG 4:

THIẾT BỊ ĐO LƯỜNG VÀ ỨNG DỤNG

I. GIỚI THIỆU CHUNG	92
II. ĐỒNG HỒ VẠN NĂNG	93
1. Đồng hồ vạn năng tương tự.....	93
2. Đồng hồ vạn năng số	94
III. MÁY HIỆN SÓNG	96
1. Máy hiện sóng tương tự.....	97
2. Ứng dụng của máy hiện sóng trong kỹ thuật đo lường điện tử.....	100
TÀI LIỆU THAM KHẢO:	108

CHƯƠNG 1:

TỔNG QUAN CHUNG VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

Lý thuyết: 3 tiết Bài tập: 2 tiết

Mục tiêu chính của chương này là cung cấp kiến thức về:

- Các khái niệm cơ bản trong đo lường
- Các phương pháp đo
- Khái niệm chuẩn và truyền chuẩn
- Đánh giá sai số trong kết quả đo

I. KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1. Định nghĩa

a. Đo lường

Theo Điều 1 - PHÁP LỆNH CỦA ỦY BAN THƯỜNG VỤ QUỐC HỘI SỐ 16/1999/PL-UBTVQH10 NGÀY 06 THÁNG 10 NĂM 1999 VỀ ĐO LƯỜNG

Đo lường là việc xác định giá trị của đại lượng cần đo.

Chính xác hơn về mặt kỹ thuật ta có thể diễn giải như sau:

Đo lường là việc định lượng độ lớn của đại lượng cần đo, dựa trên việc thiết lập quan hệ giữa đại lượng cần đo và một đại lượng có cùng tính chất vật lý được quy định dùng làm đơn vị đo.

Đo lường là việc so sánh đại lượng cần đo với đơn vị đo để tìm ra tỉ lệ giữa chúng. Độ lớn của đối tượng cần đo được biểu diễn bằng trị số của tỉ lệ nhận được kèm theo đơn vị đo dùng khi so sánh.

Đại lượng nào so sánh được với mẫu hay chuẩn thì mới đo được. Nếu các đại lượng không so sánh được thì phải chuyển đổi về đại lượng so sánh được với mẫu hay chuẩn rồi đo.

Tóm lại: **Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng về đại lượng cần đo để có được kết quả bằng số so với đơn vị đo.**

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng:

$$A = \frac{X}{X_o} \rightarrow X = A.X_o$$

trong đó: A: con số kết quả đo
 X: đại lượng cần đo
 X_o: đơn vị đo

b. Đo lường học

Đo lường học là ngành khoa học chuyên nghiên cứu để đo các đại lượng khác nhau, nghiên cứu mẫu và đơn vị đo.

c. Kỹ thuật đo lường (KTĐL)

KTĐL là ngành kỹ thuật chuyên môn nghiên cứu để áp dụng kết quả của đo lường học vào phục vụ sản xuất và đời sống xã hội.

2. Phân loại phép đo

Phép đo là quá trình thực hiện việc đo lường.

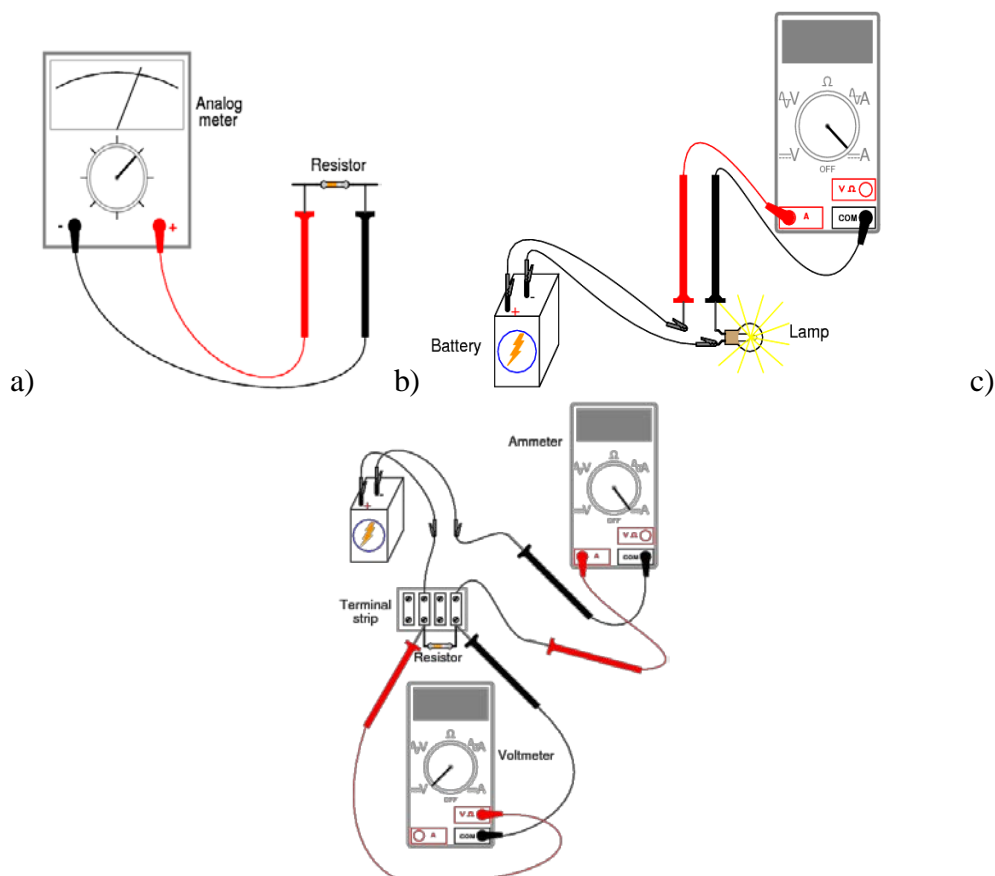
a. Phép đo trực tiếp

Phép đo trực tiếp là phép đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một lần đo duy nhất. Nghĩa là kết quả của phép đo chính là giá trị của đại lượng cần đo mà không phải tính toán thông qua bất kỳ một biểu thức nào.

Nếu không tính đến sai số thì trị số đúng của đại lượng cần đo X sẽ bằng kết quả đo được A .

Cách đo trực tiếp có ưu điểm là đơn giản, nhanh chóng và loại bỏ được sai số do tính toán.

Ví dụ: Ôm kế đo điện trở, Ampe kế đo cường độ dòng điện như trong Hình 1a, b.



Hình 1: a) Dùng Ohm kế đo điện trở, b) Dùng Ampe kế đo cường độ dòng điện và c) Dùng Ampe kế, Vôn kế đo công suất

b. Phép đo gián tiếp

Phép đo gián tiếp là cách đo mà kết quả đo suy ra từ sự phối hợp kết quả của nhiều phép đo dùng cách đo trực tiếp. Nghĩa là, kết quả đo không phải là trị số của đại lượng cần đo, các số liệu cơ sở có được từ các phép đo trực tiếp sẽ được sử dụng để tính ra trị số của đại lượng cần đo thông qua một biểu thức toán học biểu thị sự liên quan giữa các đại lượng này.

$$X = f(A_1, A_2, \dots, A_n)$$

Trong đó $A_1, A_2 \dots A_n$ là kết quả đo của các phép đo trực tiếp.

Ví dụ: để đo công suất (P) có thể sử dụng Vôn kế để đo điện áp (U), Ampe kế đo cường độ dòng điện (I), sau đó sử dụng phương trình: $P = U.I$ ta tính được công suất như minh họa trong Hình 1c.

Cách đo gián tiếp mắc phải nhiều sai số do sai số của các phép đo trực tiếp được tích lũy lại. Thêm nữa, nếu người thực hiện việc đo sử dụng biểu thức toán học phức tạp và không tối ưu thì có thể dẫn tới kết quả đo có sai số rất lớn. Vì vậy cách đo này chỉ nên áp dụng trong các trường hợp không thể dùng dụng cụ đo trực tiếp mà thôi.

c. Phép đo hợp bộ

Phép đo hợp bộ là cách đo mà kết quả đo có được nhờ giải một hệ phương trình với các thông số đã biết trước chính là các số liệu đo được từ các phép đo trực tiếp.

d. Phép đo tương quan

Phép đo tương quan là cách đo được sử dụng trong trường hợp cần đo các quá trình phức tạp mà ở đây không thể thiết lập trực tiếp một quan hệ hàm số nào giữa các đại lượng đo được và đại lượng cần đo.

e. Phép đo thống kê

Phép đo thống kê là cách đo được thực hiện nhiều lần và tính theo xác suất thống kê để tìm giá trị của kết quả đo có độ chính xác nhất có thể. Cách này thường được sử dụng khi muốn kết quả đo có độ chính xác cao, khi đo tín hiệu ngẫu nhiên có biến động lớn hoặc kiểm tra độ chính xác của dụng cụ đo.

II. CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA KTĐL

1. Tín hiệu đo và đại lượng đo

Tín hiệu đo lường là tín hiệu mang thông tin về giá trị của đại lượng đo lường.

Đại lượng đo là thông số xác định quá trình vật lý của tín hiệu đo. Do quá trình vật lý có thể có nhiều thông số nhưng trong mỗi trường hợp cụ thể người ta chỉ quan tâm đến một hoặc một vài thông số nhất định.

Ví dụ: để xác định độ rung có thể xác định thông qua một trong các thông số như: biên độ rung, gia tốc rung, tốc độ rung ...

Có nhiều cách để phân loại đại lượng đo, dưới đây là một số cách thông dụng.

*** Phân loại theo tính chất thay đổi của đại lượng đo:**

Có hai loại đại lượng đo là:

+ Đại lượng đo tiền định là đại lượng đo đã biết trước quy luật thay đổi theo thời gian của chúng.

+ Đại lượng đo ngẫu nhiên là đại lượng đo mà sự thay đổi theo thời gian không theo một quy luật nhất định nào. Nếu ta lấy bất kỳ giá trị nào của tín hiệu ta đều nhận được đại lượng ngẫu nhiên.

Chú ý: Trên thực tế, đa số các đại lượng đo đều là ngẫu nhiên. Tuy nhiên, có thể giả thiết rằng trong suốt thời gian tiến hành phép đo đại lượng đo phải không đổi hoặc thay đổi theo quy luật đã biết trước, nghĩa là tín hiệu ở dạng biến đổi chậm. Còn khi đại lượng đo ngẫu nhiên có tần số thay đổi nhanh thì cần sử dụng phép đo lường thống kê.

*** Phân loại theo cách biến đổi tín hiệu đo**

Có hai loại tín hiệu đo là tín hiệu đo liên tục hay tương tự và tín hiệu đo rời rạc hay số. Khi đó ứng với 2 loại tín hiệu đo này có hai loại dụng cụ đo là dụng cụ đo tương tự và dụng cụ đo số.

*** Phân loại theo bản chất của đại lượng đo**

+ Đại lượng đo năng lượng là đại lượng mà bản thân nó mang năng lượng.

Ví dụ: điện áp, dòng điện, sức điện động, công suất ...

+ Đại lượng đo thông số là đại lượng đo các thông số của mạch

Ví dụ: điện trở, điện dung, điện cảm ...

+ Đại lượng phụ thuộc vào thời gian

Ví dụ: tần số, góc pha, chu kỳ ...

+ Đại lượng không điện. Để đo các đại lượng này bằng phương pháp điện cần biến đổi chúng thành các đại lượng điện

Ví dụ: để đo độ co giãn của vật liệu có thể sử dụng tenzo để chuyển sự thay đổi của hình dạng thành sự thay đổi của điện trở và đo giá trị điện trở này để suy ra sự biến đổi về hình dạng.

2. Điều kiện đo

Các thông tin đo lường bao giờ cũng gắn với môi trường sinh ra đại lượng đo. Môi trường ở đây có thể điều kiện môi trường tự nhiên và cả môi trường do con người tạo ra.

Khi tiến hành phép đo cần tính đến ảnh hưởng của môi trường tự nhiên đến kết quả đo và ngược lại.

Ví dụ: các điều kiện về nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, độ rung ...

Khi sử dụng dụng cụ đo cần lựa chọn loại không làm ảnh hưởng đến đối tượng đo.

Ví dụ: với phép đo cường độ dòng điện thì cần sử dụng Ampe kế có điện trở trong càng nhỏ càng tốt nhưng khi đo điện áp thì cần dùng vôn kế có điện trở trong càng lớn càng tốt.

3. Đơn vị đo

Mỗi quốc gia có một tập quán sử dụng các đơn vị đo lường khác nhau và điều này gây nhiều rắc rối khi sự trao đổi diễn ra trên toàn cầu. Để thống nhất các đơn vị này người ta thành lập Hệ đơn vị đo lường quốc tế, viết tắt là SI. Ngày 20-1-1950 Chủ tịch Hồ Chí Minh đã ký sắc lệnh số 8/SL quy định hệ thống đo lường Việt nam theo hệ SI, và ngày 20/1 hằng năm là ngày Đo Lường Việt nam.

Theo Pháp lệnh Đo lường ngày 06 tháng 10 năm 1999:

Đơn vị đo lường hợp pháp là đơn vị đo lường được Nhà nước công nhận và cho phép sử dụng. Nhà nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam công nhận Hệ đơn vị đo lường quốc tế (viết tắt là SI). Chính phủ quy định đơn vị đo lường hợp pháp phù hợp với Hệ đơn vị đo lường quốc tế.

Hệ đơn vị đo lường quốc tế SI bao gồm 7 đơn vị cơ bản, các đơn vị khác được định nghĩa thông qua các đơn vị cơ bản gọi là các đơn vị dẫn xuất. (xem chi tiết trong Nghị định của chính phủ số 65/2001 ND-CP về việc Ban hành hệ thống đơn vị đo lường hợp pháp của nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam) Chính phủ quy định đơn vị đo lường hợp pháp phù hợp với Hệ đơn vị đo lường quốc tế.

Bảng 1: 7 đơn vị cơ bản của Hệ đo lường quốc tế SI:

Đại lượng	Đơn vị	
	Tên	Ký hiệu
Chiều dài	Met	m
Khối lượng	Kilogram	kg
Thời gian	Second	s
Cường độ dòng điện	Ampe	A
Nhiệt độ	Kelvin	K
Cường độ sáng	Candela	Cd
Số lượng vật chất	Mol	mol

Đơn vị cơ bản: được thể hiện bằng các đơn vị chuẩn với độ chính xác cao nhất mà khoa học kỹ thuật hiện đại có thể thực hiện được.

a) Đơn vị chiều dài :

+) 1 met – là quãng đường ánh sáng đi được trong chân không trong khoảng thời gian $1/29.979.258$ giây (CGMP lần thứ 17 năm 1983)

+) Chuẩn chiều dài 1 met hiện nay có sai số $= 0,002 \text{ mm} (= 2 \cdot 10^{-9} \text{ m})$

b) Đơn vị đo nhiệt độ : Kelvin (K)

+) $^{\circ}\text{K}$ là nhiệt độ có giá trị bằng $1/273,16$ phần nhiệt độ đông của điểm thứ 3 của nước (là điểm cân bằng của 3 trạng thái rắn, lỏng, hơi)

+) Thang Kelvin là thang chuẩn và được sử dụng ưu tiên trong tính toán bởi vì thang này không có nhiệt độ âm mà chỉ có nhiệt độ dương. Ngoài ra, sử dụng thang Kelvin, sai số của phép đo chuẩn được giảm đi 50 lần.

c) Đơn vị đo cường độ dòng điện: Ampe (A)

+) 1 Ampe là cường độ dòng điện một chiều chạy qua 2 dây dẫn song song dài vô hạn, có diện tích mặt cắt nhỏ không đáng kể, được đặt trong chân không cách nhau 1m và trên mỗi đoạn chiều dài 1m của dây dẫn xuất hiện lực tương tác bằng $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$.

d) Đơn vị đo thời gian: giây (s)

+) 1 giây bằng $9.192.631.770$ chu kỳ bức xạ tương ứng với sự chuyển đổi giữa 2 mức siêu tinh của trạng thái cơ bản của nguyên tử Caesium – 133 (^{133}Cs). Độ chính xác là 10^{-12} ; nghĩa là 36.000 năm mới sai 1 giây.

e) Đơn vị đo cường độ ánh sáng (Candela).

+) Candela là cường độ ánh sáng theo một phương xác định của một nguồn phát ra bức xạ đơn sắc có tần số $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ và có cường độ bức xạ theo phương đó là $1/683 \text{ W/steradian}$ (CGPM - lần thứ 16, năm 1979)

f) Đơn vị đo khối lượng: (Kg)

+) Kilogram - là đơn vị đo khối lượng bằng khối lượng của mẫu kilogram quốc tế đặt tại trung tâm mẫu và cân quốc tế tại Paris

g) Đơn vị đo số lượng vật chất: (Mol)

+) Mol là lượng vật chất có số phân tử (hay nguyên tử, các hạt) bằng số nguyên tử chứa trong Carbon - 12 (^{12}C) với khối lượng là 0,012(kg).

Ngoài các đơn vị cơ bản trên, các đơn vị khác được định nghĩa thông qua các đơn vị cơ bản (vẫn có thể có định nghĩa riêng) gọi là các đơn vị dẫn xuất. Dưới đây là bảng một số đơn vị dẫn xuất điện và từ

Bảng 2: Một số đơn vị dẫn xuất điện và từ

Đại lượng	Đơn vị	
	Tên	Ký hiệu
Công suất	Oát	W
Điện tích, điện lượng	Culông	C
Hiệu điện thế, điện thế, điện áp, suất điện động	Von	V
Điện dung	Fara	F
Điện trở	Ôm	Ω
Điện dẫn	Simen	S
Độ tự cảm	Henry	H
Thông lượng từ (từ thông)	Vebe	Wb
Mật độ từ thông, cảm ứng từ	Tesla	T
Cường độ điện trường	Vôn/met	V/m
Cường độ từ trường	Ampe/met	A/m
Năng lượng điện	Electronvon	eV

Trong hệ SI người ta cũng quy định các giá trị bội số và ước số thập phân của các đơn vị như biểu diễn trong Bảng 3.

Bảng 3: Bội số và ước số thập phân của các đơn vị SI

Chữ đọc	Ký hiệu	Hệ số nhân	Chữ đọc	Ký hiệu	Hệ số nhân
Yotta	Y	10^{24}	yocto	y	10^{-24}
Zetta	Z	10^{21}	zepto	z	10^{-21}
Exa	E	10^{18}	atto	a	10^{-18}
Peta	P	10^{15}	femto	f	10^{-15}
Tera	T	10^{12}	pico	p	10^{-12}

Chữ đọc	Ký hiệu	Hệ số nhân	Chữ đọc	Ký hiệu	Hệ số nhân
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
mega	M	10^6	micro	μ	10^{-6}
kilo	k	10^3	milli	m	10^{-3}
hecto	h	10^2	centi	c	10^{-2}
deka	da	10	deci	d	10^{-1}

4. Thiết bị đo và phương pháp đo

Thiết bị đo là thiết bị kỹ thuật dùng để gia công tín hiệu mang thông tin đo thành dạng tiện lợi cho người quan sát.

Thiết bị đo gồm: thiết bị mẫu, chuyển đổi đo lường, dụng cụ đo lường, tổ hợp thiết bị đo lường và hệ thống thông tin đo lường. (xem chi tiết ở phần sau)

Phương pháp đo được chia làm 2 loại chủ yếu là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo so sánh. (xem chi tiết ở phần sau)

5. Người quan sát

Là người tiến hành đo hoặc gia công kết quả đo. Yêu cầu nắm được phương pháp đo, hiểu biết về thiết bị đo và lựa chọn dụng cụ hợp lý, kiểm tra điều kiện đo (phải nằm trong chuẩn cho phép để sai số chấp nhận được) và biết cách gia công số liệu thu được sau khi đo.

6. Kết quả đo

Giá trị xác định bằng thực nghiệm được gọi là ước lượng của đại lượng đo, giá trị gần giá trị thực mà ở điều kiện nào đó có thể coi là thực.

Sử dụng các phương pháp đánh giá sai số để đánh giá kết quả đo. (xem chi tiết ở phần sau)

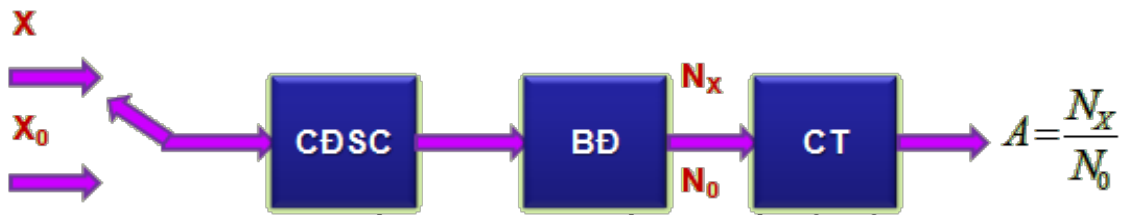
III. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO

Phương pháp đo là cách thức, thủ thuật để xác định thông số cần đo. Đó là tập hợp mọi cơ sở khoa học có thể để thực hiện phép đo, trong đó có nguyên tắc để xác định thông số đo. Các nguyên tắc này có thể dựa trên mối quan hệ toán học hay mối quan hệ vật lý có liên quan tới đại lượng đo.

Có hai phương pháp đo cơ bản là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo kiểu so sánh.

1. Phương pháp đo biến đổi thẳng

Là phương pháp đo có quá trình đo biến đổi thẳng đại lượng cần đo thành các đại lượng trung gian cho tiện việc tính toán kết quả và chỉ thị. Khi đó trong cấu trúc của thiết bị đo không có khâu phản hồi và thiết bị đo gọi là thiết bị biến đổi thẳng.



Hình 2: Cấu trúc của một thiết bị đo biến đổi thẳng

Chú thích:

CDSC: bộ chuyển đổi sơ cấp để biến đổi đại lượng đo không điện thành đại lượng điện, nếu X đã là đại lượng điện thì không cần bộ chuyển đổi này

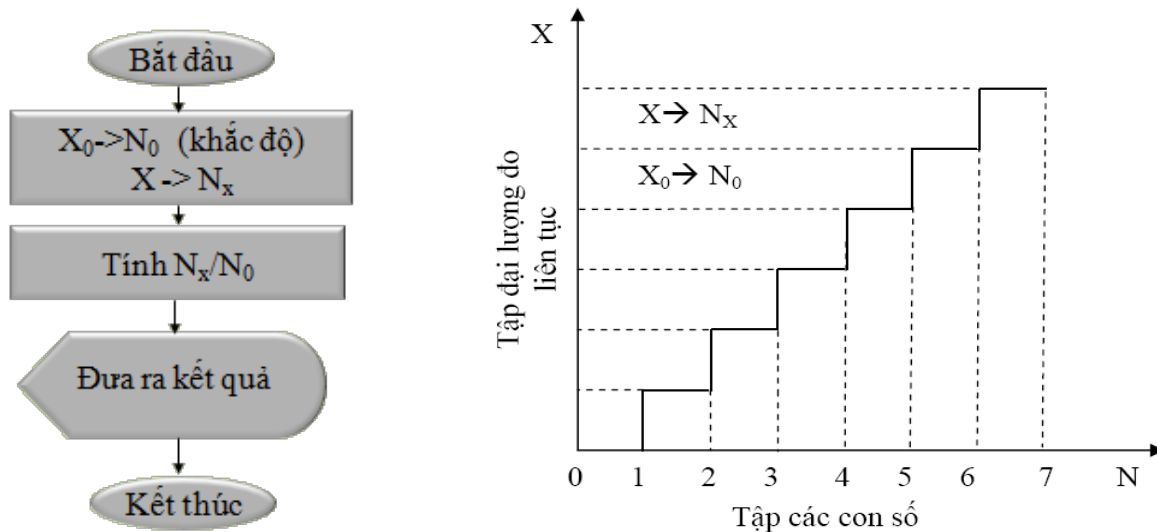
BD: Bộ biến đổi trung gian

CT: cơ cấu chỉ thị

X: đại lượng cần đo

X₀: đại lượng mẫu (hay đơn vị đo)

Cũng có thể mô tả phương pháp đo biến đổi thẳng qua lưu đồ thuật toán trong Hình 3, ở khâu cuối cùng, đại lượng đo cần được biến đổi thành con số để xác định kết quả đo.



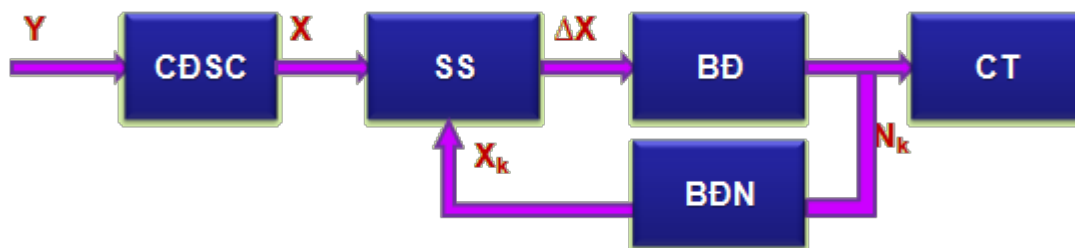
Hình 3: Lưu đồ thuật toán của phương pháp đo biến đổi thẳng và Chuyển đổi đại lượng đo liên tục thành con số

2. Phương pháp đo kiểu so sánh

Là phương pháp đo có sử dụng khâu hồi tiếp để so sánh đại lượng mẫu X_k (tỉ lệ với đơn vị đo X₀) với đại lượng đo X ban đầu.

Thiết bị đo theo phương pháp so sánh có sơ đồ cấu trúc như mô tả trong

Hình 4.



Hình 4: Cấu trúc của một thiết bị đo kiểu so sánh

Chú thích:

CDSC: bộ chuyển đổi sơ cấp, có nhiệm vụ biến đổi đại lượng cần đo không điện thành đại lượng điện (thường là dòng hoặc áp).

BD: bộ biến đổi tín hiệu, có thể gồm nhiều mạch điện để gia công tín hiệu thành dạng phù hợp với chỉ thị

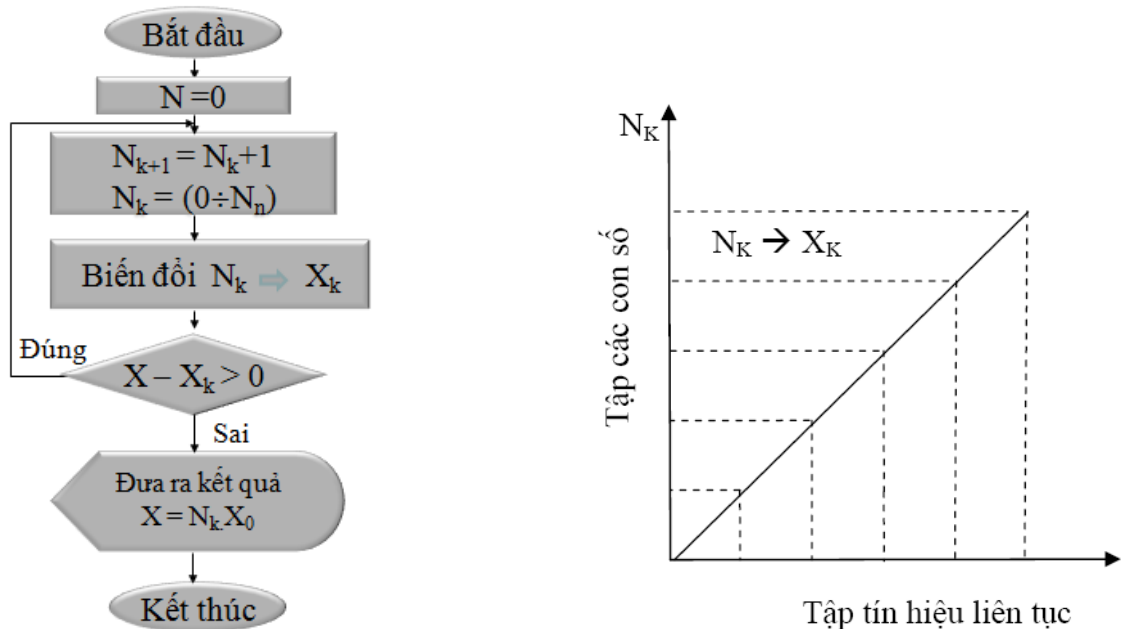
BDN: bộ biến đổi ngược để biến đổi tín hiệu sau khi gia công ở phần trên trở về dạng như tín hiệu cần đo X , nghĩa là biến đổi tín hiệu hồi tiếp về để đưa đi so sánh.

SS: bộ so sánh đại lượng điện cần đo X và đại lượng mẫu X_k

CT: bộ chỉ thị hiển thị kết quả đo là N_k

Đại lượng cần đo và đại lượng mẫu được biến đổi thành một đại lượng vật lý nào đó thuận tiện cho việc so sánh (dòng hoặc áp)

Quá trình so sánh X và tín hiệu X_k (tỉ lệ với đơn vị đo X_0) diễn ra trong suốt quá trình đo, khi hai đại lượng bằng nhau đọc kết quả X_k sẽ có được kết quả đo như mô tả trong lưu đồ thuật toán dưới đây.



Hình 5: Lưu đồ thuật toán của phương pháp đo kiểu so sánh và Chuyển đổi con số N_k thành đại lượng liên tục X_k để so sánh với X

Dựa vào giá trị của ΔX thì có hai cách so sánh là so sánh cân bằng và so sánh không cân bằng.

Dựa vào thời điểm so sánh X với X_k thì có hai cách so sánh là so sánh đồng thời và so sánh không đồng thời.

a. So sánh cân bằng

Phép so sánh được thực hiện liên tục cho tới khi $\Delta X = 0$ và khi đó: $X = X_k = N_k \cdot X_0$

Như vậy đại lượng mẫu X_k chính là một đại lượng thay đổi bám theo X sao cho khi X thay đổi luôn được kết quả như trên. Phép so sánh luôn ở trạng thái cân bằng (đôi khi người ta còn gọi phương pháp này là *phương pháp cân*).

Độ chính xác của phép đo phụ thuộc vào độ chính xác của X_k và độ nhạy của thiết bị chỉ thị cân bằng (thường là thiết bị chỉ thị 0)

Các dụng cụ đo theo phương pháp so sánh cân bằng thường là các cầu đo và điện thế kế cân bằng.

b. So sánh không cân bằng

Nếu X_k là đại lượng không đổi biết trước và xác định được ΔX , khi đó ta có: $X = X_k + \Delta X$

Nghĩa là kết quả đo được đánh giá thông qua ΔX với X_k là đại lượng mẫu đã biết trước.

c. So sánh không đồng thời

Với phương pháp này, đại lượng X và X_k không được đưa vào thiết bị cùng một lúc.

Đại lượng cần đo X được đưa vào trước, giữ nguyên trạng thái của thiết bị để đưa đại lượng mẫu X_k vào, điều chỉnh X_k để nó gây ra tác động lên thiết bị đo giống như X đã tác động. Khi đó ta có kết quả đo chính là X_k .

d. So sánh đồng thời

Là phương pháp so sánh mà đại lượng cần đo X và đại lượng mẫu X_k được đưa vào thiết bị đo cùng một lúc.

IV. PHÂN LOẠI THIẾT BỊ ĐO

Thiết bị đo là sự thể hiện phương pháp đo bằng các khâu chức năng cụ thể. Thiết bị đo gồm các loại sau:

1. Mẫu (chuẩn)

Là thiết bị để khôi phục một đại lượng vật lý nhất định. Những dụng cụ mẫu phải đạt độ chính xác rất cao từ 0,001% đến 0,1% tùy theo từng cấp chính xác và từng loại thiết bị. Mẫu được sử dụng để chuẩn hoá lại các dụng cụ đo lường.

*** Chuẩn hoá thiết bị đo lường:**

Yêu cầu chuẩn hoá thiết bị đo lường là rất quan trọng và cần thiết vì mỗi quốc gia có tập quán sử dụng các đơn vị đo lường riêng và có rất nhiều công ty sản xuất các thiết bị đo lường. Hơn nữa, việc sử dụng các đơn vị đo lường khác nhau, kiểu mẫu khác nhau sẽ đem lại những bất tiện không thể tránh khỏi cho người dùng. Để thống nhất được đơn vị thì người ta phải tạo được chuẩn (mẫu) của đơn vị ấy và phải truyền được các chuẩn ấy cho các thiết bị đo.

Chuẩn đo lường là phương tiện kỹ thuật để thể hiện đơn vị đo lường và dùng làm chuẩn để xác định giá trị đại lượng thể hiện trên phương tiện đo.

Chuẩn là vật đo, phương tiện đo, mẫu chuẩn hoặc hệ thống đo để định nghĩa, thể hiện, duy trì hoặc tái tạo đơn vị hoặc một hay nhiều giá trị của đại lượng để dùng làm mốc so sánh.

Ngoài ra, vì mục đích sử dụng của các thiết bị đo lường rất khác nhau nên ngoài việc quy ước sử dụng một hệ thống quốc tế chung (hệ SI) thì độ chính xác của các thiết bị cũng được quy định một cách chặt chẽ. Nếu lấy tiêu chí là độ chính xác thì thiết bị đo lường được chia làm 4 cấp:

+ Cấp 1- chuẩn quốc tế (International standard), các thiết bị đo chuẩn quốc tế được đặt tại trung tâm đo lường quốc tế- tại PARIS -Pháp

+ Cấp 2- chuẩn quốc gia (National standard) là chuẩn đo lường có độ chính xác cao nhất của quốc gia được dùng làm gốc để xác định giá trị các chuẩn còn lại của lĩnh vực đo lường. Chuẩn quốc gia được đặt tại các viện đo lường quốc gia, chúng được chuẩn hoá định kỳ theo chuẩn quốc tế hoặc qua các chuẩn quốc gia của nước ngoài.

+ Cấp 3- chuẩn khu vực (Zone standard) là chuẩn cho các trung tâm khu vực, nó tuân theo chuẩn quốc gia.

+ Cấp 4- chuẩn phòng thí nghiệm (Lab-standard) đây là cấp chuẩn để chuẩn hoá các thiết bị đo lường dùng cho sản xuất công nghiệp, nó tuân theo cấp nào thì sẽ mang chuẩn cấp đó (cấp 2,3)

Tại Trung tâm đo lường Nhà nước Việt Nam có 24 đại lượng chuẩn:

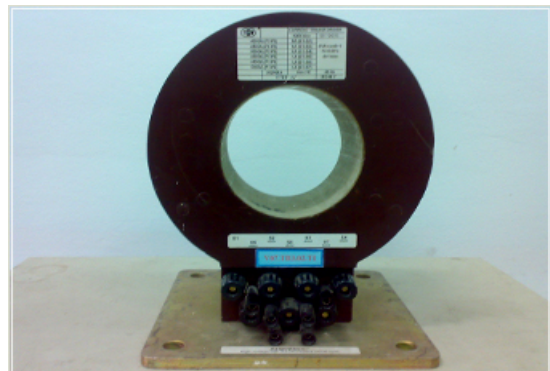
1. Độ dài	9. Độ cứng	17. Điện năng
2. Góc	10. Áp suất	18. Điện áp cao tần
3. Khối lượng	11. Điện áp DC	19. Công suất cao tần
4. Khối lượng riêng	12. Dòng DC	20. Mức
5. Dung tích	13. Điện trở	21. Độ suy giảm
6. Độ nhớt	14. Điện dung	22. Thời gian
7. pH	15. Điện cảm	23. Tần số
8. Lực	16. Công suất	24. Nhiệt độ

Tại Cục Tiêu chuẩn - Đo lường - Chất lượng Bộ Quốc Phòng có 2 đại lượng chuẩn:

1. Cường độ sáng
2. Quang thông.

Tại Viện năng lượng nguyên tử Việt Nam có 2 đại lượng chuẩn:

1. Hoạt độ phóng xạ
2. Liều lượng phóng xạ.



Hình 6: Biến áp đo lường chuẩn đến 220 kV và biến dòng đo lường chuẩn đến 10 kA

Cơ quan quản lý Nhà nước về đo lường các cấp có trách nhiệm tổ chức xây dựng các cơ sở có đủ điều kiện thực hiện việc kiểm định, ta đã có các đơn vị kiểm định từ Trung ương đến địa phương bao gồm các cơ sở kiểm định thuộc các cơ quan quản lý nhà nước về đo lường và các cơ sở được uỷ quyền kiểm định. Trung tâm đo lường nhà nước và các trung tâm tiêu chuẩn kỹ thuật đo lường chất lượng ba miền Bắc, Trung, Nam thực hiện việc kiểm định đối với chuẩn đo lường, những phương tiện đó có yêu cầu kỹ thuật cao nhất. Các cơ sở kiểm định thuộc Chi cục Tiêu chuẩn, Đo lường, Chất lượng tỉnh, thành phố thực hiện việc kiểm định đối với những phương tiện thông dụng, phổ biến được sử dụng với số lượng lớn gắn với đời sống nhân dân.

Cơ sở pháp lý là các văn bản: Pháp lệnh đo lường số 16/1999/PL - UBTVQH 10, nghị định của Chính phủ số 65/2001/NĐ - CP Ban hành hệ thống đơn vị đo lường hợp pháp của Việt Nam, các thông tư hướng dẫn các vấn đề cụ thể về quy chế và quy trình kiểm định phương tiện đo, duyệt mẫu, công nhận khả năng và uỷ quyền kiểm định...

* Hiệu chuẩn

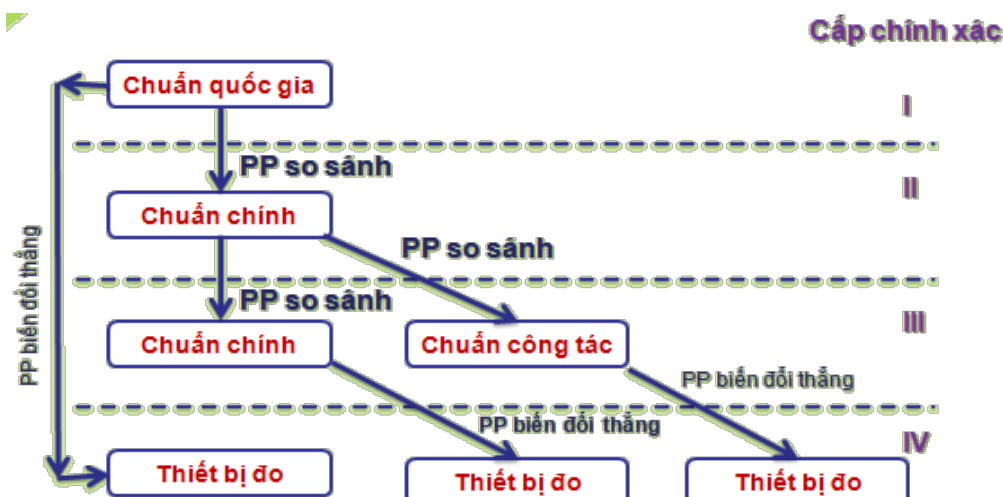
Hiệu chuẩn là việc so sánh giá trị của đại lượng thể hiện bằng phương tiện đo với giá trị tương ứng thể hiện bằng chuẩn đo lường.

Hiệu chuẩn được áp dụng đối với các phương tiện đo dùng làm chuẩn và các phương tiện đo ngoài danh mục phải kiểm định; riêng các chuẩn dùng trong kiểm định thì áp dụng chế độ kiểm định. Để thống nhất quản lý đo lường, đảm bảo đo lường cho công nghiệp, thương mại, và đời sống, mỗi quốc gia đều tổ chức hệ thống mẫu chuẩn và truyền chuẩn của quốc gia đó.

Các hằng số vật lý dùng để làm chuẩn:

- Chuẩn mẫu mét
- Chuẩn mẫu về khối lượng
- Chuẩn mẫu về thời gian và tần số.
- Chuẩn mẫu về các đại lượng điện
- Chuẩn mẫu về điện từ trường
- Chuẩn mẫu về nhiệt
- Chuẩn mẫu về áp suất
-

Sau khi tạo mẫu quốc gia, phải tổ chức mạng lưới để truyền chuẩn đến những phòng thí nghiệm tiêu chuẩn khu vực. Những chuẩn này phải đạt độ chính xác yêu cầu: cách bố trí, quy luật biến đổi phù hợp với tín hiệu kiểm tra và thiết bị so sánh. Dưới đây là sơ đồ truyền chuẩn của Việt Nam.



Hình 7: Sơ đồ liên kết chuẩn để truyền chuẩn của Việt Nam

2. Thiết bị đo lường điện

Là thiết bị đo lường bằng điện để gia công các thông tin đo lường, tức là tín hiệu điện có quan hệ hàm với các đại lượng vật lý cần đo. Dựa vào cách biến đổi tín hiệu và chỉ thị người ta phân dụng cụ đo điện thành 2 loại là:

* Dụng cụ đo tương tự: là dụng cụ đo mà giá trị của kết quả đo thu được là một hàm liên tục của quá trình thay đổi đại lượng đo. Dụng cụ đo chỉ thị kim và dụng cụ đo kiểu tự ghi (có thể ghi trên giấy, màn hình, băng đĩa từ ...) là hai loại dụng cụ đo tương tự.

* Dụng cụ đo số: là dụng cụ đo bên trong có quá trình xử lý tín hiệu số và kết quả đo được hiển thị bằng con số.

3. Chuyển đổi đo lường

Là loại thiết bị để gia công tín hiệu thông tin đo lường để tiện cho việc biến đổi, đo, gia công và lưu giữ kết quả

Có hai loại chuyển đổi đo lường là:

- * Chuyển đổi từ đại lượng không điện thành đại lượng điện
- * Chuyển đổi từ đại lượng điện thành đại lượng điện khác

4. Hệ thống thông tin đo lường

Là tổ hợp các thiết bị đo và những thiết bị phụ trợ để tự động thu thập kết quả từ nhiều nguồn khác nhau, truyền thông tin đo lường ... để phục vụ việc đo và điều khiển. Có thể phân thành nhiều nhóm như sau:

- * Hệ thống đo lường: đo và ghi lại kết quả đo
- * Hệ thống kiểm tra tự động: kiểm tra đại lượng đo
- * Hệ thống chẩn đoán kỹ thuật
- * Hệ thống nhận dạng: kết hợp giữa việc đo và kiểm tra để phân loại
- * Tổ hợp đo lường tính toán

V. ĐỊNH GIÁ SAI SỐ TRONG ĐO LƯỜNG

Sai số của phép đo: là biểu hiện sự không chính xác của kết quả đo lường so với giá trị chính xác của đại lượng đo. Sai số là một trong những đặc tính cố hữu của kết quả đo lường và không thể tránh khỏi vì mọi mẫu chuẩn dùng để so sánh đều có sai số nhất định dù ở bất kỳ cấp chính xác nào.

Giá trị thực X của đại lượng đo: là giá trị của đại lượng đo xác định được với một độ chính xác nào đó (thường nhờ các dụng cụ mẫu có cấp chính xác cao hơn dụng cụ đo được sử dụng trong phép đo đang xét). Giá trị chính xác (giá trị đúng) của đại lượng đo thường không biết trước, vì vậy khi đánh giá sai số của phép đo người ta sử dụng giá trị thực X của đại lượng đo.

1. Nguyên nhân và phân loại sai số

a. Nguyên nhân gây sai số

Đo lường là một phương pháp vật lý thực nghiệm nhằm mục đích thu được những tin tức về đặc tính số lượng của một quá trình cần nghiên cứu. Nó được thực hiện bằng cách so sánh một đại lượng cần đo với đại lượng đo tiêu chuẩn. Kết quả đo có thể biểu thị bằng số hay biểu đồ. Tuy nhiên, kết quả đo được chỉ là một trị số gần đúng, nghĩa là phép đo có sai số. Vấn đề là cần đánh giá được độ chính xác của phép đo. Khi tính toán sai số cần tính tới trường hợp các sai số kết hợp với nhau theo hướng bất lợi nhất với các nguyên nhân:

- * Nguyên nhân chủ quan: do lựa chọn phương pháp đo và dụng cụ đo không hợp lý, trình độ của người sử dụng thiết bị đo không tốt, thao tác không thành thạo ...
- * Nguyên nhân khách quan: do dụng cụ đo không hoàn hảo, đại lượng đo bị can nhiễu do môi trường bên ngoài như nhiệt độ, độ ẩm, bụi bẩn, áp suất ...

b. Phân loại sai số

- * Phân loại theo nguyên nhân gây ra sai số:

+ Sai số chủ quan

+ Sai số khách quan

* Phân loại theo quy luật xuất hiện sai số:

+ Sai số hệ thống là do những yếu tố thường xuyên hay các yếu tố có quy luật tác động. Nó khiến cho kết quả đo có sai số của lần đo nào cũng như nhau, nghĩa là kết quả của các lần đo đều lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị thực của đại lượng đo.

Nhóm các sai số hệ thống thường do các nguyên nhân sau:

. Do dụng cụ, máy móc đo không hoàn hảo

. Do phương pháp đo, cách xử lý kết quả đo hoặc bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng.

. Do khí hậu

+ Sai số ngẫu nhiên là sai số do các yếu tố bất thường, không có quy luật tác động. Do vậy, sai số hệ thống có thể xử lý được nhờ lấy lại chuẩn nhưng sai số ngẫu nhiên không thể xử lý được vì không biết quy luật tác động.

* Phân loại theo biểu thức: *cách phân loại này được sử dụng phổ biến trong quá trình tính toán*

+ **Sai số tuyệt đối** là hiệu số giữa 2 trị số tuyệt đối của giá trị đo được và giá trị thực của đại lượng cần đo.

$$\Delta X^* = |A - X| \quad \text{với } A \text{ là giá trị đo được và } X \text{ là giá trị thực}$$

vì chưa biết X nên thông thường người ta lấy $\Delta X^* = \Delta X_{\max}$ của một loạt các phép đo.

+ **Sai số tương đối** là tỷ số của sai số tuyệt đối và trị số thực của đại lượng đo. Sai số tương đối biểu thị đầy đủ hơn sai số tuyệt đối.

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% \quad \text{sai số tương đối chân thực}$$

$$\delta X = \frac{\Delta X}{A} \cdot 100\% \quad \text{sai số tương đối danh định}$$

Sai số tương đối quy đổi (hay sai số chiết hợp)

$$\gamma_x \% = \frac{\Delta X_m}{X_m} \cdot 100\%$$

ΔX_m là sai số tuyệt đối cực đại

X_m là giá trị lớn nhất của thang đo (giới hạn cực đại của lượng trình thang đo hay độ lệch toàn thang)

Cấp chính xác của dụng cụ đo đúng bằng sai số tương đối quy đổi của dụng cụ đo và được nhà nước quy định cụ thể. (nó được ghi trực tiếp lên mặt dụng cụ đo hoặc trong bảng thông số kỹ thuật). Cấp chính xác của dụng cụ đo cho biết giá trị sai số cực đại mà các kết quả đo sử dụng dụng cụ đo này mắc phải.

2. Quy luật tiêu chuẩn phân bố sai số

Để đánh giá kết quả phép đo ta cần xét giới hạn và định lượng được sai số ngẫu nhiên. Nếu ta xét kết quả của các lần đo riêng biệt, sau khi loại bỏ sai số hệ thống thì nó hoàn toàn mang tính ngẫu nhiên. Muốn đánh giá sai số ngẫu nhiên ta phải tìm được quy luật phân bố sai số ngẫu nhiên thông qua lý thuyết xác suất thống kê. Để loại bỏ sai số hệ thống thì các lần đo

phải tiến hành với cùng một độ chính xác như nhau (cùng một máy đo, cùng một điều kiện đo, cùng một phương pháp đo ...).

Hàm phân bố tiêu chuẩn sai số

Giả sử đo đại lượng X n lần với các sai số lần lượt là x_1, x_2, \dots, x_n

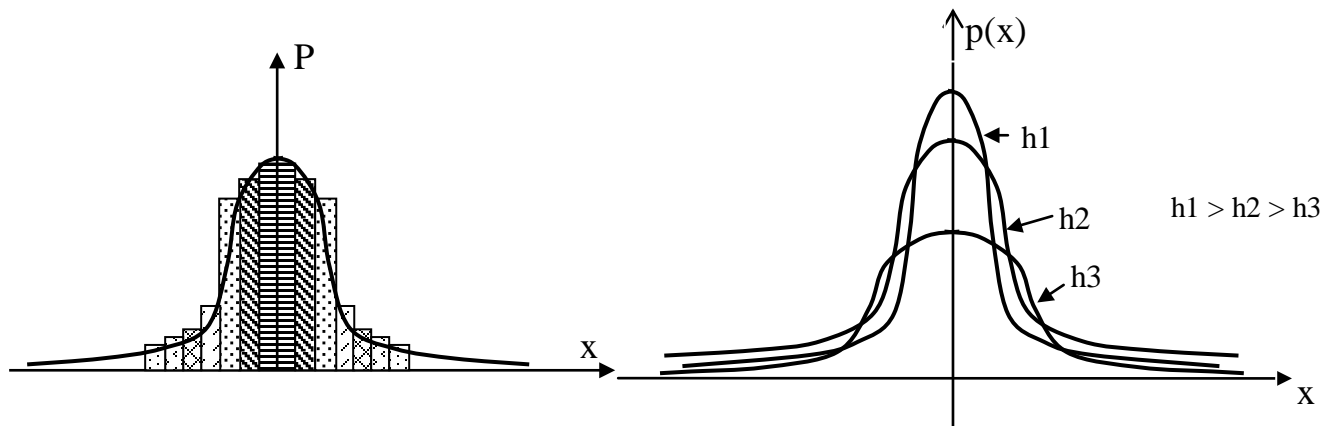
Sắp xếp các sai số theo độ lớn thành từng nhóm riêng biệt $n_1, n_2 \dots n_m$

ví dụ: có n_1 sai số nằm trong khoảng $0 - 0,01$
 có n_2 sai số nằm trong khoảng $0,01 - 0,02$
 có n_3 sai số nằm trong khoảng $0,02 - 0,03$

Lập tỉ số:
$$v_1 = \frac{n_1}{n} \dots$$

$$v_2 = \frac{n_2}{n}$$

gọi là tần suất các lần đo có sai số ngẫu nhiên nằm trong khoảng tương ứng.



Hình 8: Ví dụ về một biểu đồ phân bố tần suất và hàm phân bố tiêu chuẩn sai số

Diện tích các hình chữ nhật biểu thị xác suất xuất hiện các sai số ngẫu nhiên ở những khoảng tương ứng trên trục hoành.

Khi thực hiện phép đo nhiều lần, n tiến tới vô cùng, theo quy luật tiêu chuẩn của lý thuyết xác suất biểu đồ trên sẽ tiến đến một đường cong trung bình $p(x)$ gọi là hàm phân bố tiêu chuẩn sai số.

$$p(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} v(x)$$

Hàm $p(x)$ còn được gọi là hàm Gausse với công thức sau:
$$p(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 x^2}$$

với h là tham số về độ chính xác

Nhận xét:

- + Hàm phân bố tiêu chuẩn sai số có dạng hình chuông đối xứng qua trục tung, h càng lớn đường cong càng cao và càng hẹp, tức là độ chính xác càng cao.
- + Xác suất xuất hiện các sai số có giá trị bé lớn hơn xác suất xuất hiện các sai số có giá trị lớn
- + Xác suất xuất hiện không phụ thuộc vào dấu, tức là các sai số có giá trị tuyệt đối như nhau sẽ có xác suất xuất hiện như nhau.

+ Khi biết $p(x)$ thì có thể xác định được xác suất xuất hiện sai số trong một khoảng bất kỳ như sau:

$$p(x_1 \leq x \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-h^2 x^2} dx$$

(đây chính là diện tích giới hạn bởi đường cong $p(x)$ và 2 đường x_1, x_2)

$$p(|x| \leq x_1) = 2 \int_0^{x_1} p(x) dx = \frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_1} e^{-h^2 x^2} dx$$

$$p(|x| \geq x_1) = 1 - p(|x| \leq x_1)$$

3. Sai số trung bình bình phương và sai số trung bình

a. Sai số trung bình bình phương σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad \text{với } x_i \text{ là sai số của phép đo thứ } i$$

$$\text{khi đó } p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

h biểu thị độ cao của đồ thị còn σ biểu thị độ rộng của đồ thị

$$p(-\sigma, \sigma) \approx 68,3\%$$

$$p(-2\sigma, 2\sigma) \approx 95\%$$

$$p(-3\sigma, 3\sigma) \approx 99,7\%$$

Kết quả trên cho thấy khi lấy sai số trung bình bình phương lên tới 3σ thì tới 99,7% các phép đo có sai số trong khoảng này.

b. Sai số trung bình d

d là trị số trung bình cộng của tất cả các trị số tuyệt đối của các sai số của phép đo.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i|}{n} = \frac{1}{h\sqrt{\pi}} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma$$

4. Sự kết hợp của các sai số

Ở những phép đo có sử dụng nhiều dụng cụ đo hay nhiều phép đo thì các sai số hệ thống có xu hướng tích tụ lại, khi đó sai số của toàn bộ hệ thống thường lớn hơn bất kỳ sai số của phép đo đơn lẻ nào. Khi tính toán cần giả định rằng sai số kết hợp với nhau theo hướng bất lợi nhất.

a. Sai số của tổng các đại lượng

$$\begin{aligned} E &= (V_1 \pm \Delta V_1) + (V_2 \pm \Delta V_2) \\ &= (V_1 + V_2) \pm (\Delta V_1 + \Delta V_2) \end{aligned}$$

b. Sai số của hiệu các đại lượng

$$\begin{aligned} E &= (V_1 \pm \Delta V_1) - (V_2 \pm \Delta V_2) \\ &= (V_1 - V_2) \pm (\Delta V_1 + \Delta V_2) \end{aligned}$$

ví dụ:

$$\begin{aligned} E1 &= 100V \pm 2V = 100V \pm 2\% \\ E2 &= 80V \pm 4V = 80V \pm 5\% \\ E1 + E2 &= 180V \pm 6V = 180V \pm 3,3\% \\ E1 - E2 &= 20V \pm 6V = 20V \pm 30\% \end{aligned}$$

từ đó ta thấy sai số % trong hiệu của các đại lượng rất lớn nên **cần tránh các phép đo có bao hàm phép hiệu của các đại lượng.**

c. Tích của hai đại lượng

$$\begin{aligned} E &= (V_1 \pm \Delta V_1)(V_2 \pm \Delta V_2) \\ &= V_1.V_2 \pm V_1.\Delta V_2 \pm V_2.\Delta V_1 \pm \Delta V_1.\Delta V_2 \\ &\approx V_1.V_2 \pm (V_1.\Delta V_2 + V_2.\Delta V_1) \end{aligned}$$

$$\delta E = \pm \left(\frac{V_1.\Delta V_2 + V_2.\Delta V_1}{V_1.V_2} \right).100\% = \left(\pm \frac{\Delta V_1}{V_1} \pm \frac{\Delta V_2}{V_2} \right).100\%$$

Nhận xét: sai số tương đối của tích hai đại lượng bằng tổng sai số tương đối của từng thành phần.

Trường hợp riêng, khi nâng lên lũy thừa

$$\delta(E^\alpha) = \alpha.\delta E$$

d. Thương của hai đại lượng

$$\begin{aligned} E &= \frac{V_1 \pm \Delta V_1}{V_2 \pm \Delta V_2} \approx \frac{V_1}{V_2} \\ \delta E &= \pm(\delta V_1 + \delta V_2) \end{aligned}$$

CHƯƠNG 2:

CẤU TRÚC VÀ CÁC PHẦN TỬ CHỨC NĂNG CỦA THIẾT BỊ ĐO

Lý thuyết: 5 tiết

Mục tiêu chính của chương này là cung cấp kiến thức về:

- Cấu trúc cơ bản của thiết bị đo
- Các loại cơ cấu chỉ thị
- Các mạch biến đổi tín hiệu đo
- Các hiệu ứng của chuyển đổi sơ cấp

I. CẤU TRÚC CƠ BẢN CỦA THIẾT BỊ ĐO



Hình 9: Sơ đồ khối cơ bản của một thiết bị đo lường

+ **CĐSC - Chuyển đổi sơ cấp:** làm nhiệm vụ biến đổi các đại lượng đo không điện thành tín hiệu điện. Đây còn gọi là các cảm biến hay sensor, độ chính xác của kết quả đo phụ thuộc rất lớn vào độ chính xác của biểu thức chuyển đổi.

+ **MĐ - Mạch đo:** là khâu gia công tính toán sau CĐSC, nó làm nhiệm vụ tính toán và thực hiện phép tính trên sơ đồ mạch. Đó có thể là mạch điện tử thông thường hoặc bộ vi xử lý để nâng cao đặc tính của dụng cụ đo. Tín hiệu cuối cùng ra khỏi mạch đo phải phù hợp với chỉ thị. Việc sử dụng chỉ thị loại nào, kết quả ra khỏi CĐSC ra sao sẽ quyết định chức năng và kết cấu của mạch đo. Mạch này cũng phải đảm bảo cả việc mở rộng thang đo cho thiết bị đo.

+ **CT - Cơ cấu chỉ thị:** là khâu cuối cùng của dụng cụ đo để hiển thị kết quả đo dưới dạng con số so với đơn vị đo. Có 3 cách hiển thị kết quả đo:

- . Chỉ thị bằng kim trên vạch chia độ
- . Chỉ thị bằng thiết bị tự ghi (màn hình, giấy từ, băng đĩa từ ...)
- . Chỉ thị bằng số

II. CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ

Đây là khâu hiển thị kết quả đo dưới dạng con số so với đơn vị của đại lượng cần đo. Có 3 kiểu chỉ thị cơ bản là chỉ thị bằng kim chỉ (còn gọi là cơ cấu đo độ lệch hay cơ cấu cơ điện); chỉ thị kiểu tự ghi (ghi trên giấy, băng đĩa từ, màn hình ...) và chỉ thị số.

Dưới đây sẽ giới thiệu những cơ cấu điển hình nhất cho mỗi kiểu thị trên.

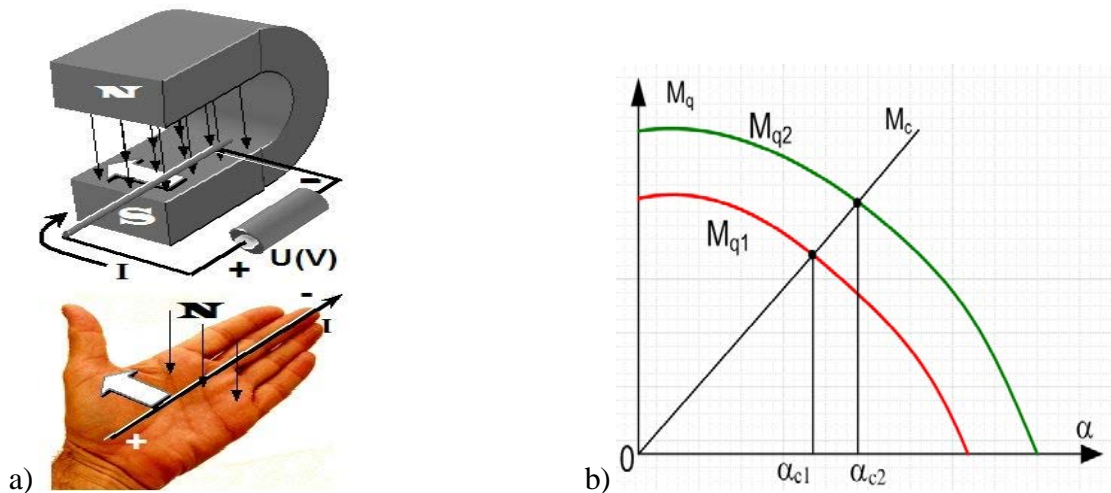
1. Cơ cấu chỉ thị cơ điện

Với loại chỉ thị cơ điện, tín hiệu vào là dòng điện hoặc điện áp, còn tín hiệu ra là góc quay của phần động (có gắn kim chỉ). Những dụng cụ này là loại dụng cụ đo biến đổi thẳng. Đại lượng cần đo như dòng điện, điện áp, điện trở, tần số hay góc pha ... được biến đổi thành góc quay của phần động, nghĩa là biến đổi năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học:

$$\alpha = F(X) \text{ với } X \text{ là đại lượng điện, } \alpha \text{ là góc quay (hay góc lệch)}$$

Nguyên tắc làm việc của các chỉ thị cơ điện:

Chỉ thị cơ điện bao giờ cũng gồm hai phần cơ bản là phần tĩnh và phần động. Nguyên tắc làm việc dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Khi một vật dẫn có dòng điện chạy qua được đặt trong từ trường của một nam châm thì nó sẽ chịu tác dụng của lực từ theo quy tắc bàn tay trái (xem Hình 10a).



**Hình 10: a) Quy tắc bàn tay trái để xác định chiều lực từ
b) Xác định góc lệch của kim chỉ thị khi $M_c = M_q$**

Độ lớn của lực sẽ phụ thuộc vào độ lớn của từ trường và cường độ dòng điện chạy trong vật dẫn. Khi này sẽ xuất hiện mômen quay làm quay phần động và được tính theo biểu thức:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

với W_e là năng lượng từ trường và α là góc quay của phần động

Phần động sẽ quay liên tục với tốc độ phụ thuộc vào độ lớn của năng lượng từ trường hay dòng điện đưa vào cơ cấu. Lực làm quay phần động còn gọi là *lực làm lệch*.

Nếu gắn một lò xo cản (hoặc một cơ cấu cản) với trục quay của phần động thì khi phần động quay lò xo sẽ bị xoắn lại (hoặc giãn ra) và sinh ra một mômen cản trở sự chuyển động của phần động. Lực chống lại sự di chuyển của phần động còn gọi là *lực điều khiển*. Mômen cản tỉ lệ với góc lệch α và được biểu diễn qua biểu thức: $M_c = D \cdot \alpha$

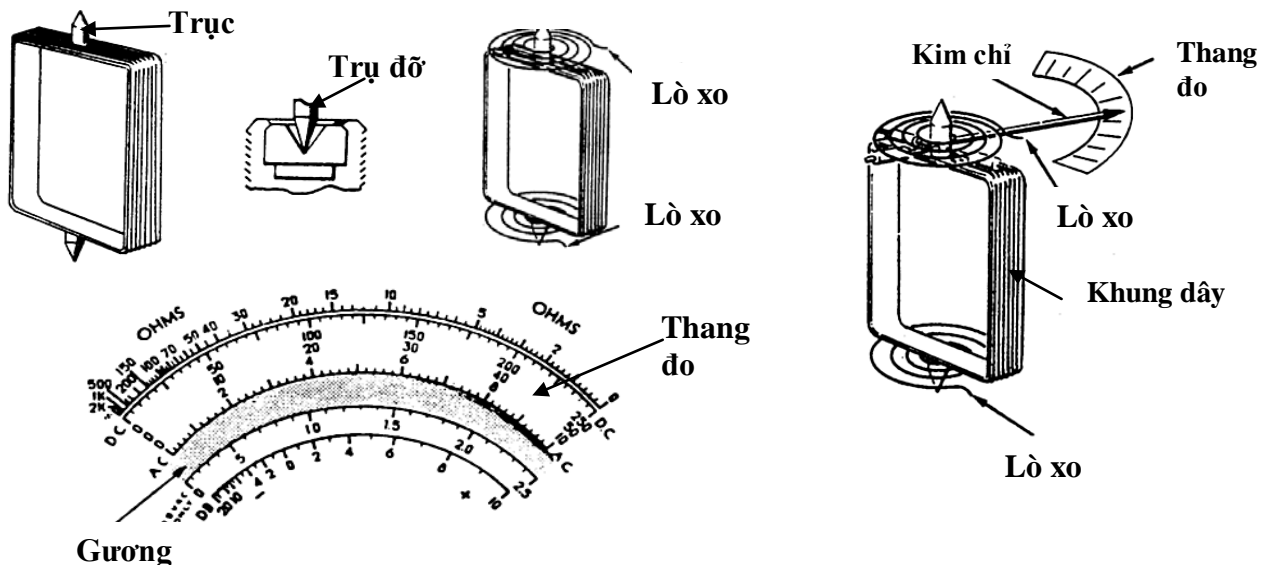
với D là hệ số mômen cản riêng của lò xo, nó phụ thuộc vào vật liệu, hình dáng và kích thước của lò xo.

Chiều tác động lên phần động của hai mômen kể trên ngược chiều nhau nên khi mômen cản bằng mômen quay thì phần động sẽ dừng lại ở vị trí cân bằng (xem Hình 10b). Khi đó:

$$M_c = M_q \Rightarrow \frac{dW_e}{d\alpha} = D \cdot \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{dW_e}{d\alpha}$$

Phương trình trên được gọi là phương trình đặc tính (hay lượng trình) của thang đo, từ phương trình này ta biết được đặc tính của thang đo và tính chất của cơ cấu chỉ thị.

Những bộ phận chính của cơ cấu chỉ thị cơ điện



Hình 11: Các bộ phận chính của cơ cấu chỉ thị cơ điện

+ **Trục và trụ:** là bộ phận đảm bảo cho phần động quay trên trục như khung dây, kim chỉ, lò xo cần ... Trục thường được làm bằng loại thép cứng pha irini hặc osimi, còn trụ đỡ làm bằng đá cứng.

+ **Lò xo phản kháng hay lò xo cản** là chi tiết thực hiện nhiệm vụ là tạo ra momen cản, đưa kim chỉ thị về vị trí 0 khi chưa đưa đại lượng cần đo vào, đồng thời dẫn dòng điện vào khung dây (trong trường hợp cơ cấu chỉ thị từ điện hoặc điện động). Lò xo được chế tạo dạng xoắn ốc bằng đồng berili hoặc đồng phốt pho để có độ đàn hồi tốt và dễ hàn. Thông thường sẽ có hai lò xo đối xứng ở hai đầu khung dây, chúng có kích thước rất mảnh nên rất dễ hỏng.

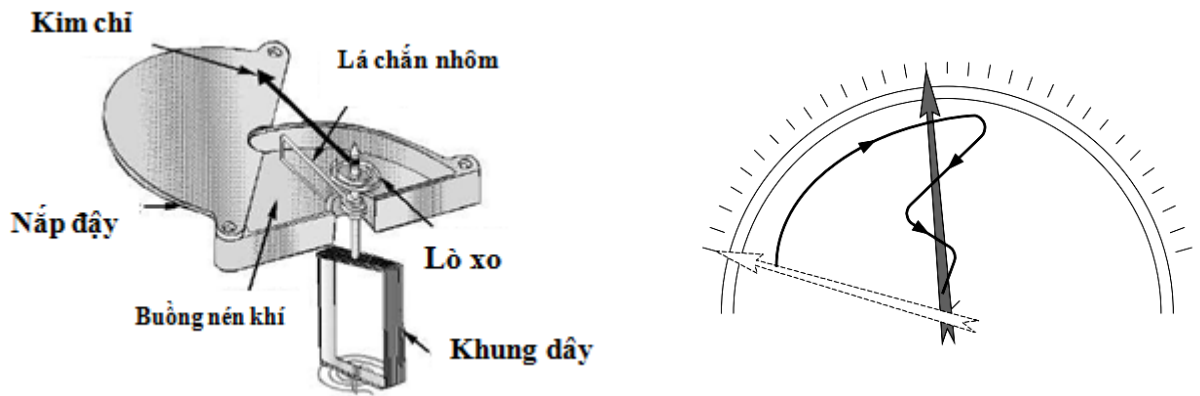
+ **Dây căng và dây treo:** để tăng độ nhạy cho chỉ thị người ta thay lò xo bằng dây căng hoặc dây treo.

+ **Kim chỉ** thường được chế tạo bằng nhôm, hợp kim nhôm và có thể là cả bằng thủy tinh với nhiều hình dáng khác nhau. Hình dáng của kim chỉ phụ thuộc vào cấp chính xác của dụng cụ đo và vị trí đặt dụng cụ để quan sát. Kim chỉ được gắn vào trục. Giá trị tương ứng với vị trí lệch tối đa của kim chỉ gọi là độ lệch toàn thang (ĐLTT).

+ **Thang đo** là bộ phận để khắc độ các giá trị của đại lượng cần đo. Có nhiều loại thang đo tùy vào độ chính xác của chỉ thị cũng như bản chất của cơ cấu chỉ thị.. Thang đo thường được chế tạo từ nhôm lá, đôi khi còn có cả gương phản chiếu phía dưới thang đo. Nhìn vào thang đo của thiết bị đo tương tự có thể xác định độ phân giải và độ nhạy của thiết bị. Độ phân giải bằng ĐLTT / tổng số vạch của thang đo đó; độ nhạy bằng độ phân giải bé nhất trong số các thang đo.

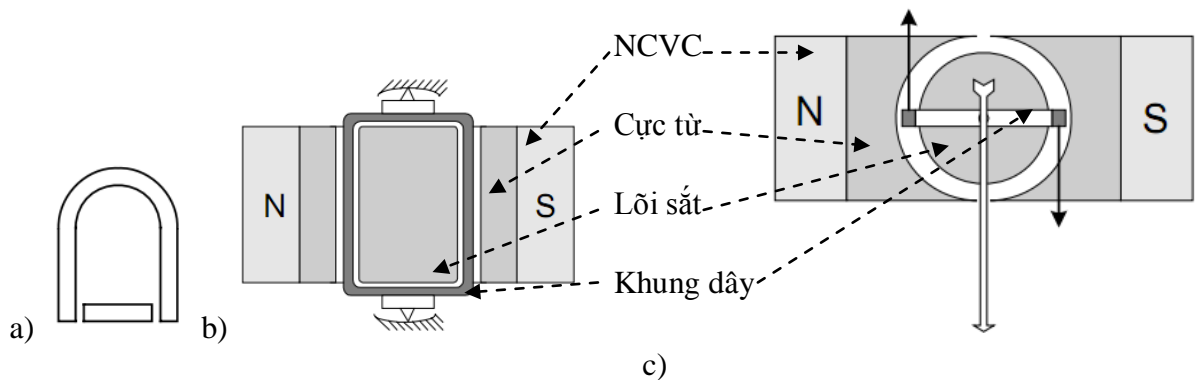
Ví dụ: Một Vôn kế tương tự có các thang đo 50 vạch với ĐLTT là 10V; 100V; 500V. Khi đó độ phân giải tương ứng với mỗi ĐLTT là 0,2V; 2V và 10V; độ nhạy của Vôn kế này là 0,2V.

+ **Bộ phận cản dịu** là bộ phận để giảm quá trình dao động của phần động và xác định vị trí cân bằng. Quá trình này còn gọi là quá trình làm nhụt. Có hai loại cản dịu là cản dịu không khí và cản dịu cảm ứng từ. Cản dịu không khí đơn giản nhất là làm hộp kín có nắp đậy bên trong có cánh cản dịu. Cản dịu cảm ứng từ có thể thực hiện nhờ lợi dụng chính dòng xoáy (dòng Fuco) xuất hiện trong phần động khi phần động quay. Ngoài ra để tránh ảnh hưởng của các tác động từ bên ngoài, toàn bộ cơ cấu có thể được đặt trong một màn chắn từ.



Hình 12: a) Bộ phận cân dọi và b) Quá trình di chuyển của kim chỉ trước khi cân bằng
a. Cơ cấu chỉ thị từ điện sử dụng nam châm vĩnh cửu (NCVC)

Dụng cụ đo từ điện còn gọi là dụng cụ đo kiểu D'Arsonval với ký hiệu và cấu trúc như Hình 13.



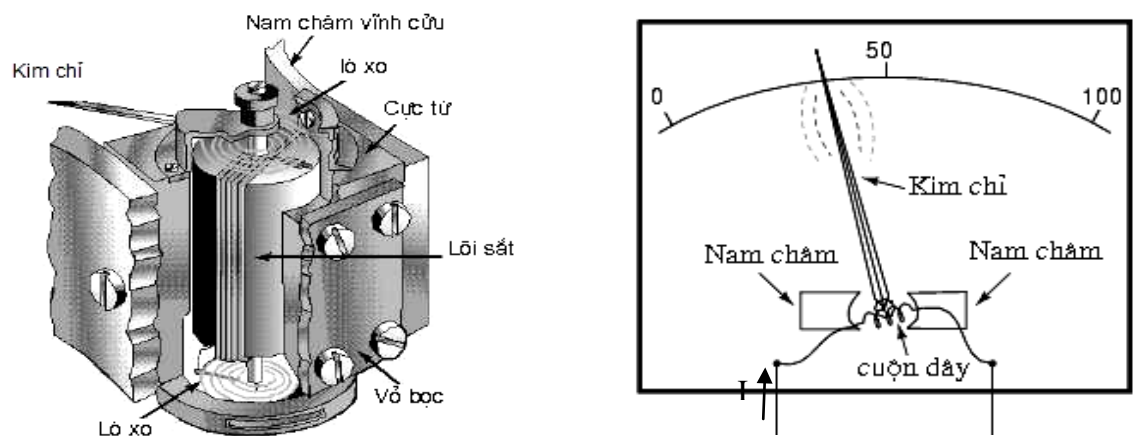
Hình 13: a) Ký hiệu, b) hình chiếu đứng và c) hình chiếu bằng của cơ cấu chỉ thị từ điện

Cấu tạo:

Phần tĩnh: Nam châm vĩnh cửu (nam châm hình móng ngựa), lõi sắt, cực từ (bằng sắt non). Giữa cực từ và lõi sắt có khe hở không khí rất hẹp.

Phần động: Khung dây được quấn bằng dây đồng. Khung dây gắn trên trục, nó quay trong khe hở không khí.

Ngoài ra còn một số bộ phận khác như: trục, trụ, 2 lò xo cân ở hai đầu trục, kim chỉ ...



Hình 14: Cấu trúc thực tế và sơ đồ giản lược của cơ cấu chỉ thị từ điện

Nguyên tắc hoạt động:

Khi có dòng điện chạy trong khung dây, dưới tác động của từ trường nam châm vĩnh cửu khung dây sẽ bị lệch khỏi vị trí cân bằng ban đầu một góc α . Momen quay do từ trường của nam châm tương tác với từ trường của khung dây tạo ra được tính bằng:

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha}$$

với We là năng lượng điện từ tỉ lệ với độ lớn của từ thông trong khe hở không khí và độ lớn của dòng điện chạy trong khung dây.

$$We = \Phi \cdot I = B \cdot S \cdot W \cdot \alpha \cdot I$$

với : Φ là từ thông

B là mật độ từ thông của từ trường tạo ra bởi nam châm vĩnh cửu

S là diện tích của khung dây

W là số vòng dây của khung dây

$$\Rightarrow Mq = \frac{d(B \cdot S \cdot W \cdot \alpha \cdot I)}{d\alpha} = B \cdot S \cdot W \cdot I$$

mà ta có : $Mc = D \cdot \alpha$

$$\Rightarrow Mc = Mq \Leftrightarrow D \cdot \alpha = B \cdot S \cdot W \cdot I$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{D} B \cdot S \cdot W \cdot I = K \cdot I$$

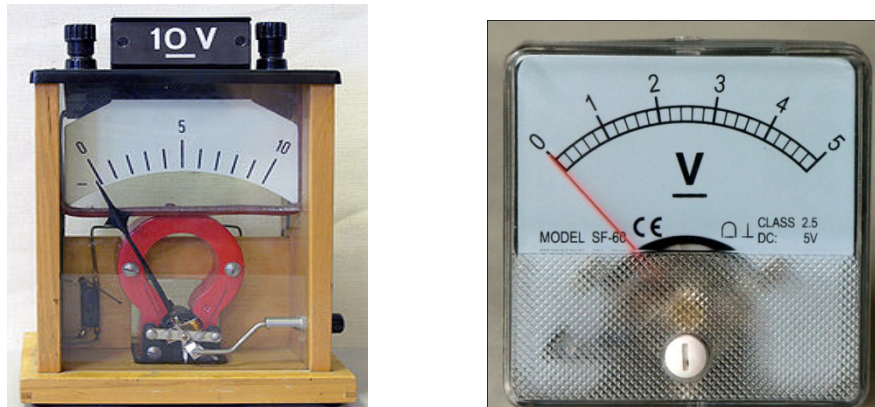
Từ phương trình đặc tính của thang đo ta thấy cơ cấu chỉ thị từ điện có thang đo đều vì góc lệch tỉ lệ với dòng cần đo theo một hằng số K . **Kết quả hiển thị là giá trị trung bình của đại lượng đo.**

Dụng cụ đo kiểu từ điện thường có cơ cấu chỉnh zero để đưa kim chỉ về vị trí 0 trước khi tiến hành phép đo. Thực chất là điều chỉnh vị trí cuộn dây và kim chỉ khi không có dòng điện vào.

Quá trình làm nhụt (ổn định vị trí của kim chỉ thị) được thực hiện nhờ lợi dụng sự xuất hiện dòng cảm ứng Fuco khi khung dây quay. Từ trường do dòng này tạo ra sẽ hạn chế sự dao động của kim chỉ để nó nhanh chóng đạt vị trí cân bằng, khi khung dây đứng im dòng Fuco sẽ mất và như thế cũng không còn lực làm nhụt. Muốn vậy người ta thường tạo khung dây bằng cách quấn dây đồng trên một khung bằng nhôm, một vật liệu dẫn điện rất tốt nhưng lại không có đặc tính từ.

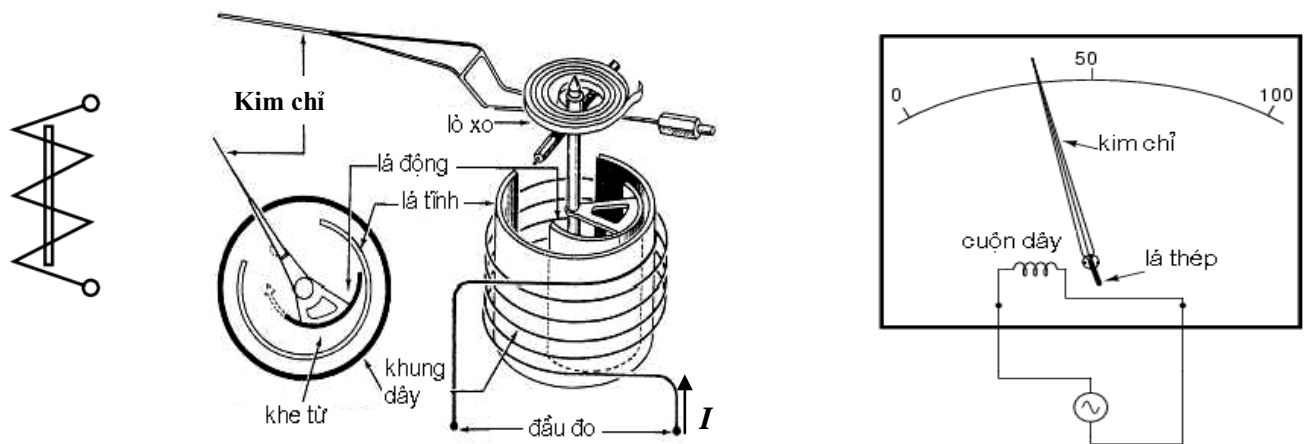
Dòng cần đo đưa vào cơ cấu chỉ được phép theo một chiều nhất định, nếu đưa dòng vào theo chiều ngược lại kim chỉ sẽ bị giật ngược trở lại và có thể gây hỏng cơ cấu. Vì vậy, phải đánh dấu + (dây màu đỏ) và - (dây màu xanh hoặc đen) cho các que đo. Tính chất này được gọi là tính phân cực của cơ cấu chỉ thị, nghĩa là chiều quay của kim chỉ thị phụ thuộc vào chiều dòng điện nên các đại lượng xoay chiều (tần số từ 20Hz – 100KHz) muốn chỉ thị bằng cơ cấu từ điện phải chuyển thành đại lượng một chiều và đưa vào cơ cấu theo một chiều nhất định. Tuy nhiên, vì đại lượng xoay chiều AC thường được biểu thị bởi giá trị hiệu dụng (rms) nên người ta phải hiệu chỉnh thang đo bằng cách nhân kết quả đo (là giá trị trung bình) với hệ số 1,1. Hệ số này chỉ đúng với tín hiệu hình sin, vì vậy với tín hiệu AC ngẫu nhiên bất kỳ thì đo bằng dụng cụ đo từ điện dùng mạch chỉnh lưu sẽ có sai số rất lớn.

Cơ cấu chỉ thị từ điện có độ nhạy khá cao, thang đo đều nên được ứng dụng để chế tạo Vôn kế, Ampe kế, Ôm kế nhiều thang đo với dải đo rộng. Giá trị bé nhất mà dụng cụ này đo được đối với dòng điện một chiều là cỡ microAmpe.



Hình 15: Vôn kế thí nghiệm và Vôn kế thực tế làm từ cơ cấu chỉ thị từ điện

b. Cơ cấu chỉ thị điện từ



Hình 16: Ký hiệu, hình chiếu bằng, hình chiếu trục đo và sơ đồ giản lược của một cơ cấu chỉ thị điện từ

Dụng cụ đo điện từ hoạt động dựa trên nguyên tắc khi hai chi tiết bằng sắt kề nhau bị từ hoá bởi dòng điện chạy qua một cuộn dây thì xuất hiện một lực đẩy giữa các cực cùng cực tính (N hoặc S).

Cấu tạo của một cơ cấu chỉ thị điện từ được cho ở Hình 16.

Phần tĩnh: ống dây; lá thép cố định nằm trong lòng ống dây, gọi là lá tĩnh.

Phần động: lá thép có khả năng di chuyển tương đối với lá tĩnh trong khe hở không khí

Khi đưa dòng điện chạy vào ống dây bao quanh các lá thép, từ trường tạo ra bởi ống dây sẽ từ hoá các lá thép với cùng một cực do đó chúng đẩy nhau. Lực đẩy tổng hợp sẽ làm cho lá động dịch ra xa khỏi lá tĩnh, đây chính là lực làm lệch. Kim chỉ gắn với trục quay khi đó sẽ bị lệch một góc tương ứng.

Lò xo dây xoắn tạo ra momen cản hay lực điều khiển để dừng kim chỉ.

Momen quay do từ trường của nam châm điện tạo ra được tính bằng:

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha} \quad \Rightarrow \quad Mq = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

$$We = \frac{1}{2} L I^2$$

với L là điện cảm của ống dây, có trị số phụ thuộc vào vị trí của lá động, tức là phụ thuộc α

Momen cản do lò xo cản tạo ra nên $M_c = D \cdot \alpha$

Khi kim chỉ dừng ở vị trí cân bằng, nghĩa là khi: $M_c = M_q$

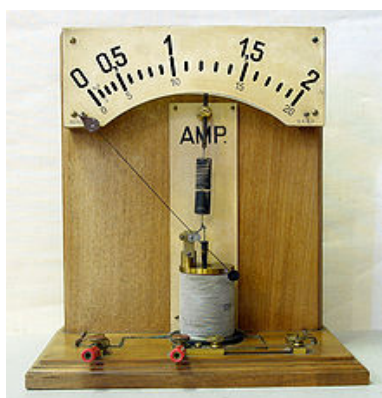
$$\Rightarrow D \cdot \alpha = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{2 \cdot D} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

Vậy, độ lệch α không phụ thuộc vào chiều của I , thang đo không đều vì tỉ lệ với I^2 và với $dL/d\alpha$

Biểu thức trên cho thấy giá trị đo được là giá trị trung bình bình phương (rms) của đại lượng đo. Để tuyến tính hóa thang đo người ta điều chỉnh $dL/d\alpha$.

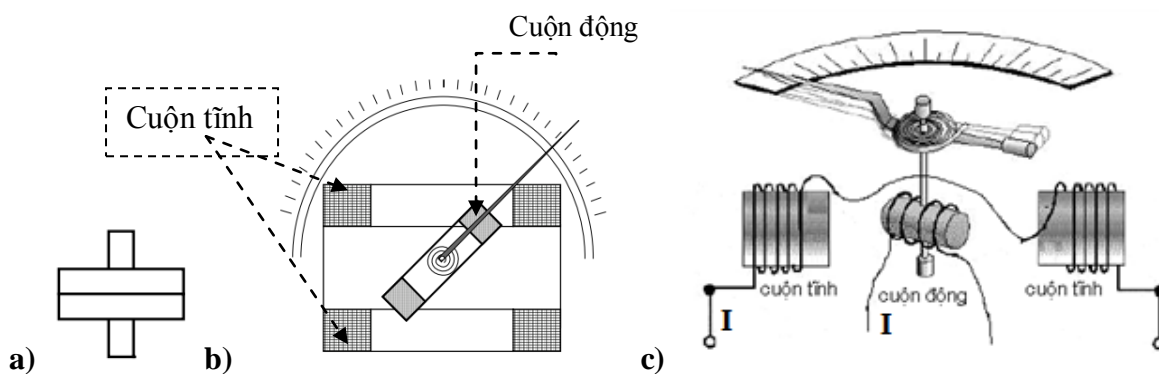
Cơ cấu chỉ thị điện từ không cần phân biệt cực tính cho dây đo, có thể được dùng để chế tạo dụng cụ đo dòng một chiều và dòng xoay chiều như Vôn kế, Ampe kế tần số công nghiệp (50 – 60 Hz) nhưng độ chính xác thấp và tiêu thụ điện năng lớn. Giá trị bé nhất mà dụng cụ này đo được trong dải giá trị miliAmpe; tần số nhỏ hơn 150Hz.



Hình 17: Ampe kế thí nghiệm và Vôn kế thực tế được tạo ra từ cơ cấu chỉ thị điện từ

c. Cơ cấu chỉ thị điện động

Cấu tạo: xem Hình 18



Hình 18: a) Ký hiệu; b) Sơ đồ giản lược; c) Cấu tạo của cơ cấu chỉ thị điện động

Cuộn dây tĩnh hay còn gọi là cuộn kích thích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau (quấn theo cùng chiều) để tạo thành nam châm điện khi có dòng chạy qua.

Cuộn dây động quay trong từ trường được tạo ra bởi cuộn tĩnh.

Các cuộn dây có lõi làm bằng vật liệu có độ từ thẩm cao để tạo ra từ trường mạnh. Thông thường chúng sẽ được bọc kín bằng màn chắn từ để tránh ảnh hưởng của từ trường bên ngoài.

Kim chỉ thị được gắn trên trục quay của phần động.

Lò xo tạo momen cản và các chi tiết phụ trợ khác.

Hoạt động:

Khi cho dòng điện vào các cuộn dây thì từ trường của 2 cuộn dây tương tác với nhau khiến cho cuộn động di chuyển và kim bị lệch đi khỏi vị trí zero. Các lò xo xoắn tạo ra lực điều khiển và đóng vai trò dẫn dòng vào cuộn động.

Việc tạo ra sự cân bằng của hệ thống động (điều chỉnh zero) được thực hiện nhờ điều chỉnh vị trí lò xo.

Dụng cụ đo kiểu điện động thường làm nhứt bằng không khí vì nó không thể làm nhứt bằng dòng xoáy như dụng cụ đo kiểu từ điện.

Do không có lõi sắt trong dụng cụ điện động nên môi trường dẫn từ hoàn toàn là không khí do đó cảm ứng từ nhỏ hơn rất nhiều so với ở dụng cụ từ điện. Điều này đồng nghĩa với việc để tạo ra momen quay đủ lớn để quay phần động thì dòng điện chạy trong cuộn động cũng phải khá lớn. Như vậy, độ nhạy của dụng cụ đo điện động nhỏ hơn rất nhiều so với dụng cụ đo từ điện.

Momen quay do 2 từ trường tương tác nhau được tính bằng:

$$Mq = \frac{dWe}{d\alpha} \quad \text{với } We = \frac{1}{2} I_1^2 \cdot L_1 + \frac{1}{2} I_2^2 \cdot L_2 + I_1 \cdot I_2 \cdot M_{12}$$

vì các cuộn dây có hệ số tự cảm L riêng không phụ thuộc vào góc lệch trong quá trình hoạt động (tức là $\frac{dL}{d\alpha} = 0$) nên:

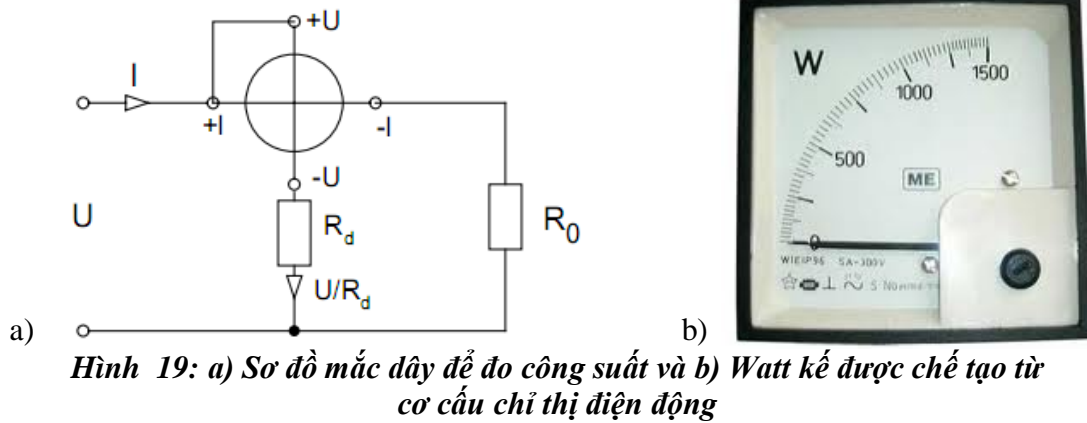
$$\Rightarrow Mq = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

$$\text{Vậy độ lệch của kim chỉ thị được tính theo biểu thức: } \alpha = \frac{1}{D} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

Nếu mắc các cuộn dây nối tiếp nhau, nghĩa là $I_1 = I_2 \Rightarrow \alpha = C \cdot I^2$ với C là hằng số. Trong trường hợp này cần chú ý rằng để có lực đẩy làm quay phần động thì chiều quấn dây trên phần động phải ngược với chiều quấn dây trên hai phần của cuộn kích.

Vì góc lệch không tỉ lệ tuyến tính với dòng cần đo nên thang đo của cơ cấu điện động là thang đo không đều. **Giá trị đo được là giá trị trung bình bình phương (rms).**

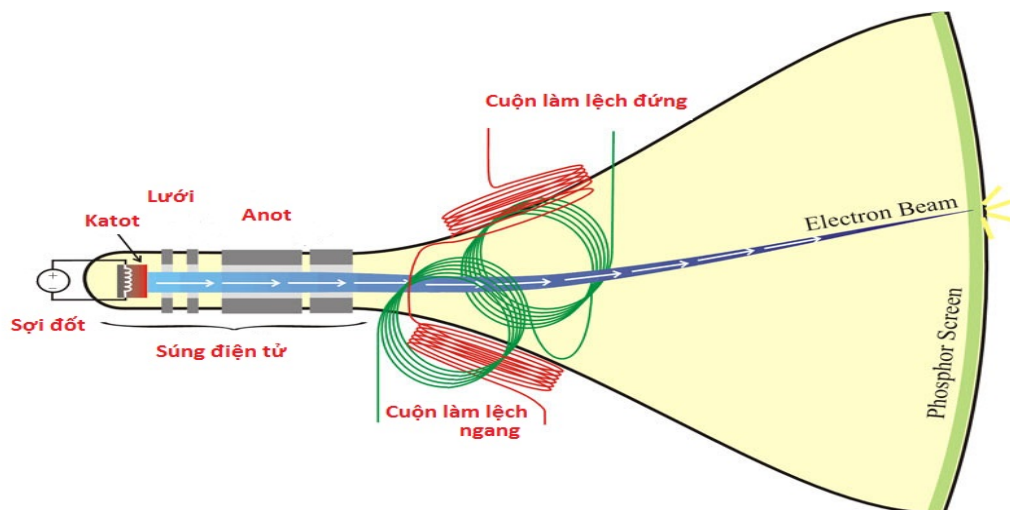
Cơ cấu điện động có thể được sử dụng để đo dòng xoay chiều và một chiều. Tuy nhiên, do nó có độ nhạy kém và tiêu thụ công suất khá lớn nên chủ yếu dùng để chế tạo Watt kế.



Hình 19: a) Sơ đồ mắc dây để đo công suất và b) Watt kế được chế tạo từ cơ cấu chỉ thị điện động

2. Cơ cấu chỉ thị tự ghi

Trong kỹ thuật đo lường vô tuyến điện các thiết bị chỉ thị tự ghi chủ yếu là máy hiện sóng với phần chỉ thị là ống phóng tia điện tử – CRO (Cathode Ray Oscilloscope). Dưới đây là cấu tạo cơ bản của một CRO, nó có nguyên tắc gần giống như CRT (Cathode Ray Tube) là một ống chân không với các hệ thống điện cực và màn huỳnh quang. Chùm electron do Catot phát ra sẽ được hướng tới màn hình theo sự điều khiển từ bên ngoài và làm phát sáng lớp photpho tại điểm chúng đập vào.



Hình 20: Cấu tạo cơ bản của một ống phóng tia điện tử

a. Cấu tạo:

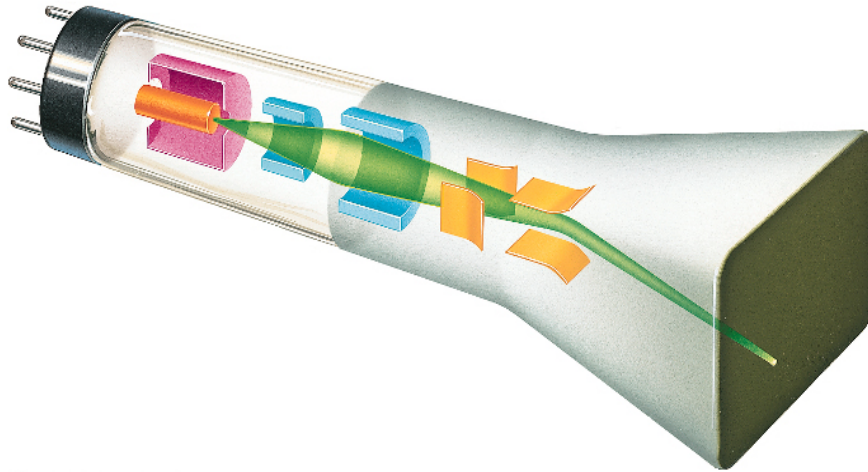
+ **Phần 3 cực (triot)** gồm Catot, lưới và anot (còn được gọi là súng điện tử).

Catot làm bằng niken hình trụ đáy phẳng phủ oxit để phát ra điện tử. Một sợi đốt nằm bên trong Catot có nhiệm vụ nung nóng Catot để tăng cường thêm số điện tử phát xạ. Sợi đốt có điện thế khoảng 6,3V nhưng Catot có điện thế xấp xỉ -2kV .

Lưới là một cốc Niken có lỗ ở đáy bao phủ lấy Catot. Thế của lưới xấp xỉ từ -2kV đến $-2,05\text{kV}$ để điều khiển dòng electron từ Catot hướng tới màn hình. Khi thế của lưới thay đổi sẽ điều chỉnh lượng electron bắn ra khỏi Catot, tức là làm cho điểm sáng trên màn hình có độ chói khác nhau. Vì vậy thành phần điều khiển thế của lưới còn gọi là thành phần điều khiển độ chói.

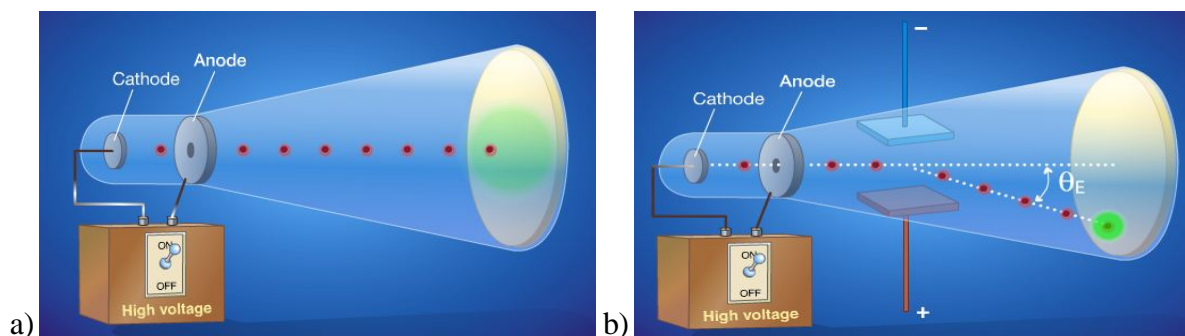
Anot gồm từ 2 đến 3 anot. Anot đầu tiên có thế dương hơn Catot để hút và gia tốc cho chùm tia điện tử, anot tiếp theo sẽ hội tụ chùm tia điện tử trong quá trình bay về phía màn hình, vì

thể nó còn được gọi là các điện cực điều tiêu hay thấu kính điện tử. Vì các electron cùng mang điện tích âm nên chúng có xu hướng đẩy nhau, nghĩa là chùm tia điện tử sẽ loe rộng ra và khi đập vào màn huỳnh quang sẽ tạo ra một vùng sáng, nghĩa là hình ảnh hiển thị bị nhoè. Nhờ có các điện cực điều tiêu, chùm electron sẽ bị hội tụ lại làm cho các electron hướng tới 1 điểm nhỏ trên màn hình, tức là hình ảnh hiển thị được rõ nét, xem Hình 21.



Hình 21: Hệ thống Anot gia tốc điều chỉnh độ hội tụ của chùm điện tử

+ Hệ thống làm lệch (hay còn gọi là lái tia)



Hình 22: Tia điện tử a) bay thẳng và b) bị lệch đi dưới tác động của tấm làm lệch

Khi các tấm làm lệch ngang và đứng được tiếp đất hoặc không nối thì chùm electron có thể đi qua chúng và đập vào tâm màn hình, xem Hình 22a.

Khi đặt điện áp lên các tấm làm lệch thì các electron sẽ bị hút vào tấm có thể dương và bị đẩy ra xa khỏi tấm có thể âm. Để tác dụng của các điện áp làm lệch $+/-$ gây ra những khoảng lệch như nhau thì thế $+E/2$ phải đưa vào một tấm và thế $-E/2$ đi vào tấm còn lại (với E là thế chênh lệch giữa hai tấm), xem Hình 22b. Để xác định vị trí của điểm hiển thị trên màn hình người ta dùng 1 cặp làm lệch đứng (Y) và một cặp làm lệch ngang (X).

- Điện áp cần thiết để tạo ra 1 vạch chia độ lệch ở màn hình được gọi là **hệ số làm lệch đứng** của ống, đơn vị là V/cm
- Độ lệch do 1V tạo ra trên màn hình gọi là **độ nhạy lái tia**, đơn vị là cm/V

Ngoài ra, để tránh ảnh hưởng của điện trường giữa các cặp lái tia người ta đôi khi còn sử dụng một màn chắn cách điện giữa cặp lái tia ngang và cặp lái tia đứng.

+ **Màn hình của CRO** được mạ một lớp Photpho ở mặt trong của ống, khi chùm electron đập vào màn hình thì các electron bên trong lớp mạ sẽ chuyển lên mức năng lượng cao và khi trở

về trạng thái bình thường sẽ phát ra ánh sáng. Sự lưu sáng của photpho khá dài từ vài ms đến vài s nên mắt người mới nhìn thấy hình dạng sóng hiện lên liên tục như ảnh tĩnh. Lớp than chì có tác dụng thu hồi các electron thứ cấp vì nếu không thu hồi lại thì sự tích tụ của các electron có thể tạo ra một thể âm ở màn hình và thể âm này sẽ chống lại sự di chuyển của dòng electron tiến đến màn hình. Ngoài ra, người ta có thể sử dụng màng nhôm để thu góp electron và dẫn xuống đất. Màng nhôm này còn có tác dụng tăng cường độ chói của lớp sáng do phản xạ ánh sáng về phía màn thủy tinh và tản nhiệt cho màn hình.

Đường xoắn ốc làm bằng chất có điện trở cao kết tủa trong ống thủy tinh từ chỗ tấm lái tia tới màn hình có tác dụng gia tốc cho electron sau khi làm lệch để có được độ chói cần thiết. (nếu gia tốc trước lúc làm lệch thì sẽ làm giảm khả năng điều chỉnh dòng electron của các tấm làm lệch).

Chú ý: với các máy hiện sóng nhiều kênh (nhiều tia) thì có thể thực hiện theo 2 cách như sau:

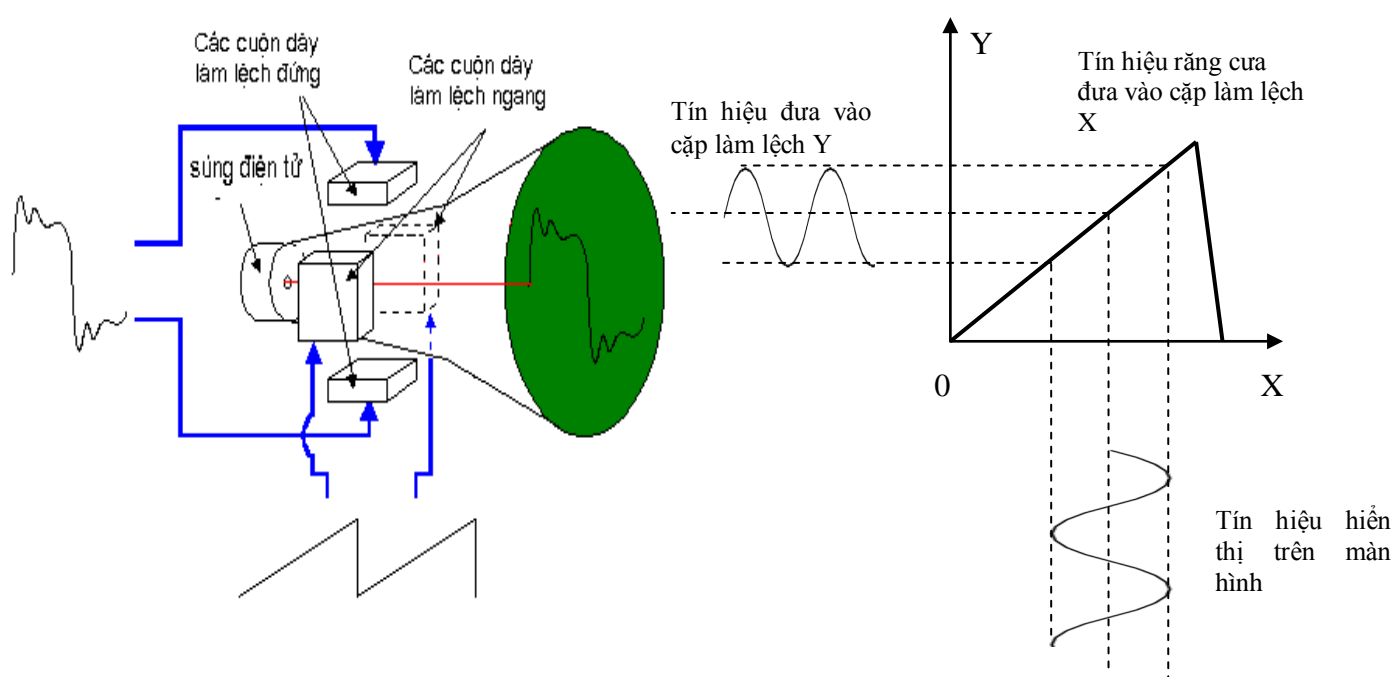
- + Sử dụng cho mỗi kênh một súng điện tử và cặp làm lệch đứng riêng nhưng cùng chung cặp làm lệch ngang
- + Sử dụng một súng điện tử, tách chùm tia điện tử thành nhiều phần trước khi cho qua các cặp làm lệch đứng (ứng với số kênh) và tất cả cùng qua một cặp làm lệch ngang.

b. Nguyên tắc hiện hình của CRO:

Catot phát ra electron và được các hệ thống điện cực điều khiển để có số lượng hạt, vận tốc và độ hội tụ cần thiết. Hệ thống làm lệch sẽ làm cho chùm tia điện tử di chuyển trên màn hình theo phương ngang và phương đứng để hiện dạng của tín hiệu.

Ở chế độ hiển thị dạng sóng thông thường tín hiệu cần hiển thị được đưa vào cặp làm lệch đứng còn một tín hiệu dạng răng cưa được đưa vào cặp lệch ngang (xem Hình 23 dưới đây).

Khi đó với tần số răng cưa (còn gọi là tần số quét) phù hợp trên màn hình sẽ có một sóng đứng của dạng sóng cần hiển thị.



Hình 23: Nguyên tắc hiện hình của CRO

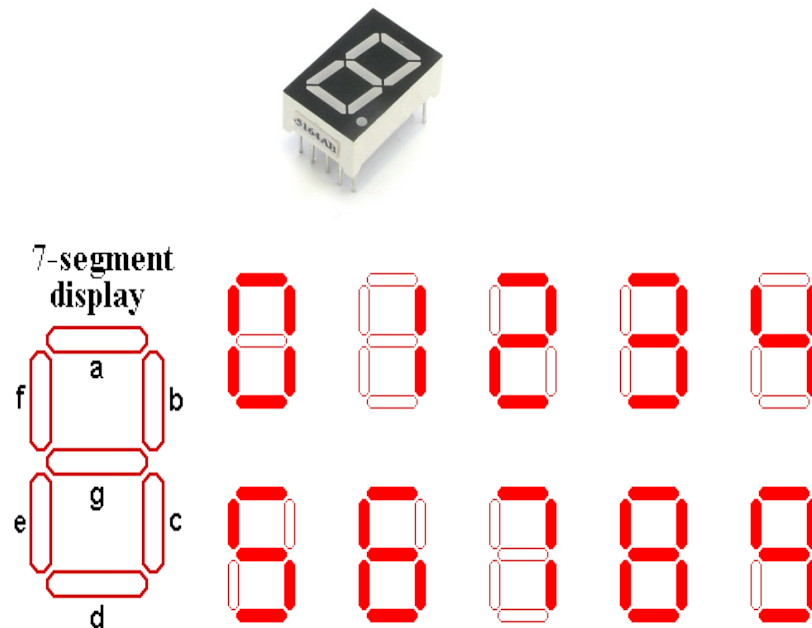
3. Cơ cấu chỉ thị số

a. Cấu tạo

Chỉ thị số là chỉ thị đưa ra kết quả đo dưới dạng con số rời rạc tùy vào độ phân giải của thang đo. Chỉ thị loại này có thể dưới dạng đèn thập phân, LED 7 vạch, LCD 7 vạch và thậm chí là ma trận LED, hay ma trận LCD.

Ví dụ : Hiển thị 7 vạch

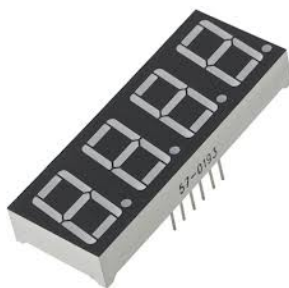
Đèn hiển thị LED 7 vạch có thể là loại anốt chung hoặc catốt chung. Chúng có thể biểu diễn tới 16 ký tự trong đó có 10 số và 6 chữ cái như hình dưới đây:



Hình 24: LED 7 vạch và các ký tự số hiển thị được

b. Thông số cơ bản của chỉ thị số:

- **Loại màn hình:** dựa vào cấu tạo để xác định loại màn hình LED, LCD hay đèn halogen
- **Số hiển thị :** đây là thông số cho biết khả năng hiển thị các giá trị của màn hình. Mỗi số hiển thị được gọi là đầy đủ nếu hiển thị được từ 0 đến 9 ; nếu hiển thị 0 hoặc 1 thì là loại $\frac{1}{2}$ số ; nếu hiển thị 0 đến 3 thì là loại $\frac{3}{4}$ số. Xem bảng sau để thấy sự khác biệt về giá trị hiển thị của một số loại màn hình dù hình thức của chúng là như nhau.



Ký hiệu loại màn hình	Dải giá trị hiển thị	Số giá trị khác nhau
4 số	0000 đến 9999	10000
$3\frac{3}{4}$	0000 đến 3999	4000
$3\frac{1}{2}$	0000 đến 1999	2000

Hình 25: 4 LED 7 thanh và bảng giá trị hiển thị được theo số màn hình

- **Độ phân giải :**

$$r = 1 / X$$

với X là số giá trị khác nhau mà màn hình hiển thị được

Ví dụ : Màn hình loại 4 số có độ phân giải là : $1/10000 = 10^{-4}$

Màn hình loại $3^{1/2}$ số có độ phân giải là : $1/2000 = 5.10^{-4}$

- **Độ nhạy :** là sự thay đổi nhỏ nhất ở phía đầu vào mà thiết bị đo phát hiện được. Nó được tính bằng công thức :

$$S = r \times \text{ĐLTT}_{\min}$$

Với r là độ phân giải ; ĐLTT_{\min} là giá trị của thang đo bé nhất

Ví dụ : một Vôn kế số có thang đo 10V, 100V và 500V ; loại màn hình hiển thị là 4 số. Khi đó số giá trị có thể hiển thị được của loại màn hình này là 10^4 , vì vậy độ nhạy $S = 10^{-4} \times 10\text{V} = 0,001\text{V}$

Cơ cấu chỉ thị số có ưu điểm là hiển thị kết quả duy nhất, không phụ thuộc vào người quan sát. Tuy nhiên, cơ cấu này đòi hỏi mạch đo phức tạp nên thiết bị hiển thị số thường khá đắt so với thiết bị chỉ thị kim. Ngoài ra, việc thiết bị số hoạt động còn chính xác hay không khó xác định hơn so với chỉ thị kim và không thể điều chỉnh từ bên ngoài. Trong khi đó thiết bị chỉ thị kim có cơ cấu chỉnh zero rất đơn giản và hiệu quả.



Hình 26: Một số thiết bị đo hiển thị số nhờ LED hoặc LCD

III. CÁC MẠCH ĐO LƯỜNG VÀ GIA CÔNG TÍN HIỆU

Mạch đo lường và gia công tín hiệu làm nhiệm vụ biến đổi, gia công tính toán, phối hợp các tín tức với nhau trong một hệ vật lý thống nhất. Có thể coi mạch đo lường là một khâu tính toán, thực hiện các phép tính đại số trên sơ đồ mạch nhờ vào kỹ thuật điện tử theo yêu cầu của thiết bị đo. Mạch đo lường có nhiều loại khác nhau với các chức năng và thông số cụ thể, dưới đây là một số mạch thông dụng nhất.

1. Mạch tỉ lệ

Đây là mạch rất thông dụng trong các mạch đo lường, có hai loại là mạch tỉ lệ về dòng và mạch tỉ lệ về áp.

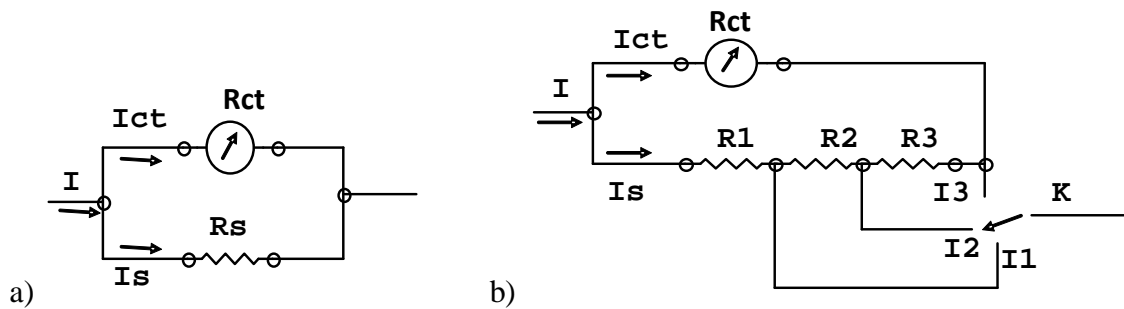
a. Mạch tỉ lệ về dòng

Để biến đổi dòng trong mạch một chiều người ta mắc các điện trở sun còn trong mạch xoay chiều người ta sử dụng các biến dòng điện.

* Điện trở sun là điện trở thường có giá trị nhỏ, được mắc song song với cơ cấu chỉ thị dùng để chia dòng một chiều.



Hình 27: a) Mô tả điện trở sun 4 cực ; b) Hình dạng thực tế



Hình 28: a) Sơ đồ mắc 1 điện trở sun và
b) Sơ đồ mắc nhiều điện trở sun

Điện trở sun có cấu trúc đặc biệt với 4 đầu (xem Hình 27). Hai đầu dòng để đưa dòng I_s vào còn hai đầu áp sẽ lấy áp ra mắc với cơ cấu chỉ thị. Điện trở sun được chế tạo với dòng từ mA đến 10.000A và điện áp khoảng 60, 75, 100, 150 và 300mV.

R_s , R_{ct} là điện trở sun và điện trở của cơ cấu chỉ thị

n là hệ số chia dòng. Khi đó xác định được:

$$R_s = \frac{R_{ct}}{n-1}$$

$$n = \frac{I}{I_{ct}}$$

Muốn dùng điện trở sun có nhiều hệ số chia dòng khác nhau người ta mắc như Hình 28b.

Khi đó:

$$R_{s1} = R_1 = \frac{R_{ct} + R_2 + R_3}{n_1 - 1}, n_1 = \frac{I_1}{I_{ct}}$$

$$R_{s2} = R_1 + R_2 = \frac{R_{ct} + R_3}{n_2 - 1}, n_2 = \frac{I_2}{I_{ct}}$$

$$R_{s3} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{R_{ct}}{n_3 - 1}, n_3 = \frac{I_3}{I_{ct}}$$

Chú ý: Dòng xoay chiều nếu muốn dùng điện trở sun để chia thì tải phải là thuần trở.

* **Biến dòng điện**

Biến dòng thực chất là một biến áp mà cuộn sơ cấp chỉ có 1 vòng và chính là dòng điện lớn cần chia nhỏ ra còn cuộn thứ cấp sẽ có nhiều vòng dây tùy vào tỉ lệ chia. Nếu biến dòng lý tưởng và không có tổn hao thì hệ số tỉ lệ K được tính bằng:

$$K_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

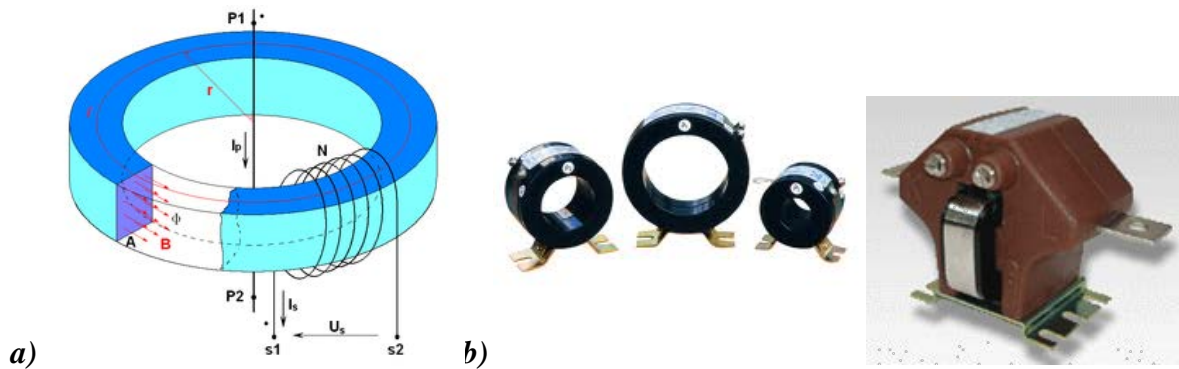
với I_1, I_2 là dòng qua cuộn sơ cấp và thứ cấp; N_1, N_2 là số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp.

Biến dòng được sử dụng nhằm lấy được dòng nhỏ ở bên thứ cấp tỉ lệ với bên sơ cấp nên số vòng dây N_2 lớn hơn rất nhiều so với số vòng dây N_1 .

Biến dòng thường được làm bằng lõi thép silic hình chữ E, O hay Π có tiết diện dây quấn lớn hơn và số vòng nhỏ hơn biến áp động lực. Biến dòng cần có tổn hao lõi thép nhỏ và điện trở tải (R_{ct}) càng nhỏ càng tốt.

Biến dòng được chế tạo với điện áp từ 0,5 – 35kV; dòng sơ cấp định mức từ 0,1 – 25.000A; dòng thứ cấp định mức là 1A hoặc 5A; cấp chính xác là 0,05 – 0,5

Cuộn thứ cấp thường ngắn mạch và nối đất để tránh trường hợp cuộn thứ cấp hở mạch gây ra điện áp cực lớn (hàng chục V tới hàng kV) vì biến dòng thực chất là một biến áp tăng áp.

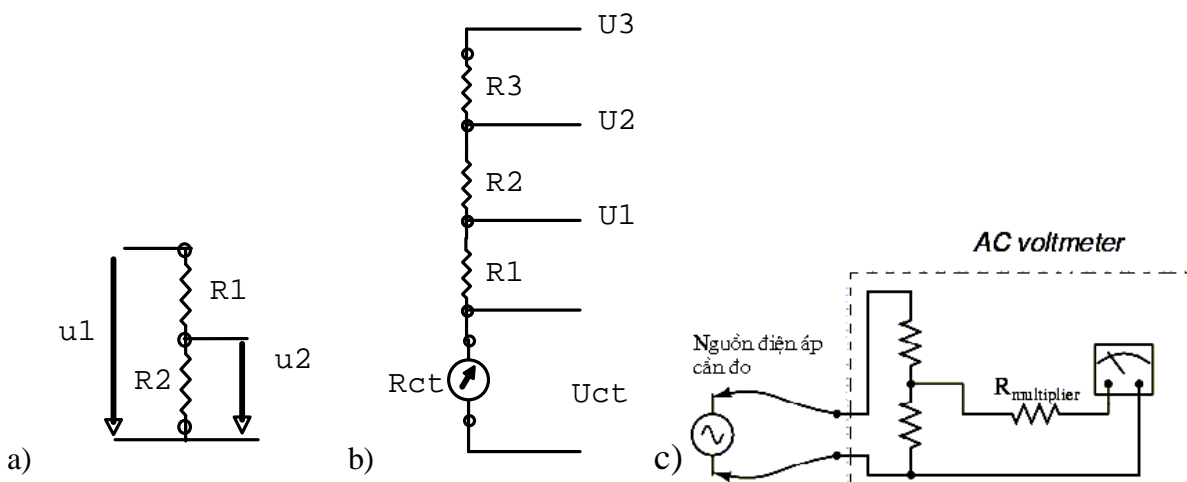


Hình 29: a) Cấu trúc và b) Hình dạng thực tế của biến dòng

b. Mạch tỉ lệ về áp

Có hai mạch phân áp cơ bản là mạch sử dụng điện trở và mạch sử dụng tụ điện

*** Mạch phân áp điện trở**



Hình 30: a) Nguyên tắc chung của mạch phân áp; b) Mạch phân áp nhiều điện trở và c) Mạch phân áp đầu vào của Vôn kế

Xem Hình 30a, gọi hệ số phân áp là: $m = \frac{U_1}{U_2}$. Khi đó:

$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I(R_1 + R_2)}{I \cdot R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

Khi tải là những cơ cấu chỉ thị có điện trở không đổi, người ta dùng R_2 là điện trở của ngay bản thân chỉ thị. R_1 gọi là điện trở phụ.

$$R_1 = R_2 \cdot (m - 1)$$

$$\Rightarrow R_p = R_{ct} \cdot (m - 1)$$

Để tăng thêm độ chính xác người ta sử dụng biến trở trượt được gắn thang chia độ, trên ấy có khắc hệ số phân áp tương ứng hoặc các hệ số phân áp nhảy cấp.

Điện áp vào U_1 cố định, điện áp ra U_2 có thể từ $0,0001U_1$ đến $0,9999U_1$.

Khi muốn có nhiều hệ số chia áp khác nhau người ta có thể mắc điện trở phụ như Hình 30b.

Trong đó:

$$R_{p1} = R_1 = R_{ct}(m_1 - 1) \quad \text{với} \quad m_1 = \frac{U_1}{U_{ct}}$$

$$R_{p2} = R_1 + R_2 = R_{ct}(m_2 - 1) \quad \text{với} \quad m_2 = \frac{U_2}{U_{ct}}$$

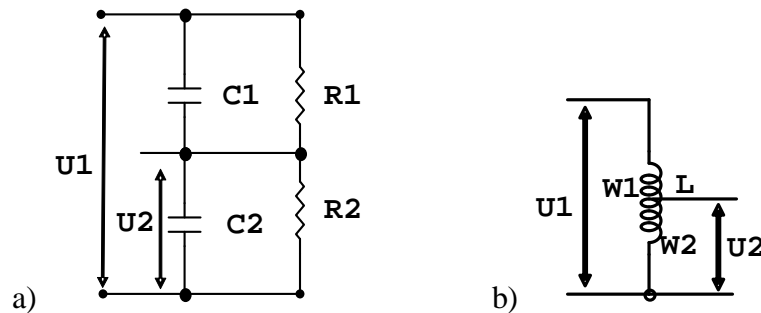
$$R_{p3} = R_1 + R_2 + R_3 = R_{ct}(m_3 - 1) \quad \text{với} \quad m_3 = \frac{U_3}{U_{ct}}$$

Mạch

phân áp điện trở thường

được sử dụng trong các mạch vào của các dụng cụ đo, ví dụ như được sử dụng trong vôn kế xoay chiều, xem Hình 30c.

*** Mạch phân áp điện dung và điện cảm**



Hình 31: a) Mạch phân áp điện dung và b) Mạch phân áp điện cảm dùng biến áp tự ngẫu

Các mạch này thường được sử dụng trong mạch xoay chiều. Từ Hình 31a ta có hệ số phân áp được tính bằng công thức sau:

$$m = \frac{U_1}{U_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$\text{với } Z_1 = R_1 // C_1 = \frac{1}{1/R_1 + j\omega C_1}$$

$$Z_2 = R_2 // C_2 = \frac{1}{1/R_2 + j\omega C_2}$$

$$\Rightarrow m = 1 + \frac{1/R_2 + j\omega C_2}{1/R_1 + j\omega C_1} = 1 + \frac{C_2 + \frac{1}{j\omega R_2}}{C_1 + \frac{1}{j\omega R_1}}$$

Khi tần số ω khá lớn thì có thể tính m như sau:

$$m = 1 + \frac{C2}{C1}$$

Nghĩa là chỉ phụ thuộc vào giá trị điện dung của các tụ điện. Do đó, mạch phân áp điện dung thường được sử dụng trong mạch có tần số cao như máy hiện sóng hay Vôn kế cao tần.

Xem Hình 31b.

Có thể coi mạch như một biến áp tự ngẫu, đầu vào và đầu ra được nối với nhau cả về phần điện lẫn phần từ.

Khi đó hệ số phân áp là:

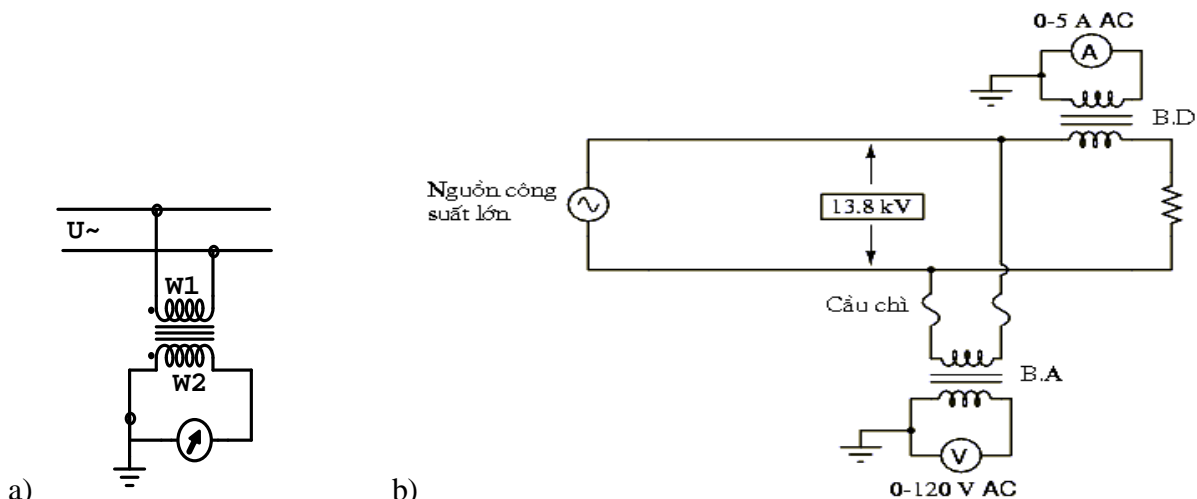
$$m = \frac{U1}{U2} = \frac{W1}{W2}$$

Với W1, W2 là số vòng dây của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp

Để đảm bảo điều kiện biến áp lý tưởng lõi thép phải chế tạo kiểu mạch từ kín, từ thông móc vòng đều trên toàn cuộn phân áp, từ thông tản vừa nhỏ vừa đều. Muốn vậy lõi thép phải là hình xuyên bằng những lá thép mỏng (dày cỡ 0,03mm). Cuộn dây được quấn đồng đều và chia làm nhiều đoạn ứng với số cấp của phân áp. Mạch phân áp điện cảm sẽ có sai số nhiều khi tần số thay đổi nhưng lại có ưu điểm là khi tải đầu ra thay đổi m hầu như không đổi.

* Mạch biến áp đo lường

Đầu vào / ra có thể liên hệ với nhau bằng điện và từ (trong trường hợp biến áp tự ngẫu) hoặc chỉ bằng từ và cách điện với nhau.



Hình 32: a) Sơ đồ nguyên tắc của biến áp đo lường và b) Đo điện áp lớn và dòng lớn nhờ sử dụng biến dòng và biến áp

Hệ số phân áp là:
$$m = \frac{U1}{U2} = \frac{W1}{W2}$$

Mạch biến áp này dùng để đo điện áp xoay chiều có điện áp rất cao ở cuộn sơ cấp bằng một Vôn kế có khả năng đo điện áp nhỏ hơn rất nhiều mắc ở cuộn thứ cấp. Khi đó hệ số phân áp m đã biết nên có thể tính $U1 = m.U2$

Vôn kế phải có điện trở rất lớn, ngoài ra, để đề phòng dòng lớn xuất hiện khi hai đầu cuộn thứ cấp bị chạm người ta mắc một đầu xuống đất.

Sai số của biến áp giống của biến dòng, nó gồm sai số về modun và pha. Cấp chính xác của biến áp là 0,05; 0,1; 0,2 và 0,5.

Hình 32b mô tả một mạch đo công suất của nguồn có điện áp và dòng rất lớn nhờ sử dụng biến áp và biến dòng để hạ áp, hạ dòng xuống giá trị nhỏ có thể đo được bằng Vôn kế và Ampe kế thông thường.

2. Mạch khuếch đại đo lường

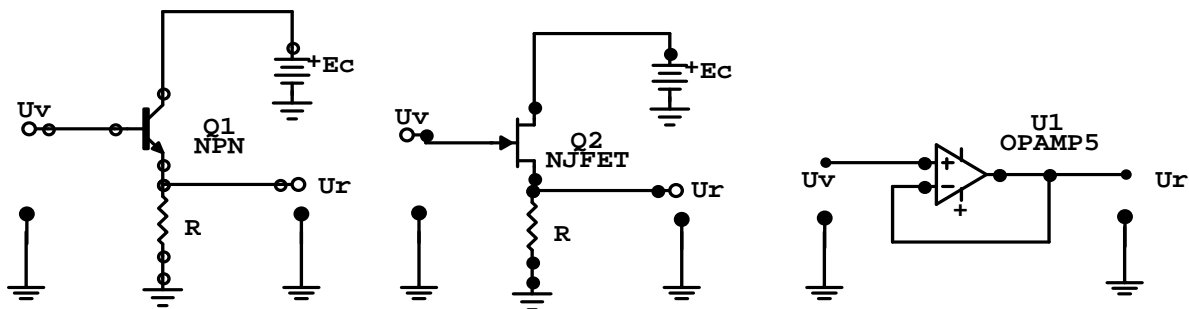
Mạch khuếch đại cho tín hiệu ra có công suất lớn hơn rất nhiều so với đầu vào. ở phương tiện gia công tin tức thì $X_r = K.X_v$

Mạch khuếch đại đo lường còn có khả năng mở rộng đặc tính tần của thiết bị đo và đặc biệt là tăng độ nhạy lên nhiều lần cũng như tăng trở kháng đầu vào của thiết bị.

Mạch khuếch đại có thể được thực hiện bởi đèn điện tử, đèn bán dẫn và vi mạch.

a. Mạch khuếch đại dòng (lập điện áp)

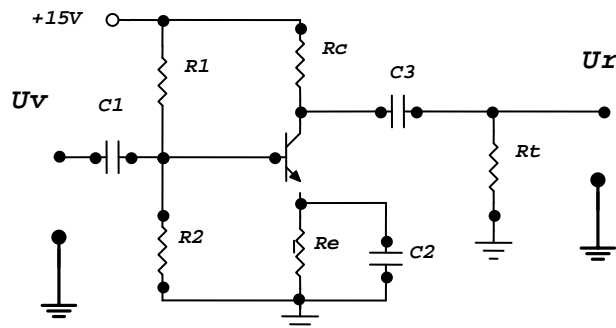
Mạch này có nhiệm vụ khuếch đại dòng điện lên giá trị lớn hơn còn điện áp lặp lại như đầu vào hoặc suy giảm chút ít.



Hình 33: Ví dụ một số sơ đồ lập điện áp

b. Mạch khuếch đại công suất

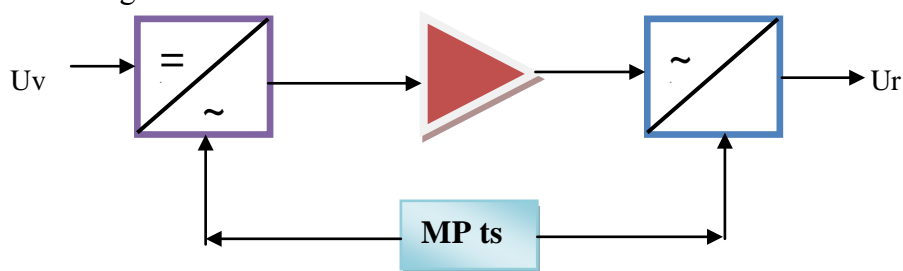
Đây là mạch kết hợp cả khuếch đại dòng và khuếch đại áp để có công suất lớn.



Hình 34: Sơ đồ khuếch đại công suất dùng transistor mắc kiểu emito chung.

c. Mạch khuếch đại điều chế

Khi cần khuếch đại các thành phần một chiều, người ta phải sử dụng các bộ khuếch đại vì sai nhưng hiện tượng trôi điểm lệch 0 và lệch điện áp ra là không thể tránh khỏi. Do đó, người ta thường biến đổi tín hiệu một chiều thành tín hiệu xoay chiều, sau đó khuếch đại tín hiệu xoay chiều này và cuối cùng lại biến đổi về tín hiệu một chiều. Sơ đồ khối của bộ khuếch đại điều chế được mô tả trong Hình 35.



Hình 35: Sơ đồ khối của bộ khuếch đại điều chế

Bộ $=/\sim$: chuyển từ tín hiệu một chiều sang tín hiệu xoay chiều tương ứng

Bộ $\sim/=$: chuyển từ tín hiệu xoay chiều sang tín hiệu một chiều

Máy phát tần số (MP ts) có nhiệm vụ đóng mở 2 khoá điện tử ở đầu vào và ra của bộ khuếch đại

d. Mạch khuếch đại cách ly

Khi cần khuếch đại một điện áp hoặc dòng điện nhưng yêu cầu phải cách ly về điện người ta sử dụng các biến áp hoặc ghép quang.

3. Mạch gia công tính toán

Bao gồm các mạch cộng, trừ, nhân, chia, tích phân, vi phân, logarit, đối logarit ...

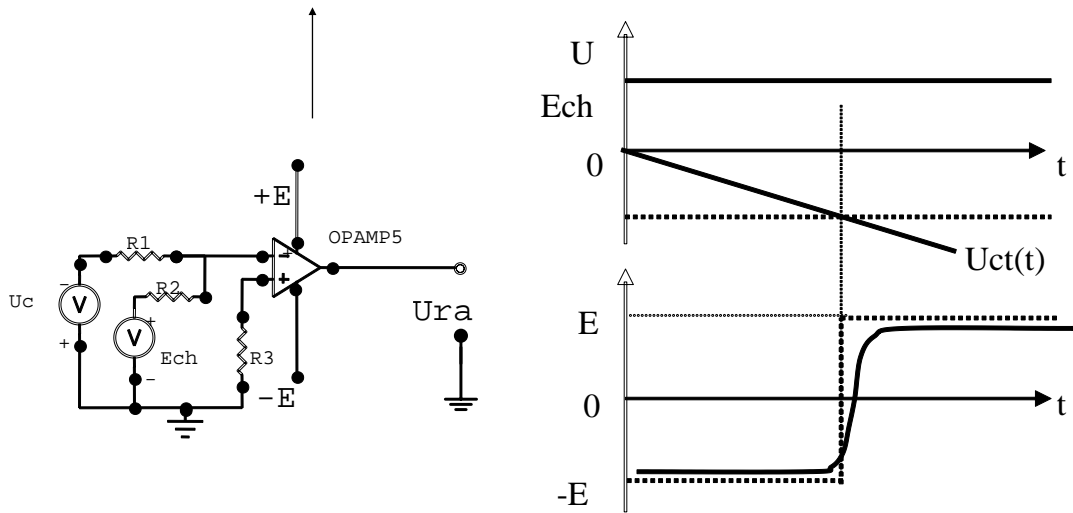
Thông thường các mạch này sử dụng các bộ KĐTT để làm phần tử tích cực.

4. Mạch so sánh

Trong kỹ thuật đo lường điện tử người ta sử dụng rất nhiều những bộ so sánh để phát hiện thời điểm bằng nhau của 2 đại lượng vật lý nào đó.

Ví dụ về một số mạch so sánh thông dụng.

a. Mạch so sánh các tín hiệu khác dấu bằng KĐTT mắc theo một đầu vào



Hình 36: Sơ đồ mạch so sánh một đầu vào và dạng điện áp đầu vào/đầu ra

Sơ đồ trong hình trên có $U_c(t)$ là điện áp cần so sánh với điện áp chuẩn một chiều E_{ch} với điều kiện U_c và E_{ch} ngược dấu nhau.

+ Khi độ lớn của U_c nhỏ hơn độ lớn của $\frac{R1}{R2} E_{ch}$ thì E_{ch} sẽ quyết định chế độ làm việc của bộ KĐTT. Do đó điện áp ra: $U_r \approx -E$ vì $E_{ch} > 0$ đi vào cửa đảo và bộ KĐTT làm việc ở chế độ bão hoà

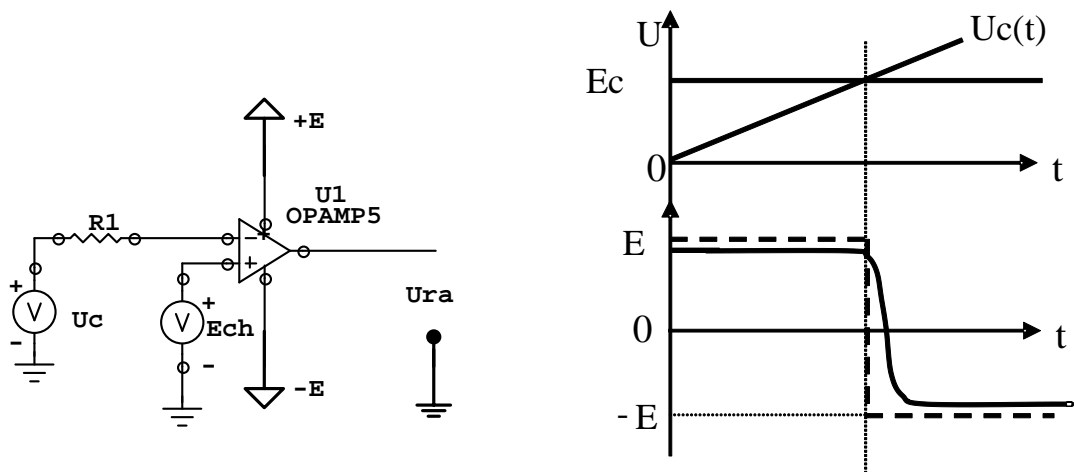
+ Khi độ lớn của U_c lớn hơn độ lớn của $\frac{R1}{R2} E_{ch}$ thì U_c sẽ quyết định chế độ làm việc của bộ KĐTT. Khi đó điện áp ra: $U_r \approx +E$ vì $U_c(t) < 0$ đi vào cửa đảo

Chú ý: Thực tế khi bộ KĐTT làm việc ở chế độ bão hoà giá trị điện áp ra nhỏ hơn giá trị điện áp nguồn cung cấp.

Tại thời điểm $U_c(t) = -\frac{R1}{R2} E_{ch}$ bộ KĐTT chuyển trạng thái nhưng do các thành phần ký sinh trong mạch nên có một độ trễ $\Delta\tau$ nhất định. Do đó, đặc tuyến thực tế có dạng đường liền như hình trên thay vì đường nét đứt là đặc tuyến lý tưởng.

b. Mạch so sánh các tín hiệu cùng dấu bằng KĐTT mắc 2 đầu vào

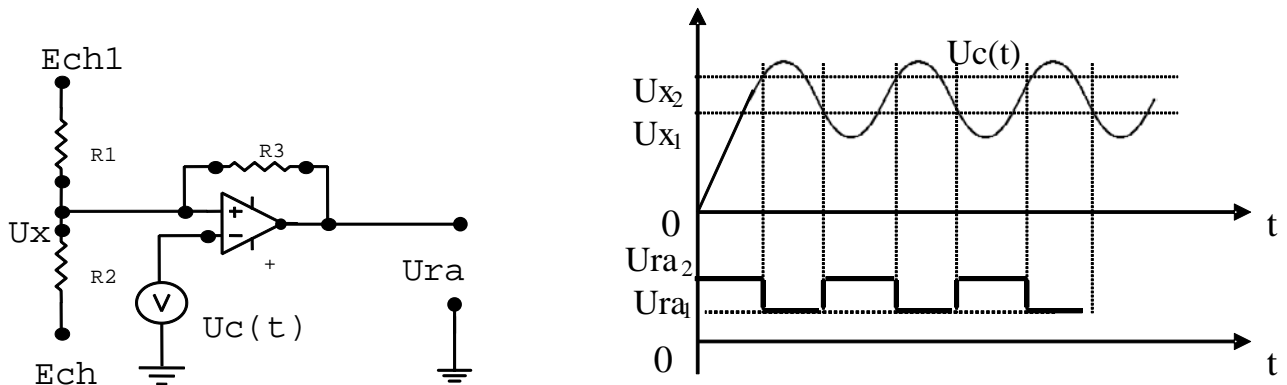
Sơ đồ mạch và biểu đồ điện áp cho ở hình dưới đây:



Hình 37: Sơ đồ mạch so sánh 2 đầu vào và dạng điện áp vào / ra

Khi đó: + Khi $U_c(t) < E_{ch}$ ta có: $U_{ra} = +E$
 + Khi $U_c(t) > E_{ch}$ ta có: $U_{ra} = -E$

c. Mạch so sánh 2 mức



Hình 38: Sơ đồ mạch so sánh 2 mức và dạng điện áp vào/ra

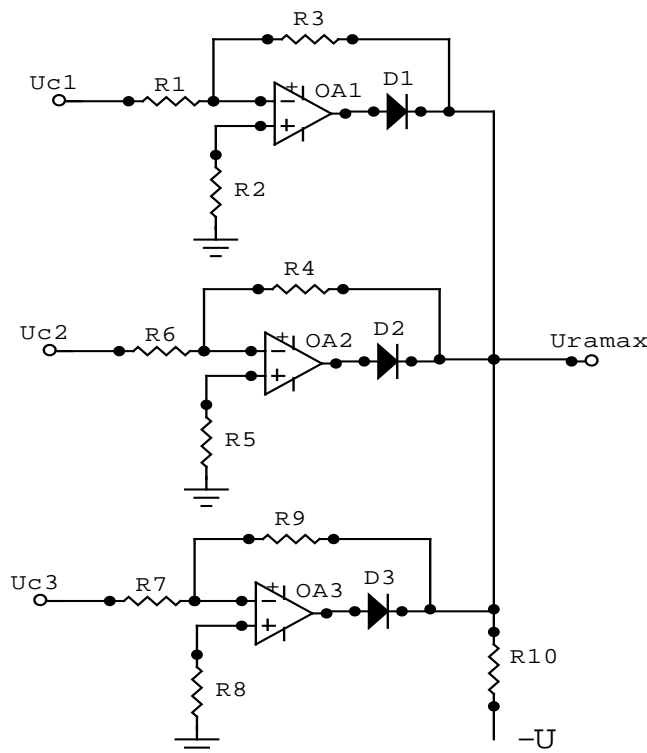
Mạch được sử dụng trong hệ thống kiểm tra hay điều chỉnh tự động một thông số nào đó luôn phải nằm trong khoảng giữa 2 mức cho trước ($U_{x1} < U_{x2}$).

Trong sơ đồ mạch trên, 2 mức U_x được xác định bởi 2 nguồn điện áp chuẩn E_{ch} .

+ Khi $U_c(t) > U_{x2}$ tín hiệu ra $U_{ra} = U_{r1}$ và giá trị này được giữ nguyên tới khi $U_c(t)$ giảm xuống U_{x1}

+ Khi $U_c(t) = U_{x1}$ có sự thay đổi trạng thái của $U_{ra} = U_{r2}$ và giá trị U_{r2} được giữ tới khi $U_c(t)$ giảm xuống đỉnh âm và tăng tới U_{x2}

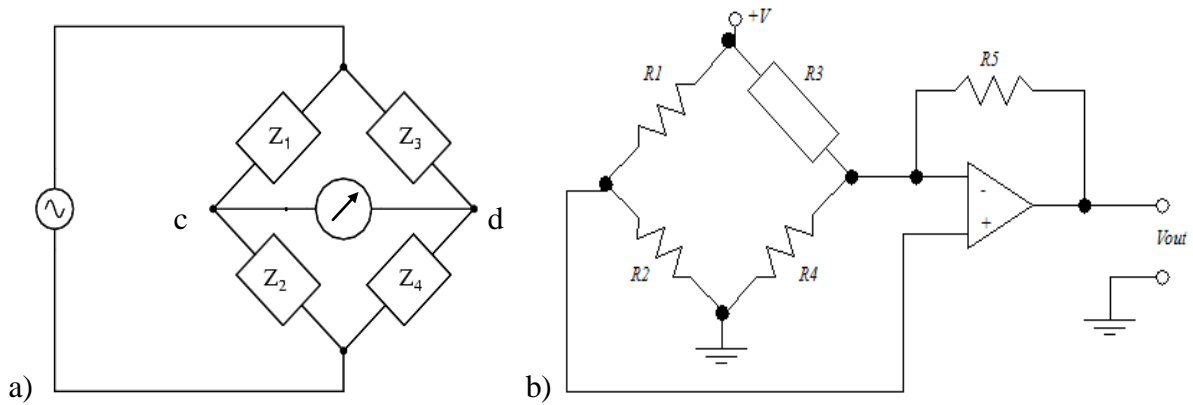
d. Mạch so sánh cực đại



Hình 39: Mạch chọn giá trị lớn nhất trong số các giá trị đầu vào

Các đầu Catot của các diode bị ghim ở một mức xác định phụ thuộc vào giá trị của U . Nếu U_c nào có giá trị vượt giá trị chuẩn cho phép thì diode tương ứng với nó sẽ thông. Tuy nhiên nếu có nhiều U_c cùng vượt giá trị chuẩn thì diode ứng với giá trị U_{cmax} sẽ thông và đầu ra sẽ là hàm của U_{cmax} đó, nghĩa là mạch đã chọn được giá trị cực đại trong số các đầu vào vượt giá trị chuẩn.

e. Mạch cầu đo



Hình 40: a) Sơ đồ mạch nguyên lý và b) Mạch đo nhiệt độ bằng cách đo điện trở của một điện trở nhiệt R_3

Mạch cầu đo là một mạch rất thông dụng để đo chính xác các giá trị của điện trở, điện cảm hay điện dung và là dụng cụ để phát hiện độ lệch áp rất nhỏ. Khi dùng để đo điện trở người ta dùng nguồn cung cấp một chiều nên gọi là cầu một chiều còn khi đo điện dung và điện cảm người ta dùng nguồn cung cấp xoay chiều nên gọi là cầu xoay chiều.

Xem Hình 40a, tại thời điểm cầu cân bằng $U_{cd} = 0$ và giá trị trở kháng trên các nhánh phải thỏa mãn điều kiện:

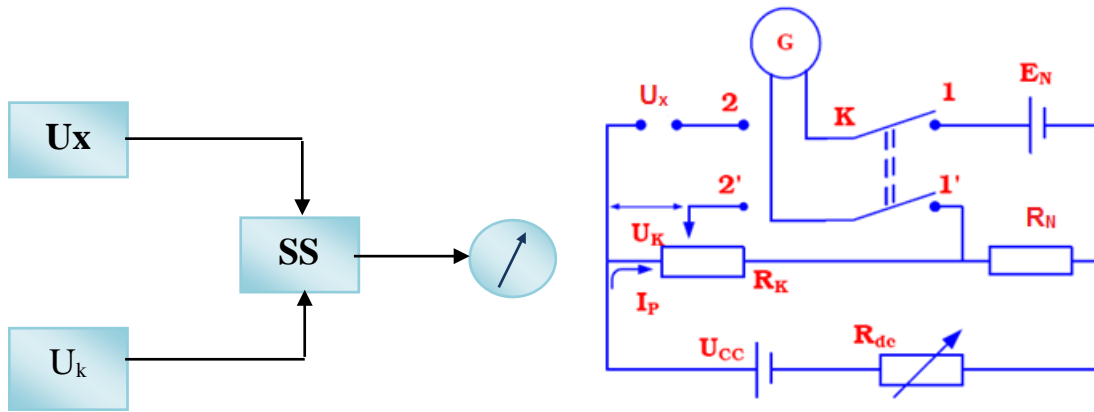
$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

Chỉ thị thường là chỉ thị lệch không, điện thế kế hoặc máy hiện sóng để phát hiện trạng thái mất cân bằng của cầu.

Hình 40b mô tả một mạch đo nhiệt độ nhờ đo giá trị của điện trở nhiệt R_3 . Khi nhiệt độ thay đổi thì R_3 thay đổi nên khi xác định được giá trị của R_3 thì sẽ xác định được giá trị của nhiệt độ. Mạch KĐTT trong mạch hoạt động như bộ so sánh để phát hiện trạng thái mất cân bằng của cầu.

f. Mạch điện thế kế

Đây là mạch đo dựa trên phương pháp so sánh cân bằng giữa 2 điện áp: điện áp cần đo là U_x và điện áp mẫu U_k .



Hình 41: Sơ đồ khối và sơ đồ thực tế của một điện thế kế

Trong đó: R_N và E_N là điện trở mẫu và pin mẫu được chế tạo với độ chính xác cao. Điện thế kế hoạt động như sau:

+ Khi K ở vị trí 1-1', điều chỉnh chiết áp R_{dc} để chỉ thị chỉ zero. Khi đó: $I_p = \frac{E_N}{R_N}$

+ Giữ nguyên R_{dc} và chuyển K sang vị trí 2-2', điều chỉnh con trượt của điện trở mẫu để chỉ thị về zero, nghĩa là dòng qua chỉ thị bằng 0, điện áp mẫu bằng điện áp cần đo.

Khi đó: $U_x = U_k = I_p \cdot R_k = \frac{E_N}{R_N} \cdot R_k$

Nếu: $\frac{E_N}{R_N} = 10^n \Rightarrow U_x = 10^n \cdot R_k$

Với n là số tự nhiên 1, 2 ... khi đó ta có thang đo theo hệ số mũ thập phân

Chỉ thị của điện thế kế thường là cơ cấu chỉ thị từ điện có độ nhạy cao ($10^{-6} - 10^{-9}$ A/vạch)

5. Mạch tuyến tính hóa

Trong kỹ thuật đo lường, chuyển đổi sơ cấp thường cho tín hiệu ra dưới dạng phi tuyến trong khi các bộ chuyển đổi chuẩn hoá thường làm việc với tín hiệu tuyến tính để giảm thiểu sai số. Do vậy, mạch thực hiện tuyến tính hoá các đặc tính phi tuyến là rất cần thiết.

a. Mạch tạo hàm tuyến tính bằng biến trở

Biến trở có thiết diện được chế tạo theo hệ số mong muốn

$$U_r = \frac{U}{R} \cdot R_x = K_1 \cdot R_x$$

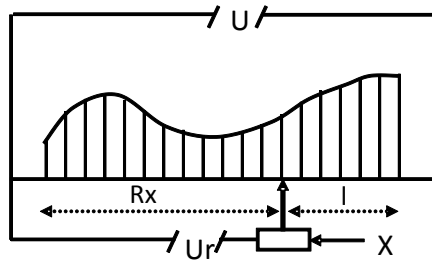
Giả sử độ di chuyển của con chạy là l , tỉ lệ với đại lượng vào X theo biểu thức:

$$l = K_2 \cdot X$$

Nếu $R_x = f(l)$ thì hàm U_r sẽ là một hàm của X theo biểu thức:

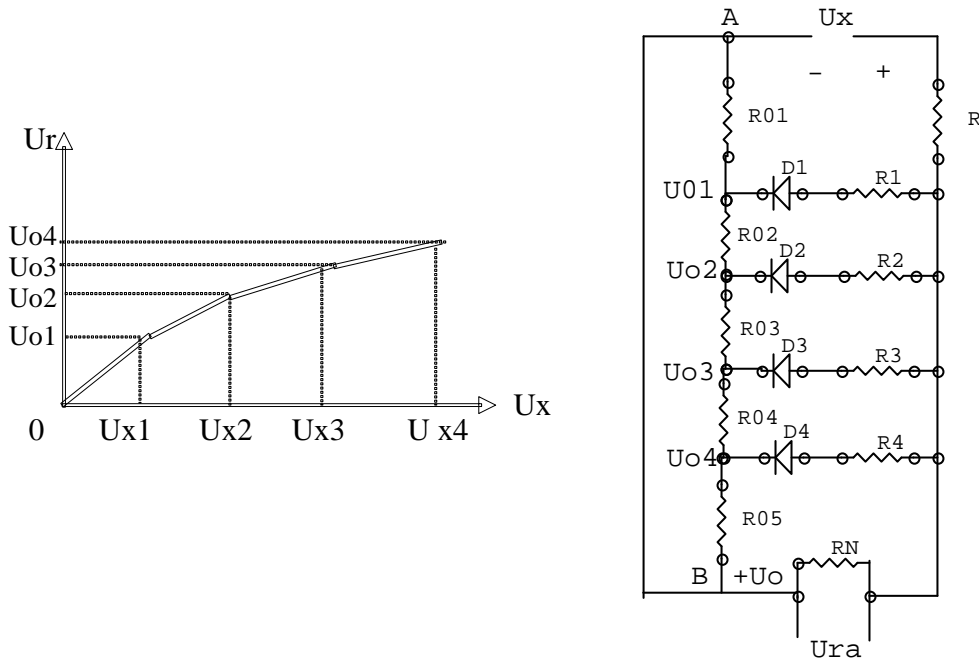
$$U_r = K_1 \cdot R_x = K_1 \cdot f(l) = K_1 \cdot f(K_2 \cdot X) = K_1 \cdot K_2 \cdot f(X) = K \cdot f(X)$$

Với K_1 , K_2 , K là hằng số.



Hình 42: Mật cắt của một biến trở

b. Mạch tạo hàm tuyến tính bằng diode bán dẫn



Hình 43: Mạch tuyến tính hoá sử dụng diode

Với mạch như Hình 43 ta thấy nhờ có các diode mạch được tuyến tính hoá theo từng đoạn.

Các điện trở R01, R02 ... tạo thành mạch phân áp với điện áp tổng là U0. Khi đó Catot của các diode có điện áp U01, U02 ... Ux là điện áp vào cần được tuyến tính hoá.

+ Khi $0 < U_x < U_{x1}$ các diode đều khoá $U_{ra} = U_x \cdot \frac{R_N}{R_N + R}$

+ Khi $U_{x1} < U_x < U_{x2}$ diode D1 dẫn, các diode còn lại khoá $U_{ra} = U_x \cdot \frac{R_N}{R_N + R^*}$

$$\text{với } R^* = R + \frac{R_N(R_{01} + R_1)}{R_N + R_{01} + R_1}$$

Quá trình tiếp tục với các đoạn gấp khúc khác

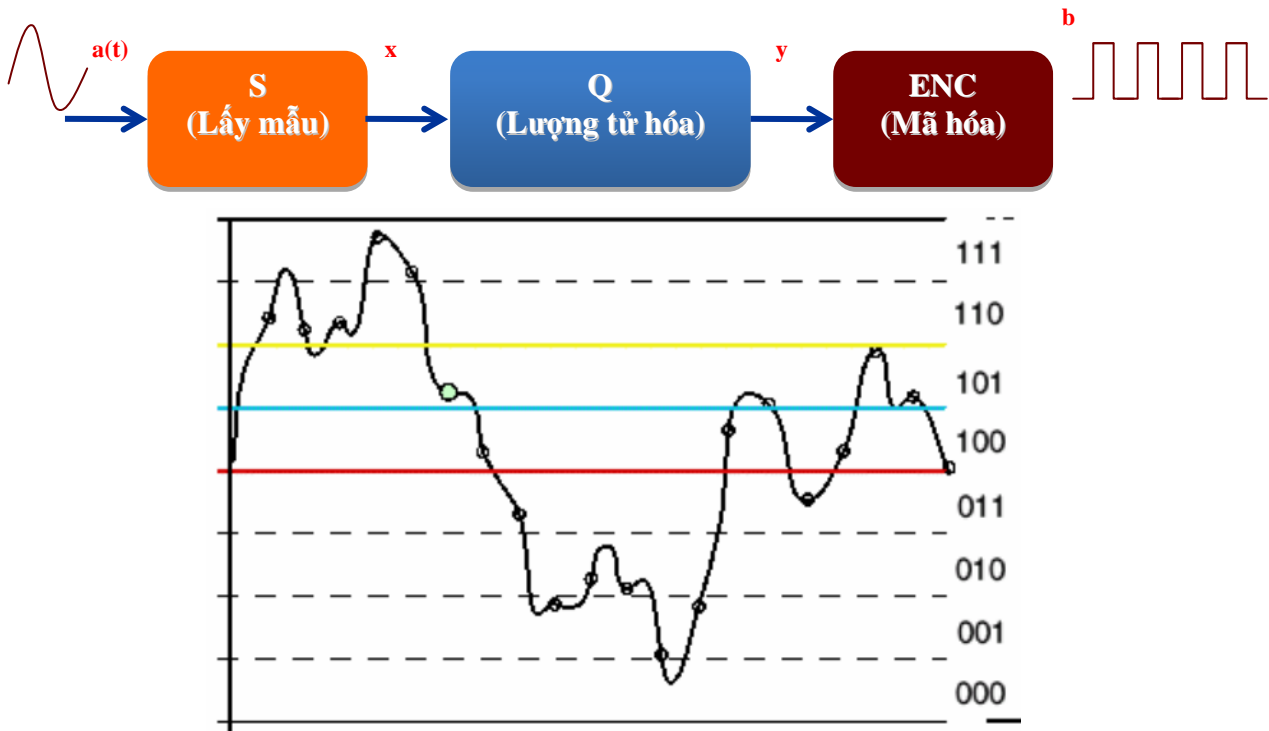
Hiện nay các hàm thường được tạo bằng vi xử lý.

6. Các bộ chuyển đổi tương tự – số A/D và số – tương tự D/A

Trong các dụng cụ đo lường chỉ thị số hoặc xử lý tín hiệu dưới dạng số người ta phải sử dụng các bộ biến đổi từ tín hiệu tương tự sang tín hiệu số gọi là bộ A/D hay ADC và khi

phải chuyển đổi ngược để khôi phục lại tín hiệu tương tự từ tín hiệu số người ta phải sử dụng các bộ chuyển đổi gọi là D/A hay DAC.

a. Các bộ biến đổi A/D



101 101 101 111 110 100 010 001 001 001 000 001 100 100 011 011 101 101 011

Hình 44: Sơ đồ khối chuyển đổi tín hiệu tương tự thành tín hiệu số và minh họa tín hiệu điện áp liên tục được chuyển thành dãy số nhị phân

Có 3 phương pháp khác nhau để biến đổi A/D :

+ **Phương pháp song song:** điện áp vào được so sánh đồng thời với n điện áp chuẩn và xác định chính xác xem nó đang ở giữa 2 mức nào. Kết quả là ta có 1 bậc của tín hiệu xấp xỉ.

Phương pháp này có tốc độ cao (điển hình là flash ADC) nhưng do phải sử dụng nhiều bộ so sánh nên tiêu hao nhiều năng lượng và giá thành rất cao.

+ **Phương pháp trọng số:** việc so sánh diễn ra cho từng bit của số nhị phân (điển hình là SAR ADC)

Cách thực hiện:

. Xác định điện áp vào có vượt điện áp chuẩn của bit già nhất (MSB) hay không. Nếu nhỏ hơn mang giá trị 0 và giữ nguyên giá trị, nếu vượt mang giá trị “1” và lấy điện áp vào trừ điện áp chuẩn tương ứng.

. Phần dư được đem so sánh với bit trẻ lân cận và lại thực hiện như trên.

. Tiếp tục tiến hành tới bit trẻ nhất (LSB).

Như vậy, trong số nhị phân có bao nhiêu bit thì có bấy nhiêu bước so sánh và điện áp chuẩn. Cách này tiêu hao năng lượng ít nhất nhưng tốc độ và độ phân giải không cao.

+ **Phương pháp số:** tiến hành so sánh lần lượt với từng đơn vị của bit trẻ nhất. Phương pháp này rất đơn giản, độ chính xác cao nhưng mất nhiều thời gian hơn phương pháp song song (điển hình là Delta-Sigma ADC)

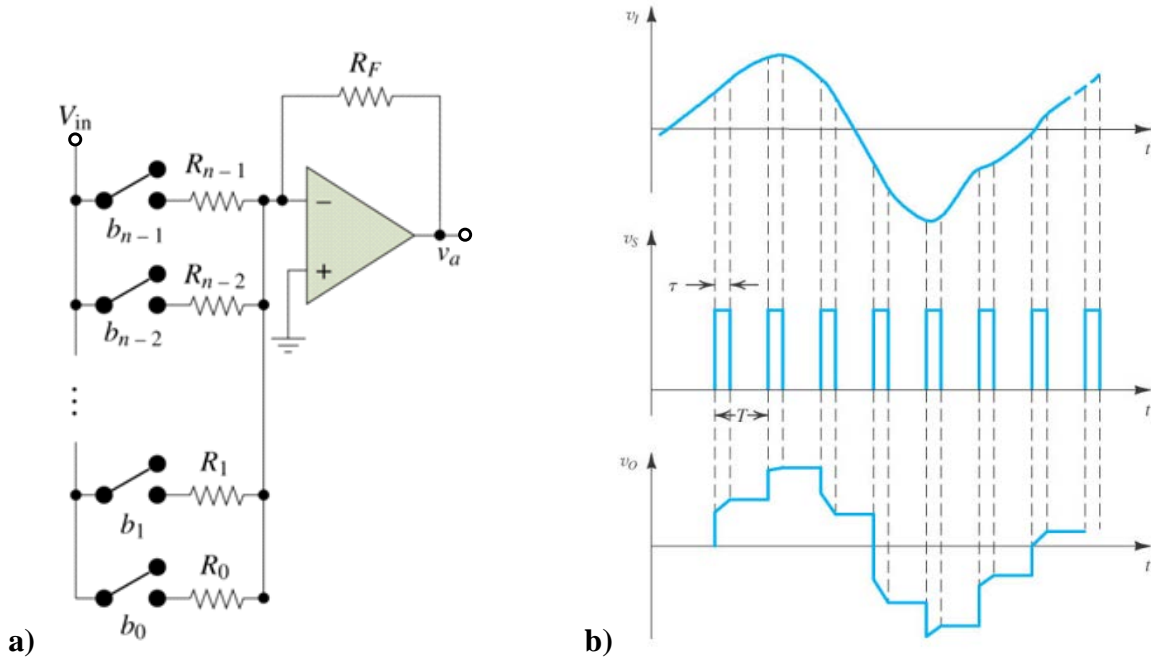
Các bộ chuyển đổi A/D trong công nghiệp

Các bộ chuyển đổi A/D hiện nay đều được sản xuất dưới dạng IC theo công nghệ CMOS.

Ví dụ: MC 14433 – bộ biến đổi A/D $3\frac{1}{2}$ bit của Motorola; A/D $3\frac{1}{2}$ bit 7106

b. Các bộ biến đổi D/A

Để biến đổi tín hiệu số (dãy số nhị phân) sang tín hiệu tương tự (dạng sóng liên tục) người ta thường dùng **phương pháp lấy tổng các dòng trọng số**, xem Hình 45a, mỗi giá trị $b_i = 0$ tương ứng với khóa điện tử mở, mỗi giá trị $b_i = 1$ tương ứng với khóa điện tử đóng.



Hình 45: a) Một sơ đồ chuyển đổi D/A và b) minh họa dạng tín hiệu qua A/D và D/A

Hình 45b minh họa dạng tín hiệu tương tự ban đầu chuyển thành dãy xung nhờ bộ ADC và khôi phục lại tín hiệu tương tự từ dãy xung nhờ bộ DAC. Rõ ràng có sự sai lệch giữa tín hiệu tương tự khôi phục lại so với tín hiệu tương tự ban đầu. Số bit của các bộ chuyển đổi càng lớn thì độ chính xác khi chuyển đổi càng cao.

IV. CHUYỂN ĐỔI ĐO LƯỜNG SƠ CẤP

1. Khái niệm chung

a. Định nghĩa

+ **Chuyển đổi đo lường**: là thiết bị thực hiện một quan hệ hàm đơn trị giữa 2 đại lượng vật lý với một độ chính xác nhất định.

Nghĩa là chuyển đổi đo lường làm nhiệm vụ biến đổi từ đại lượng vật lý này sang đại lượng vật lý khác. Mỗi quan hệ có thể là tuyến tính hay phi tuyến. Khi quan hệ này là hàm phi tuyến người ta sử dụng mạch tạo hàm để tuyến tính hoá nhằm nâng cao độ chính xác của phép đo.

+ **Chuyển đổi sơ cấp (CDSC)**: là chuyển đổi thực hiện chuyển từ đại lượng không điện thành đại lượng điện

$$Y = f(X)$$

Với X là đại lượng không điện, và Y là đại lượng điện sau chuyển đổi

+ **Sensor** / bộ cảm biến / đầu đo là dụng cụ để thực hiện chuyển đổi sơ cấp

b. Đặc tính của chuyển đổi sơ cấp

- + Tính đơn trị
- + Đặc tuyến chuyển đổi ổn định
- + Có khả năng thay thế
- + Thuận tiện trong việc ghép nối với dụng cụ đo và máy tính
- + Sai số nằm trong khoảng cho phép
- + Đặc tính động / độ tác động nhanh / trễ nhỏ
- + Tác động ngược lên đại lượng đo
- + Kích thước và trọng lượng của đầu đo

2. Phân loại các chuyển đổi sơ cấp

a. Phân loại dựa trên nguyên tắc của chuyển đổi

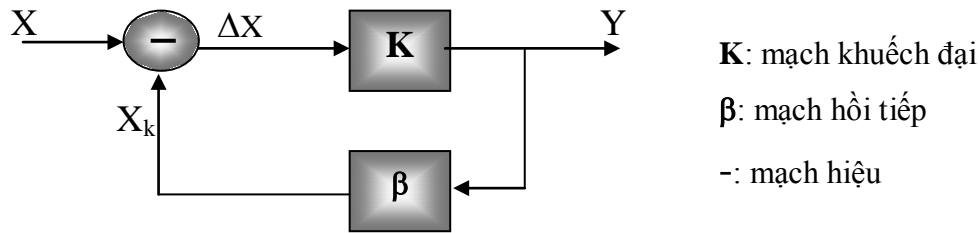
- + Chuyển đổi điện trở: là chuyển đổi trong đó đại lượng không điện X biến đổi làm thay đổi điện trở của nó
- + Chuyển đổi điện từ: là chuyển đổi làm việc dựa trên các quy luật về lực điện. X làm thay đổi các thông số của mạch từ như điện cảm L, hồ cảm M, độ từ thẩm μ và từ thông Φ
- + Chuyển đổi tĩnh điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng tĩnh điện. X làm thay đổi điện dung C hoặc điện tích Q
- + Chuyển đổi hoá điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng hoá điện. X làm thay đổi điện dẫn Y, điện cảm L, sức điện động ...
- + Chuyển đổi nhiệt điện: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiệu ứng nhiệt điện. X làm thay đổi sức điện động hoặc điện trở
- + Chuyển đổi điện tử và ion: là chuyển đổi mà X làm thay đổi dòng điện tử hoặc dòng ion chạy qua nó
- + Chuyển đổi lượng tử: là chuyển đổi làm việc dựa trên hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân

b. Phân loại theo tính chất nguồn điện:

- + Chuyển đổi phát điện hay chuyển đổi tích cực: là chuyển đổi trong đó đại lượng ra có thể là điện tích, điện áp, dòng điện hoặc sức điện động
- + Chuyển đổi thông số hay chuyển đổi thụ động: là chuyển đổi trong đó đại lượng ra là các thông số của mạch điện như điện trở, điện cảm, hồ cảm hay điện dung

c. Phân loại theo phương pháp đo

- + Chuyển đổi biến đổi trực tiếp là các chuyển đổi trong đó đại lượng không điện được biến đổi trực tiếp thành đại lượng điện
 - + **Chuyển đổi bù: đại lượng cần đo được so sánh với đại lượng mẫu. Sơ đồ cấu trúc như Hình 46.**



Hình 46: Sơ đồ khối của một CDSC kiểu bù

Từ sơ đồ trên ta thấy đại lượng mẫu X_k là kết quả chuyển đổi ngược từ kết quả đầu ra thành dạng ban đầu để so sánh với đại lượng đo X , nó cũng chính là tín hiệu sau khâu hồi tiếp, vì vậy được tính theo công thức:

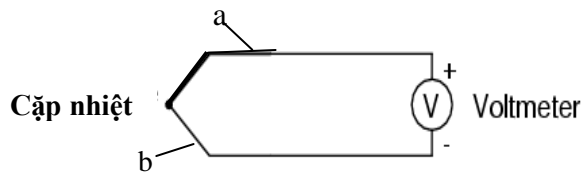
$$Y = K \cdot \Delta X = K(X - X_k) \quad \Rightarrow \quad Y = K \cdot X - K \cdot \beta \cdot Y \Rightarrow Y = \frac{K}{1 + K \cdot \beta} \cdot X$$

Nếu K rất lớn thì khi đó có thể coi $Y \approx \frac{1}{\beta} \cdot X$, nghĩa là độ chính xác của phép đo chỉ phụ thuộc vào chuyển đổi ngược.

3. Các hiệu ứng được ứng dụng trong các cảm biến tích cực

a. Hiệu ứng nhiệt điện (hiệu ứng Thomson - Seebeck)

Khi 2 thanh kim loại a, b có bản chất hoá học khác nhau được hàn với nhau tại một đầu làm việc t_1 , hai đầu còn lại là 2 đầu tự do có nhiệt độ t_0 .



Hình 47: Sơ đồ đơn giản của một cặp nhiệt điện

nếu $t_1 \neq t_0$ thì sẽ xuất hiện sức điện động giữa 2 đầu tự do: $E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - E_{ab}(t_0)$

Nếu giữ cho t_0 không đổi còn t_1 phụ thuộc vào môi trường đo nhiệt độ thì:

$$E_{ab}(t_1, t_0) = E_{ab}(t_1) - C \quad \text{với } C \text{ là hằng số } C = E_{ab}(t_0)$$

Hiệu ứng nhiệt điện được ứng dụng để chế tạo Vôn kế, Ampe kế và cả Oat kế.

b. Hiệu ứng hoá điện

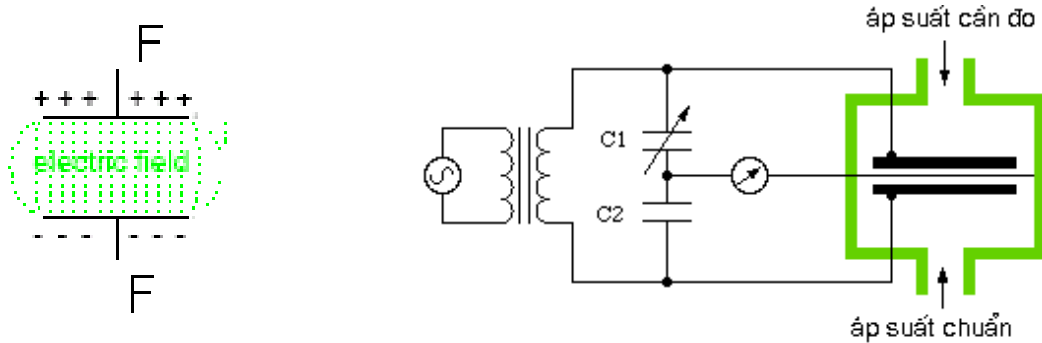
Một số tinh thể như sulfate triglycine gọi là tinh thể hoá điện vì có tính phân cực điện tự phát phụ thuộc vào nhiệt độ. Trên các bề mặt đối diện xuất hiện những điện tích trái dấu có độ lớn tỉ lệ với độ phân cực điện

Hiệu ứng hoá điện được ứng dụng để đo thông lượng của bức xạ ánh sáng. Khi tinh thể hoá điện hấp thụ ánh sáng, nhiệt độ của nó tăng lên làm thay đổi phân cực điện. Sự phân cực này có thể xác định được bằng cách đo sự biến thiên của điện áp trên 2 cực của tụ điện

c. Hiệu ứng áp điện (piezo)

Khi tác dụng một lực cơ học lên 1 vật làm bằng vật liệu áp điện (như thạch anh, muối tualatine ...) sẽ gây ra biến dạng cho vật đó và làm xuất hiện lượng điện tích trái dấu trên hai mặt đối diện của vật.

Hiệu ứng này được ứng dụng để xác định lực hoặc các đại lượng gây nên lực tác dụng lên vật liệu áp điện (như áp suất, gia tốc ...) thông qua việc đo điện áp trên 2 bản cực tụ.

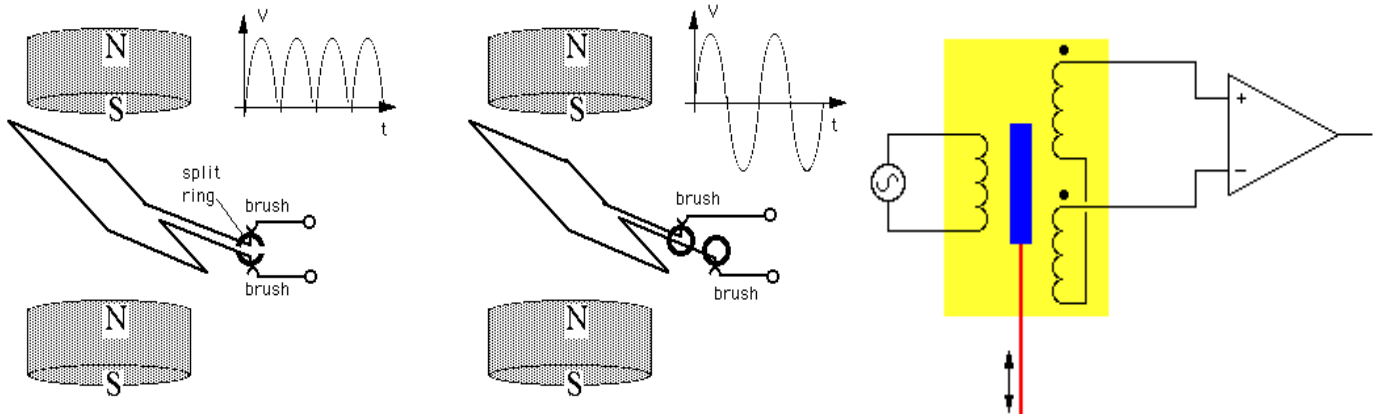


Hình 48: Hiệu ứng áp điện và một mạch đo áp suất nhờ hiệu ứng áp điện

d. Hiệu ứng cảm ứng điện từ

Trong một dây dẫn chuyển động trong từ trường không đổi sẽ xuất hiện một sức điện động tỉ lệ với từ thông cắt ngang dây trong một đơn vị thời gian, nghĩa là tỉ lệ với tốc độ dịch chuyển của dây dẫn.

Dưới đây là hình mô phỏng việc tạo ra sức điện động một chiều khi phần nối với mạch ngoài là ngắt quãng và sức điện động xoay chiều khi phần nối mạch ngoài là liên tục.



Hình 49: Nguyên tắc tạo dòng điện ngoài nhờ từ thông biến thiên

Hiện tượng xảy ra tương tự khi một khung dây dẫn chịu tác động của từ trường biến thiên, lúc này trong khung dây sẽ xuất hiện một sức điện động bằng và ngược dấu với sự biến thiên của từ thông.

Hiện tượng cảm ứng điện từ được ứng dụng để xác định tốc độ dịch chuyển của vật.

Hiệu ứng cảm ứng từ còn thể hiện trong trường hợp khi độ cảm ứng từ thay đổi dòng điện trong cuộn dây cũng thay đổi. Đo sự biến thiên dòng này sẽ xác định được sự thay đổi của cảm ứng từ. Dưới đây là sơ đồ đơn giản của một cảm biến vị trí. Khi vị trí thay đổi lõi của cuộn dây dịch chuyển và làm cho dòng trên thứ cấp thay đổi.

e. Hiệu ứng quang điện

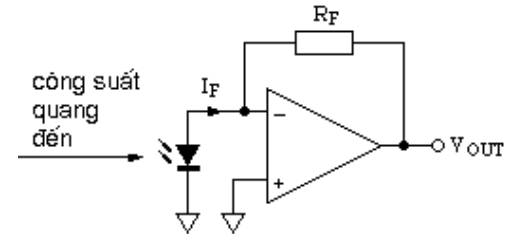
Hiệu ứng này có nhiều biểu hiện khác nhau nhưng đều chung một bản chất: đó là hiện tượng giải phóng ra các hạt dẫn tự do trong vật liệu dưới tác dụng của bức xạ điện từ có bước sóng nhỏ hơn giá trị ngưỡng đặc trưng cho vật liệu (phụ thuộc vào độ rộng dải cấm của vật liệu).

Hiệu ứng quang điện có 3 biểu hiện cụ thể như sau:

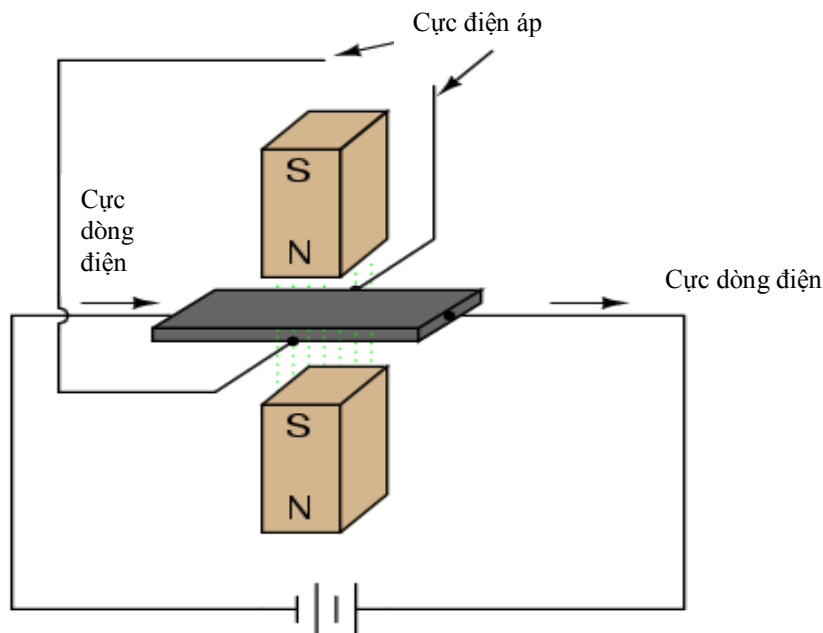
. Hiệu ứng quang điện phát xạ điện tử: là hiện tượng khi được chiếu sáng các điện tử được giải phóng thoát khỏi bề mặt của vật và tạo thành dòng được thu lại nhờ điện trường.

. Hiệu ứng quang điện trong chất bán dẫn: khi một chuyển tiếp P-N được chiếu sáng sẽ phát sinh ra các cặp điện tử – lỗ trống. Chúng di chuyển về hai phía của chuyển tiếp dưới tác động của điện trường.

. Hiệu ứng quang điện từ: khi tác dụng một từ trường B vuông góc với bức xạ ánh sáng, trong vật liệu bán dẫn sẽ xuất hiện một hiệu điện thế theo hướng vuông góc với từ trường B và với hướng bức xạ ánh sáng.



f. Hiệu ứng Hall



Hình 50: Sơ đồ mạch nguyên lý của chuyển đổi Hall

Trong vật mỏng (thường làm bằng bán dẫn) có dòng điện chạy qua đặt trong từ trường B có phương tạo thành góc θ với dòng điện I, sẽ xuất hiện một hiệu điện thế V_H theo hướng vuông góc với B và I. V_H được tính theo công thức sau:

$$V_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \theta$$

với K_H là hệ số phụ thuộc vào vật liệu và kích thước hình học của mẫu

Hiệu ứng Hall được ứng dụng đo công suất hoặc xác định vị trí của vật chuyển động (vật này được ghép nối cơ học với một thanh nam châm). Vị trí của nam châm sẽ xác định từ trường B và θ , nghĩa là V_H là hàm phụ thuộc vào vị trí của vật trong không gian.

CHƯƠNG 3:

ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN

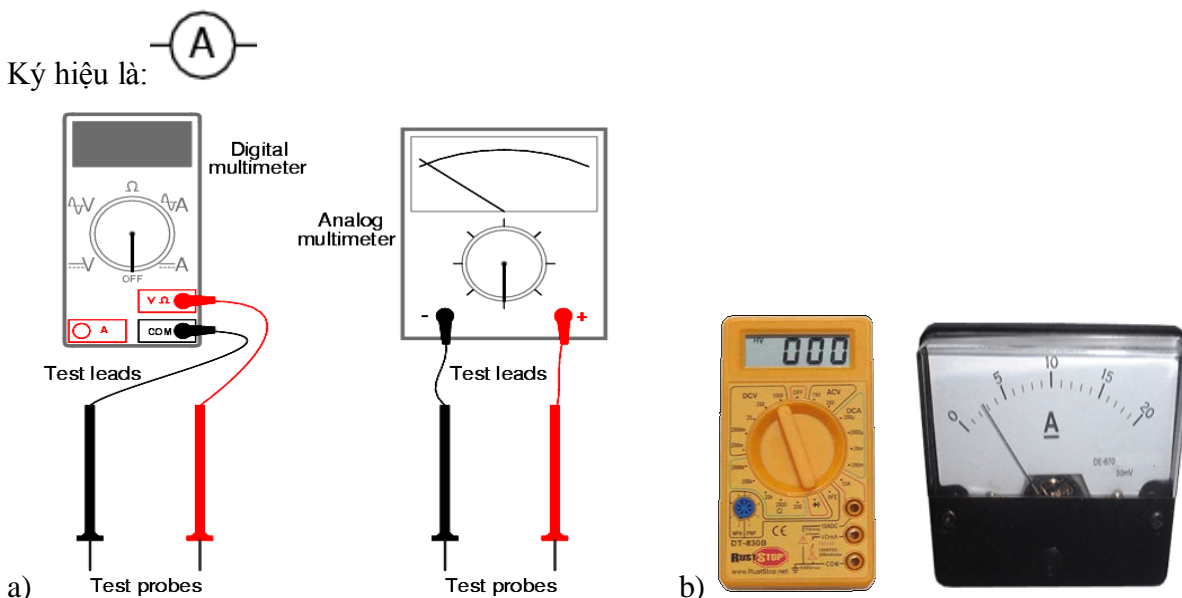
Lý thuyết: 12 tiết Bài tập: 10 tiết

Mục tiêu chính của chương này là cung cấp kiến thức về:

- Nguyên tắc đo các đại lượng cơ bản như cường độ dòng điện, điện áp, điện trở, điện dung, điện cảm và tần số
- Cấu tạo của các dụng cụ đo lường điện tử như Ampe kế, Vôn kế, Ôm kế, cầu đo xoay chiều, tần số kế các loại
- Tính toán và thiết kế một số mạch đo

I. ĐO DÒNG ĐIỆN

Dụng cụ được sử dụng để đo dòng điện gọi là Ampe kế hay Ammeter



Hình 51: a) Hình vẽ đơn giản biểu diễn đồng hồ vạn năng số và kim và b) Hình dạng thực tế của Ampe kế số và kim

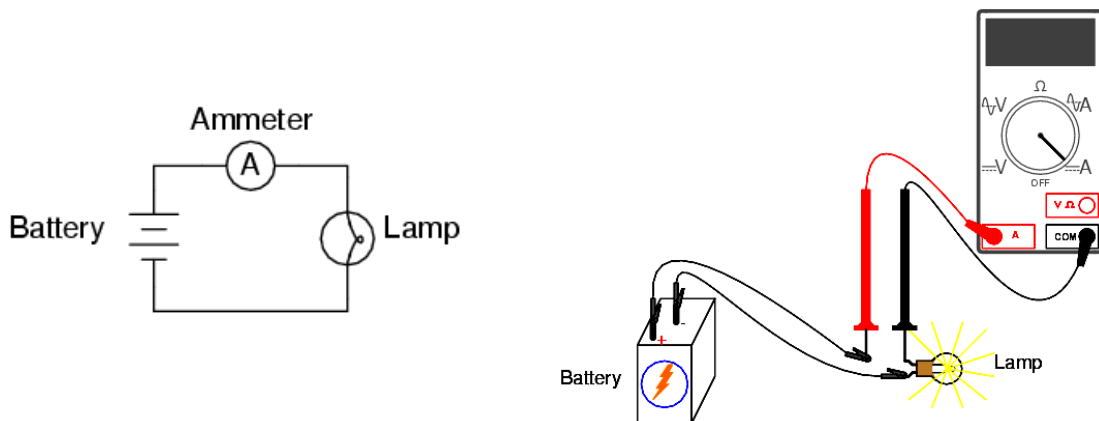
Ampe kế có nhiều loại khác nhau.

- ✓ Nếu chia theo kết cấu ta có:
 - + Ampe kế từ điện
 - + Ampe kế điện từ
 - + Ampe kế điện động
 - + Ampe kế nhiệt điện
 - + Ampe kế bán dẫn
- ✓ Nếu chia theo loại chỉ thị ta có:
 - + Ampe kế chỉ thị số (Digital)
 - + Ampe kế chỉ thị kim (kiểu tương tự hay Analog)

- ✓ Nếu chia theo tính chất của đại lượng đo, ta có:
 - + Ampe kế một chiều
 - + Ampe kế xoay chiều

Yêu cầu đối với dụng cụ đo cường độ dòng điện là:

- . Công suất tiêu thụ càng nhỏ càng tốt, điện trở của Ampe kế càng nhỏ càng tốt và lý tưởng là bằng 0.
- . Làm việc trong một dải tần cho trước để đảm bảo cấp chính xác của dụng cụ đo
- . Mắc Ampe kế để đo dòng phải mắc nối tiếp với dòng cần đo (xem Hình 52)



Hình 52: Cách đo cường độ dòng điện bằng đồng hồ đo

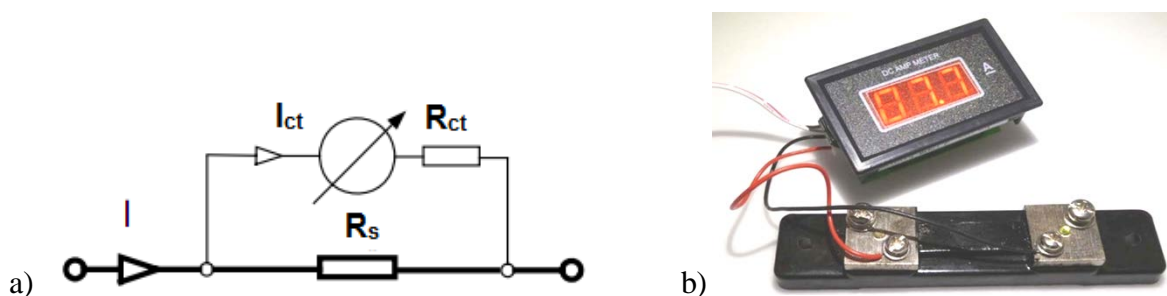
1. Ampe kế một chiều

Ampe kế một chiều được chế tạo **dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện**. Như đã biết, độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng chạy qua cuộn động nhưng độ lệch kim được tạo ra bởi dòng điện rất nhỏ và cuộn dây quấn bằng dây có tiết diện bé nên khả năng chịu dòng rất kém. Thông thường, dòng cho phép qua cơ cấu chỉ trong khoảng 10^{-4} đến 10^{-2} A; điện trở của cuộn dây từ 20Ω đến 2000Ω với cấp chính xác 1,1; 1; 0,5; 0,2; và 0,05

Để tăng khả năng chịu dòng cho cơ cấu (cho phép dòng lớn hơn qua) người ta mắc thêm điện trở sun (shunt resistor) song song với cơ cấu chỉ thị và có giá trị như sau:

$$R_s = \frac{R_{CT}}{n - 1} \quad \text{với } n = \frac{I}{I_{CT}} \text{ gọi là hệ số mở rộng thang đo của Ampe kế}$$

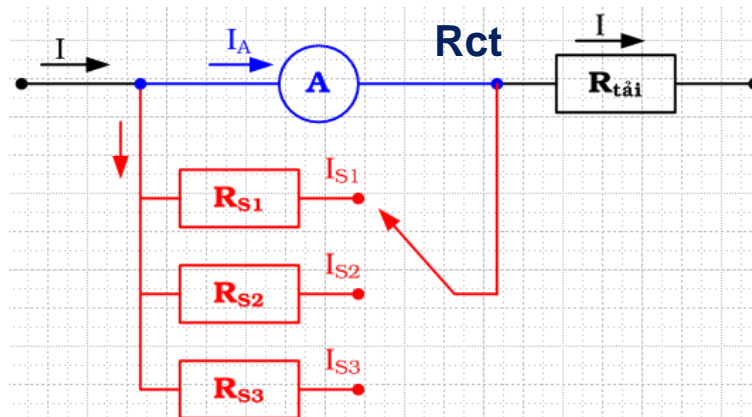
I là dòng cần đo và I_{CT} là dòng cực đại mà cơ cấu chịu đựng được.



Hình 53: Sơ đồ mắc điện trở sun trên mạch a) và thực tế b)

Chú ý: Khi đo dòng nhỏ hơn 30A thì điện trở sun nằm ngay trong vỏ của Ampe kế còn khi đo dòng lớn hơn thì điện trở sun như một phụ kiện kèm theo (xem Hình 53b). Khi Ampe kế có nhiều thang đo người ta mắc các điện trở sun theo các sơ đồ như sau:

* Sơ đồ mở rộng thang đo kiểu song song:



Hình 54: Sơ đồ mắc song song các điện trở sun

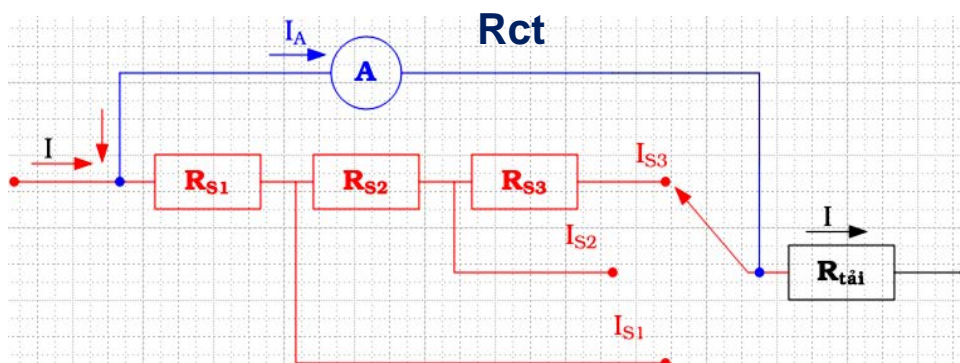
Trong đó, hệ số mở rộng thang đo là n_i và R_{Si} là điện trở sun tương ứng, được tính theo công thức:

$$n1 = \frac{I_1}{I_A}, n2 = \frac{I_2}{I_A}, n3 = \frac{I_3}{I_A}$$

$$\text{Và: } R_{S1} = \frac{R_{CT}}{n1-1}, R_{S2} = \frac{R_{CT}}{n2-1}, R_{S3} = \frac{R_{CT}}{n3-1}$$

Sơ đồ này đơn giản và cho phép tính giá trị của các điện trở sun độc lập với nhau

* Sơ đồ mở rộng thang đo kiểu nối tiếp:



Hình 55: Sơ đồ mắc nối tiếp các điện trở sun

$$\text{Hệ số mở rộng thang đo: } n1 = \frac{I_1}{I_A}, n2 = \frac{I_2}{I_A}, n3 = \frac{I_3}{I_A}$$

Điện trở sun tương ứng với mỗi vị trí I_{Si} là:

$$R_{S1} = \frac{R_{ct}}{n1-1}, R_{S1} + R_{S2} = \frac{R_{ct}}{n2-1}, R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} = \frac{R_{ct}}{n3-1}$$

Vậy giá trị của từng điện trở là:

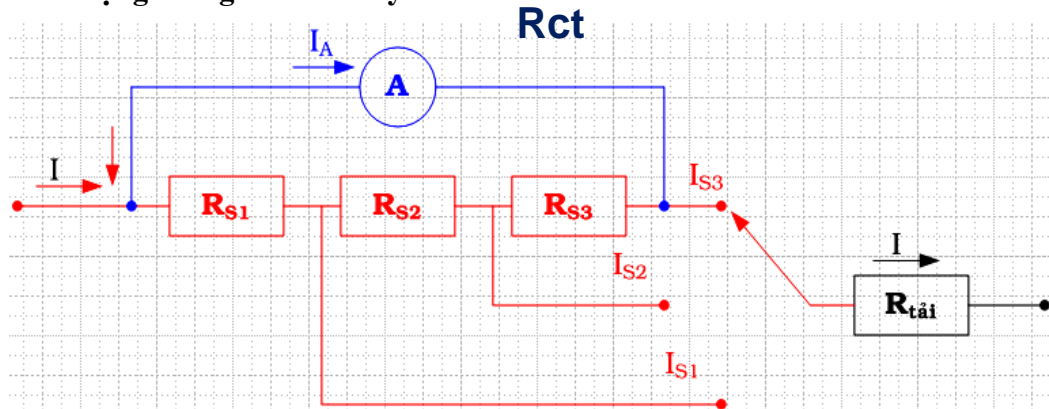
$$R_{s1} = \frac{R_{ct}}{n1 - 1}$$

$$R_{s2} = \frac{R_{ct}}{n2 - 1} - \frac{R_{ct}}{n1 - 1}$$

$$R_{s3} = \frac{R_{ct}}{n3 - 1} - \frac{R_{ct}}{n2 - 1}$$

Chú ý: để đảm bảo các R_{si} có giá trị dương thì $n1 > n2 > n3$

* Sơ đồ mở rộng thang đo kiểu Aryton:



Hình 56: Sơ đồ mở rộng thang đo kiểu Aryton

Hệ số mở rộng thang đo: $n1 = \frac{I_1}{I_A}, n2 = \frac{I_2}{I_A}, n3 = \frac{I_3}{I_A}$

Giá trị của các điện trở sun tương ứng với vị trí của chuyển mạch:

$$R_{s1} = \frac{R_{ct} + R_{s2} + R_{s3}}{n1 - 1}, R_{s1} + R_{s2} = \frac{R_{ct} + R_{s3}}{n2 - 1}, R_{s1} + R_{s2} + R_{s3} = \frac{R_{ct}}{n3 - 1}$$

Chú ý:

+ Để đảm bảo các R_{si} có giá trị dương thì $n1 > n2 > n3$

+ Điện trở sun được chế tạo bằng Manganin có độ chính xác cao hơn độ chính xác của cơ cấu đo ít nhất là 1 cấp. Hình dưới đây là một số điện trở sun thực tế.

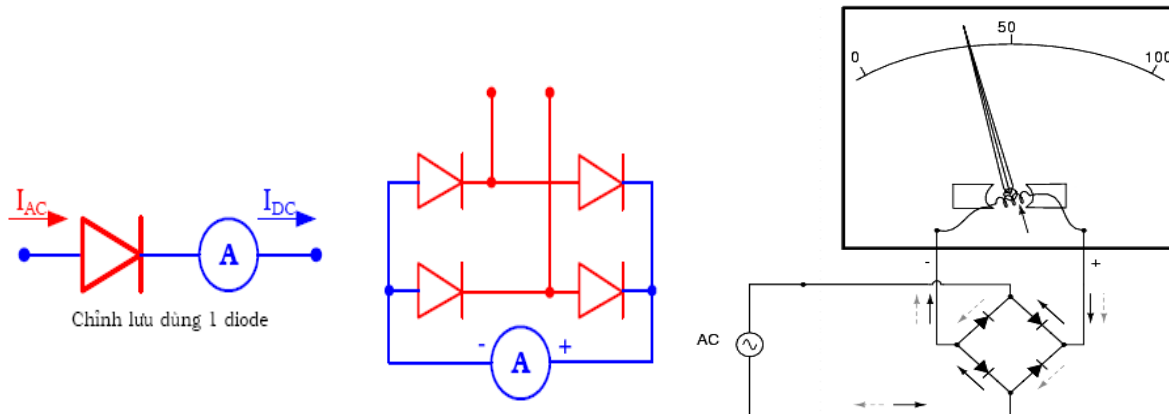


Hình 57: Một số điện trở sun chịu dòng từ vài chục đến vài trăm A

2. Ampe kế xoay chiều

Để đo cường độ dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp người ta thường sử dụng Ampe kế từ điện chỉnh lưu, Ampe kế điện từ, và Ampe kế điện động.

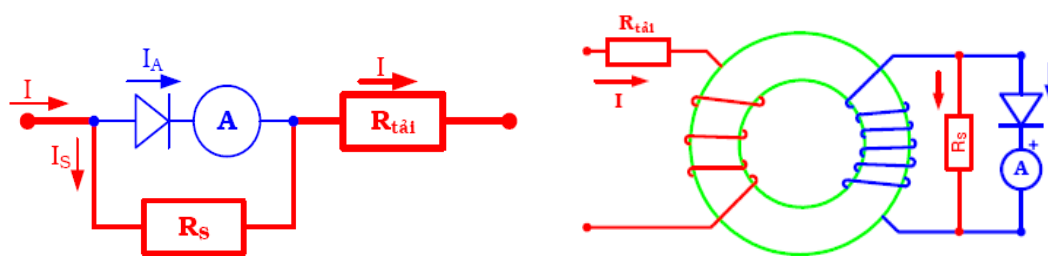
a. Ampe kế từ điện chỉnh lưu



Hình 58: Sơ đồ mắc thêm mạch chỉnh lưu và cách đưa vào CCCT từ điện

Do Ampe kế từ điện thông thường có tính phân cực, nghĩa là dòng điện đưa vào cơ cấu chỉ theo một chiều nhất định nên muốn đưa dòng điện xoay chiều (đổi chiều liên tục) thì cần thiết phải có mạch chuyển đại lượng đo này thành dạng một chiều, xem Hình 58.

Ngoài ra, để mở rộng thang đo cho loại Ampe kế này, người ta cũng dùng điện trở sun và trong trường hợp đại lượng một chiều rất lớn thì có thể sử dụng thêm biến dòng, xem Hình 59



Hình 59: Sơ đồ mắc điện trở sun và dùng thêm biến dòng

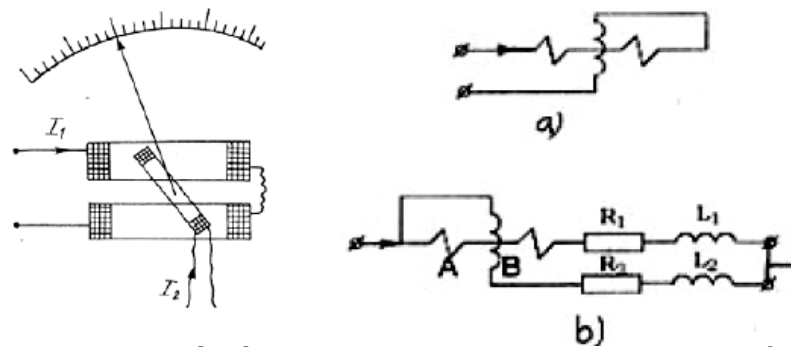
Chú ý:

- Vì CCCT là cơ cấu từ điện nên giá trị dòng mà kim chỉ thị dừng là giá trị dòng trung bình nhưng giá trị thường dùng cho đại lượng xoay chiều là giá trị hiệu dụng (trung bình bình phương, hay rms) nên thang khắc độ phải nhân thêm hệ số 1,1 để được giá trị rms. Hệ số này chỉ đúng với sóng hình sin, do đó nếu tín hiệu đo không phải dạng hình sin thì sai số sẽ lớn hơn.
- Nói chung các Ampe kế chỉnh lưu có cấp chính xác không cao (từ 1 tới 1,5) do hệ số chỉnh lưu thay đổi theo nhiệt độ và thay đổi theo tần số.

b. Ampe kế điện động

Được cấu tạo dựa trên CCCT điện động. Thường được sử dụng để đo dòng điện ở tần số công nghiệp 50Hz và cao hơn (400 – 2.000Hz) với độ chính xác khá cao (cấp 0,5 – 0,2)

Khi dòng điện đo nhỏ hơn 0,5A người ta mắc nối tiếp cuộn tĩnh và cuộn động còn khi dòng lớn hơn 0,5A thì mắc song song, xem Hình 60.



Hình 60: Sơ đồ nối 2 cuộn tĩnh A và cuộn động B theo kiểu a) nối tiếp và b) song song

Chú ý:

- Do độ lệch của dụng cụ đo điện động tỉ lệ với I^2 nên giá trị đo được là giá trị rms thực sự.
- Giá trị rms của dòng xoay chiều có tác dụng như trị số dòng một chiều tương đương nên khi đo đại lượng một chiều thì vẫn có thể sử dụng cùng một thang đo.

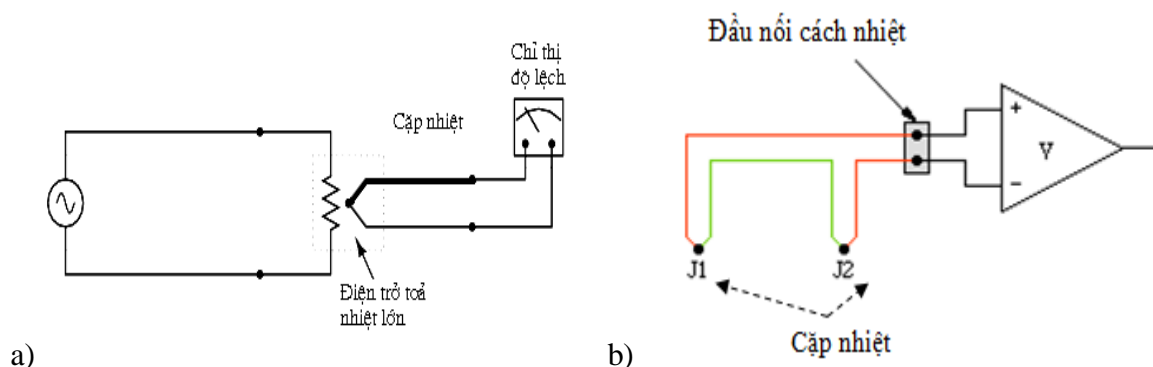
c. Ampe kế điện từ

Là dụng cụ đo dòng điện dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số Ampe vòng xác định ($I.W$ là một hằng số)

Khi đo dòng có giá trị nhỏ người ta mắc các cuộn dây nối tiếp và khi đo dòng lớn người ta mắc các cuộn dây song song.

d. Ampe kế nhiệt điện

Là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cặp nhiệt điện, xem Hình 61a.



Hình 61: Sơ đồ nguyên tắc đo dòng bằng cặp nhiệt điện và sơ đồ thực tế

Cặp nhiệt điện (hay còn gọi là cặp nhiệt ngẫu) gồm 2 thanh kim loại khác loại được hàn với nhau tại một đầu gọi là điểm làm việc (nhiệt độ t_1), hai đầu kia nối với milivonkế gọi là đầu tự do (nhiệt độ t_0).

Khi nhiệt độ đầu làm việc t_1 khác nhiệt độ đầu tự do t_0 thì cặp nhiệt sẽ sinh ra sức điện động

$$E_t = k_1 \cdot \theta^0$$

$$\theta^0 = t_1 - t_0$$

Khi dùng dòng I_x để đốt nóng đầu t_1 thì:

$$\theta^0 = k2.I_x^2$$

$$\Rightarrow Et = k1.k2.I_x^2 = k.I_x^2$$

Như vậy kết quả hiển thị trên milivon kế tỉ lệ với dòng cần đo

Vật liệu để chế tạo cặp nhiệt điện có thể là sắt – constantan; đồng – constantan; crom – alumen và platin – platin/rodi. Ampe kế nhiệt điện có sai số lớn do tiêu hao công suất, khả năng chịu quá tải kém nhưng có thể đo ở dải tần rất rộng từ một chiều tới hàng MHz.

Thông thường để tăng độ nhạy của cặp nhiệt, người ta sử dụng một bộ khuếch đại áp như sơ đồ Hình 61b. Trong đó: J1, J2 là 2 đầu đo nhiệt

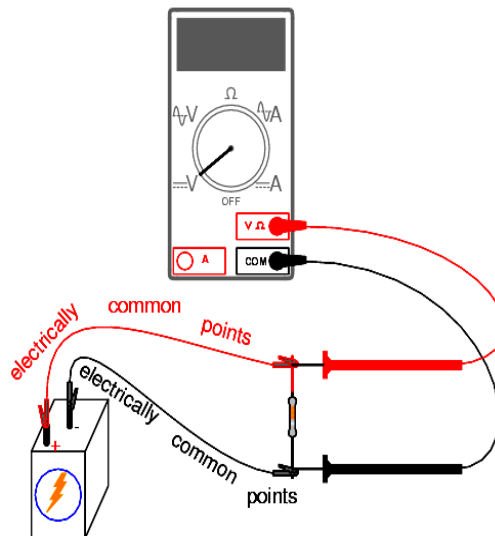
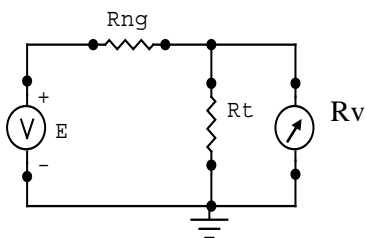
Chú ý: Để đo giá trị điện áp của nguồn xoay chiều người ta cũng làm như trên vì khi đó nhiệt độ đo được tỉ lệ với dòng qua điện trở nhiệt mà dòng này lại tỉ lệ với áp trên hai đầu điện trở, do vậy cũng xác định được giá trị của điện áp thông qua giá trị nhiệt độ. Đây chính là nguyên tắc để chế tạo Vôn kế nhiệt điện.

II. ĐO ĐIỆN ÁP

Dụng cụ dùng để đo điện áp gọi là Vôn kế hay Vôn kế (Voltmeter)



Ký hiệu là :



Hình 62: Sơ đồ mắc Vôn kế trong mạch và trên thực tế

Khi đo điện áp bằng Vôn kế thì Vôn kế luôn được mắc song song với đoạn mạch cần đo như Hình 62.

Khi chưa mắc Vôn kế vào điện áp rơi trên tải là:

$$U_t = \frac{E}{R_t + R_{ng}} \cdot R_t$$

$$U_v = \frac{E}{R_e + R_{ng}} \cdot R_e$$

Khi mắc Vôn kế vào điện áp rơi trên tải là:

$$R_e = R_v // R_t = \frac{R_v \cdot R_t}{R_v + R_t}$$

Vậy sai số của phép đo điện áp bằng Vôn kế là:

$$\gamma_u = \frac{U_t - U_v}{U_t} = 1 - \frac{U_v}{U_t} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{R_t \cdot R_{ng}}{R_v(R_t + R_{ng})}}$$

Như vậy, muốn sai số nhỏ thì yêu cầu R_v phải càng lớn càng tốt và lý tưởng là $R_v \approx \infty$

Kết quả đo nếu muốn tính chính xác thì phải sử dụng công thức: $U_v = (1 + \gamma_u) \cdot U_t$

Người ta phân loại Vôn kế theo dạng hiển thị, khi đó sẽ có các loại sau:

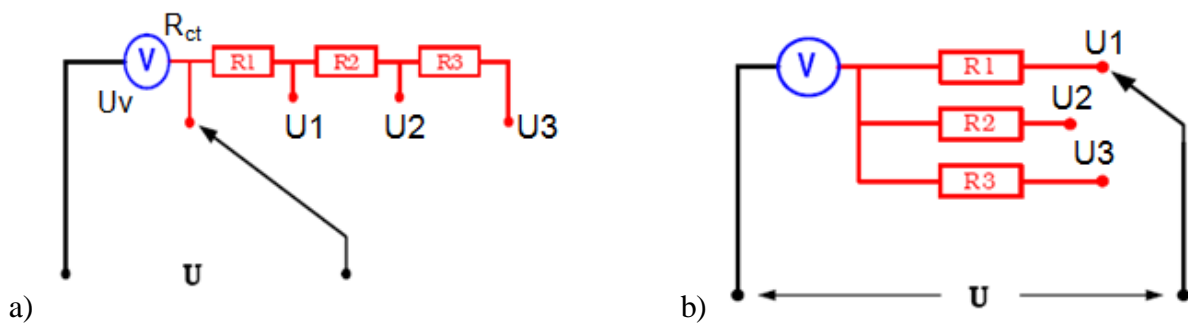
- ✓ Vôn kế tương tự bao gồm:
 - Vôn kế một chiều
 - Vôn kế xoay chiều
 - Vôn kế từ điện chỉnh lưu
 - Vôn kế điện từ
 - Vôn kế điện động
- ✓ Vôn kế số bao gồm:
 - Vôn kế số chuyển đổi thời gian
 - Vôn kế số chuyển đổi tần số
 - Vôn kế số sử dụng ADC
- ✓ Cầu điện thế kế (đo điện áp bằng phương pháp so sánh).

1. Vôn kế một chiều

Đây là loại Vôn kế có cấu tạo dựa trên CCCT từ điện. Vì độ lệch của dụng cụ đo TĐNCVC tỉ lệ với dòng qua cuộn dây động, mà dòng qua cuộn dây tỉ lệ với điện áp trên cuộn dây nên thang đo của máy đo TĐNCVC có thể được chia để chỉ điện áp. Nghĩa là, Vôn kế thực chất là Ampe kế đo dòng rất nhỏ với điện trở rất lớn. Điện áp định mức của chỉ thị vào khoảng 50 – 75mV nên cần nối tiếp nhiều điện trở phụ (còn gọi là điện trở nhân) với chỉ thị để làm tăng khoảng đo của Vôn kế.

Các sơ đồ mắc thêm điện trở nhân để tăng khả năng đo các giá trị điện áp lớn được gọi là sơ đồ mở rộng thang đo.

Có 2 sơ đồ cơ bản là sơ đồ mở rộng kiểu nối tiếp và sơ đồ mở rộng kiểu song song.



Hình 63: a) Sơ đồ nối tiếp và b) Sơ đồ song song

Trong sơ đồ mắc nối tiếp:

$$R1 = R_{ct}(m1 - 1)$$

$$R1 + R2 = R_{ct}(m2 - 1)$$

$$R1 + R2 + R3 = R_{ct}(m3 - 1)$$

$$m1 = \frac{U1}{Uct}$$

Với hệ số mở rộng thang đo:

$$m2 = \frac{U2}{Uct}$$

$$m3 = \frac{U3}{Uct}$$

Tương tự, trong sơ đồ mắc song song:

$$\begin{aligned} R1 &= Rct(m1 - 1) \\ R2 &= Rct(m2 - 1) \\ R3 &= Rct(m3 - 1) \end{aligned} \quad \text{với} \quad \begin{aligned} m1 &= \frac{U1}{Uct} \\ m2 &= \frac{U2}{Uct} \\ m3 &= \frac{U3}{Uct} \end{aligned}$$

2. Vôn kế xoay chiều

a. Vôn kế từ điện đo điện áp xoay chiều

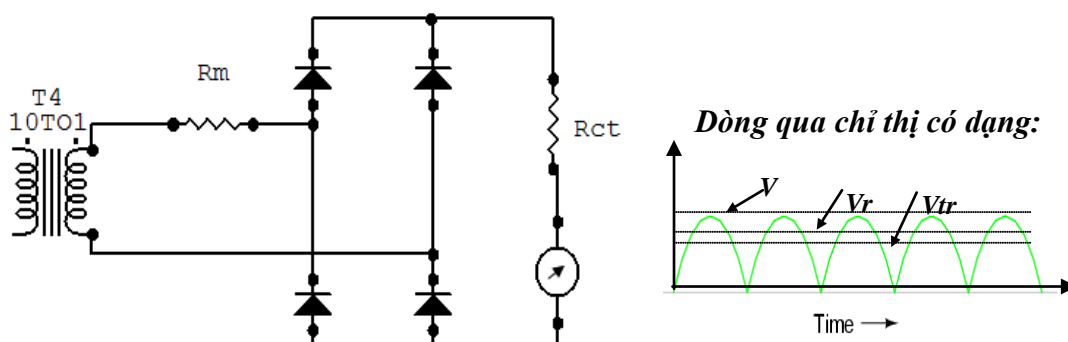
Loại Vôn kế này sử dụng cơ cấu từ điện là dụng cụ có tính phân cực và phải mắc đúng sao cho độ lệch dương (trên thang đo) vì vậy cần thiết phải mắc thêm mạch chỉnh lưu.

Khi dòng xoay chiều có tần số rất thấp chạy qua dụng cụ TĐNCVC thì kim có xu hướng chỉ theo giá trị tức thời của dòng xoay chiều. Như vậy, khi giá trị dòng tăng theo chiều + thì kim cũng tăng tới giá trị cực đại sau đó giảm tới 0 và xuống bán kỳ âm thì kim sẽ bị lệch ngoài thang đo. Trường hợp này xảy ra khi tần số của dòng xoay chiều cỡ 0,1Hz hoặc thấp hơn.

Khi dòng xoay chiều có tần số công nghiệp (50 / 60Hz) hoặc cao hơn thì cơ cấu làm nhụt và quán tính chuyển động của cơ cấu động (toàn máy đo) không biến đổi theo mức dòng tức thời mà thay vào đó kim của dụng cụ sẽ dừng ở vị trí trung bình của dòng chạy qua cuộn động. Với sóng sin thuần túy kim lệch sẽ ở vị trí zero mặc dù dòng Irms có thể có giá trị khá lớn và có khả năng gây hỏng dụng cụ.

Do đó, để sử dụng dụng cụ TĐNCVC làm thành dụng cụ đo xoay chiều người ta phải sử dụng các bộ chỉnh lưu (nửa sóng hoặc toàn sóng) để các giá trị của dòng chỉ gây ra độ lệch dương.

▪ Sơ đồ chỉnh lưu cầu



Hình 64: Sơ đồ mạch chỉnh lưu và dạng sóng của dòng qua cơ cấu chỉ thị từ điện

Trong đó đối với sóng đầu vào hình sin thì các giá trị điện áp được tính như sau:

$$V_{rms} = 0,707.V_p$$

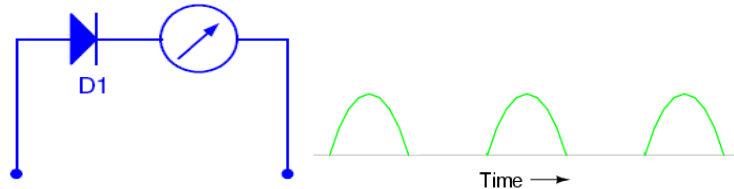
$$V_{trb} = 0,636.V_p$$

$$V_{rms} = 1,11.V_{trb}$$

với V_p là giá trị đỉnh, V_{rms} là giá trị trung bình bình phương và V_{trb} là giá trị trung bình

Với các sóng không phải dạng sin thì các công thức sẽ khác vì khi đó phải tính thêm các yếu tố hình dạng.

▪ **Sơ đồ chỉnh lưu nửa sóng**



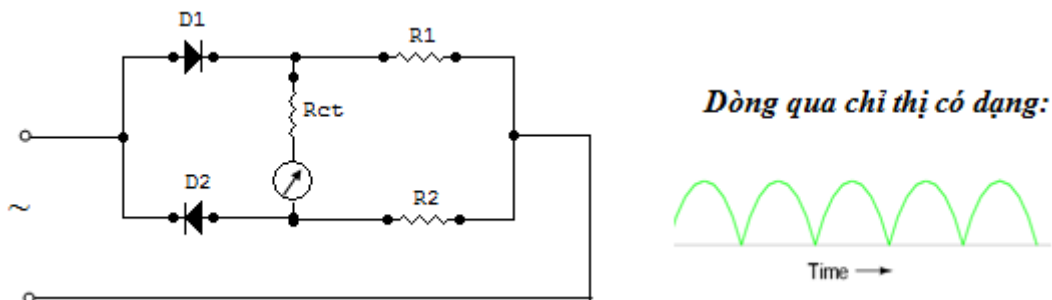
Hình 65: Sơ đồ mạch chỉnh lưu nửa sóng và dòng qua chỉ thị

$$I_{trb} = \frac{1}{2} \cdot 0,637.I_p$$

Khi đó ta có mối liên hệ giữa các đại lượng như sau:

$$I_{rms} = \frac{1}{2}.I_p$$

Sơ đồ chỉnh lưu nửa cầu toàn sóng:

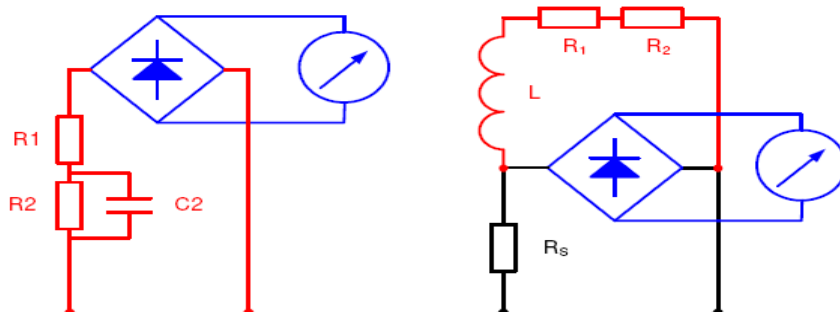


Hình 66: Sơ đồ chỉnh lưu nửa cầu và dạng sóng qua chỉ thị

Sơ đồ trên chỉ sử dụng 2 diode (nửa cầu) nhưng cả 2 nửa chu kỳ đều có dòng qua máy đo. Tuy nhiên dòng qua diode khá lớn nên nó phải làm việc ở ngoài điểm uốn, nghĩa là có khả năng bù trừ những chênh lệch có thể xảy ra trong đặc tuyến của diode.

Công thức tính dòng chỉ thị giống như trong sơ đồ chỉnh lưu cầu.

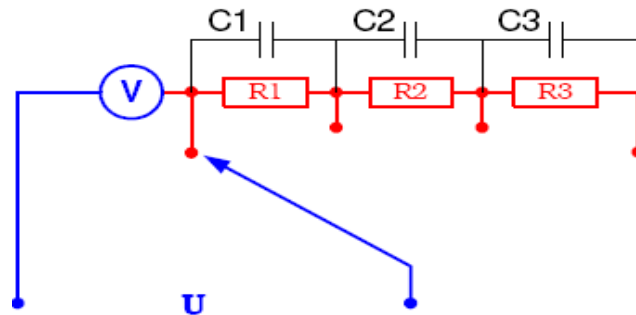
Chú ý: để bù sai số do nhiệt và khi tần số thay đổi người ta mắc thêm vào mạch các điện trở làm bằng đồng hoặc maganin để bù nhiệt kết hợp với cuộn cảm và tụ bù tần số như hình dưới đây.



Hình 67: Sơ đồ mắc điện trở, tụ điện và cuộn dây để bù nhiệt độ, tần số

b. Vôn kế điện từ

Là dụng cụ để đo điện áp xoay chiều tần số công nghiệp. Cuộn dây tĩnh có số vòng dây rất lớn từ 1000 – 6000 vòng. Để mở rộng thang đo người ta mắc nối tiếp với cuộn dây các điện trở phụ.



Hình 68: Sơ đồ mắc thêm các tụ điện bù sai số

Các tụ C được mắc song song với các điện trở phụ để bù sai số do tần số khi tần số lớn hơn tần số công nghiệp.

c. Vôn kế điện động

Cuộn kích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau và nối tiếp với cuộn động. Độ lệch của kim chỉ thị tỉ lệ với I^2 nên kim dừng ở giá trị trung bình của I^2 tức giá trị rms.

Đặc điểm của Vôn kế điện động:

- + Tác dụng của dòng rms giống như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể khác độ theo giá trị một chiều và dùng cho cả xoay chiều
- + Dụng cụ điện động thường đòi hỏi dòng nhỏ nhất là 100mA cho ĐLTT nên Vôn kế điện động có độ nhạy thấp hơn nhiều so với Vôn kế từ điện (chỉ khoảng 10Ω/V)
- + Để giảm thiểu sai số chỉ nên dùng ở khu vực tần số công nghiệp

3. Vôn kế số

Vôn kế số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng con số mà không phụ thuộc vào cách đọc của người đo. Tùy thuộc vào phương pháp biến đổi người ta phân thành:

- + Vôn kế số chuyển đổi thời gian
- + Vôn kế số chuyển đổi tần số
- + Vôn kế số sử dụng ADC

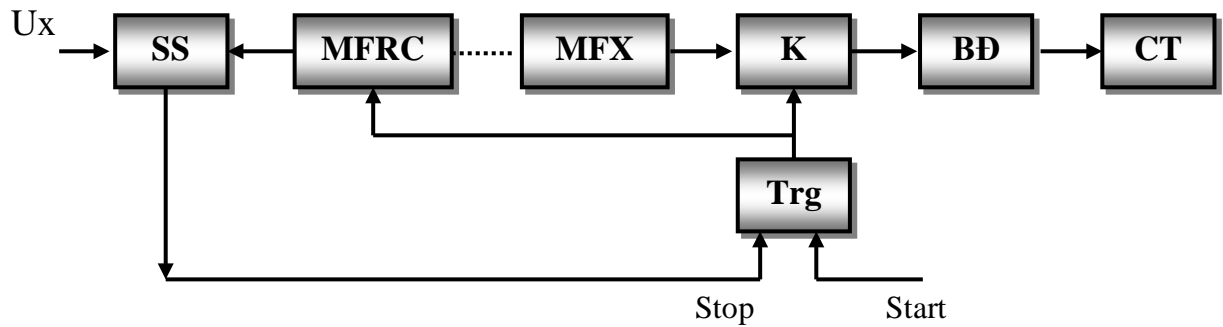


a. Vôn kế số chuyển đổi thời gian

Nguyên tắc hoạt động:

Biến đổi điện áp cần đo (U_x) thành khoảng thời gian (t) sau đó lấp đầy khoảng thời gian bằng các xung có tần số chuẩn (f_0). Bộ đếm được dùng để đếm số lượng xung (N) tỉ lệ với U_x để suy ra U_x .

Sơ đồ khối được cho trong Hình 69.



Hình 69: Sơ đồ khối của Vôn kế số chuyển đổi thời gian

Trong đó:

SS: Bộ so sánh

MFRC: mạch phát tín hiệu răng cưa

MFX: mạch phát xung chuẩn tần số f_0

Trigo: mạch lật

K: Khóa điện tử được điều khiển bởi trigo

BD: bộ đếm

CT: bộ chỉ thị số (bao gồm cả mạch mã hoá, giải mã và hiển thị)

Hoạt động của Vôn kế số chuyển đổi thời gian:

Khi mở máy (Start) xung khởi động tác động lên Trigo để mở khoá K và khởi động MFRC làm việc.

Tại thời điểm t_1 , K mở thông để đưa xung tần số chuẩn từ MFX tới bộ đếm và chỉ thị số. Đồng thời, MFRC đưa điện áp mẫu U_k đến bộ so sánh để so sánh với điện áp cần đo.

Tới thời điểm t_2 khi $U_x = U_k$, mạch so sánh đưa xung Stop tới trigo, trigo chuyển trạng thái làm đóng khoá K.

Trong suốt thời gian khoá K mở (từ t_1 đến t_2) bộ đếm đếm được N xung

$$N = \frac{t_2 - t_1}{T_0}$$

$$\Rightarrow N = f_0 \cdot t_x$$

với: T_0 là chu kỳ của xung chuẩn

$f_0 = 1 / T_0$ tần số của xung chuẩn

$t_x = t_2 - t_1$ thời gian đóng mở của khoá K

Mặt khác, từ Hình 70 ta có:

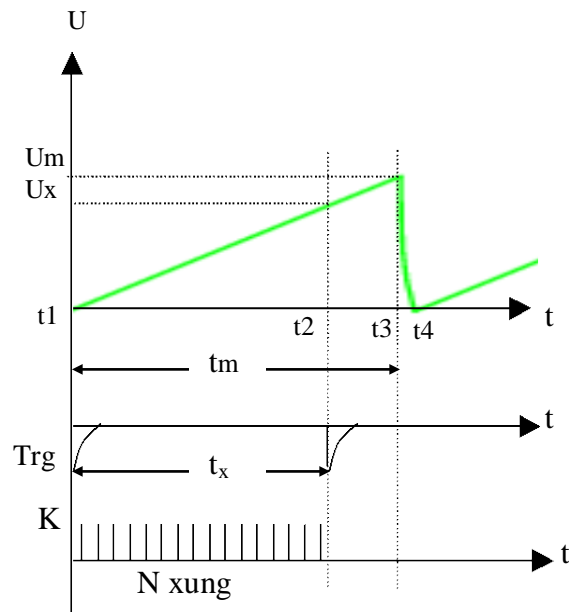
$$\frac{t_x}{t_m} = \frac{U_x}{U_m}$$

$$\Rightarrow U_x = t_x \cdot \frac{U_m}{t_m} = \frac{N \cdot U_m}{f_0 \cdot t_m} = C \cdot N$$

với t_m : thời gian lớn nhất để $U_k = U_m$

Um: điện áp lớn nhất của xung do MFRC phát ra

Từ biểu thức trên ta thấy U_x tỉ lệ với số xung đếm được (C là hằng số)



Hình 70: Biểu đồ thời gian của Vôn kế số chuyển đổi thời gian

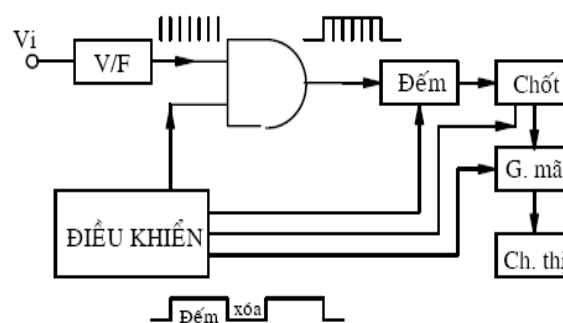
Chú ý: sai số của dụng cụ chủ yếu là do:

- + Sai số lượng tử phụ thuộc vào t_x / T_0
- + Sai số do MFRC không ổn định (tức làm thay đổi U_m và t_m , nghĩa là thay đổi hằng số C)

Thông thường Vôn kế loại này có sai số $\pm 0,05\%$

b. Vôn kế số chuyển đổi tần số

Nguyên tắc: Biến đổi điện áp cần đo U_x thành tần số f_x , sau đó đo tần số f_x để suy ra U_x



Hình 71: Sơ đồ khối của Vôn kế chuyển đổi tần số

- Điện áp cần đo được biến đổi sang tần số theo quan hệ bậc nhất $f = \alpha V_i$
- Sau đó đo trị trung bình của tần số trong một khoảng thời gian xác định:

$$f_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^T f dt = \alpha V_o$$

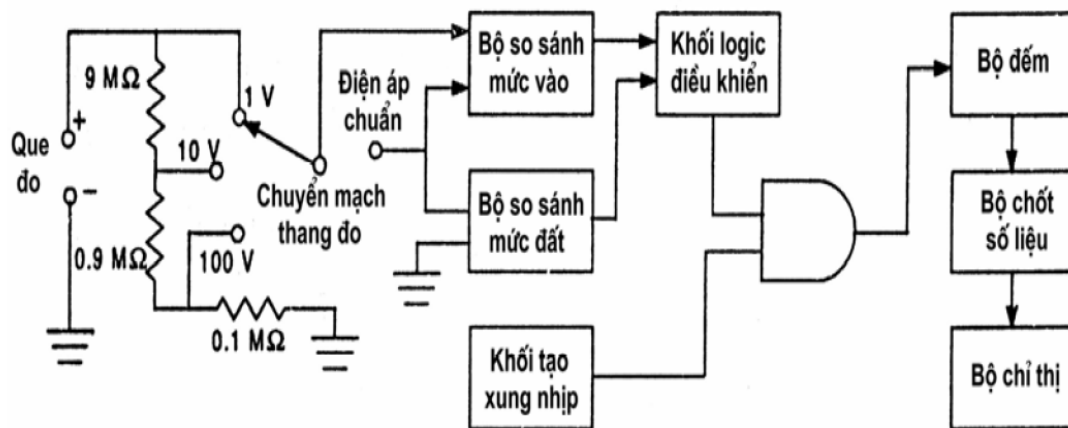
- Bộ biến đổi điện áp sang tần số (V/F): Điện áp cần đo được biến đổi thành một dãy xung có chu kỳ lặp lại tỉ lệ với điện áp đo.

- Xung đi vào bộ đếm được điều khiển bởi sự đóng mở của cửa chọn xung AND.
- Hết thời gian mở cửa, bộ điều khiển phát xung xóa kết quả ở bộ đếm, và bộ đếm lại chuẩn bị chu kỳ mới.
- Độ rộng xung điều khiển là τ ; chu kỳ của xung clock là T_x ; Số xung đi vào bộ đếm trong khoảng thời gian mở cửa là N

$$N T_x = \tau, \text{ hay } T_x = \tau / N \Rightarrow f_x = N / \tau.$$

- Nếu chọn $\tau = 1\text{s}$ thì $f_x = N$. Số đếm được đưa qua mạch chốt sau đó đưa qua mạch giải mã và chỉ thị.

c. Vôn kế số sử dụng ADC



Hình 72: Sơ đồ khối của Vôn kế số sử dụng ADC

Tín hiệu vào qua mạch suy giảm để chọn thang đo;

Sau đó tín hiệu vào sẽ được chuyển đổi thành tín hiệu số bởi bộ biến đổi tương tự - số (ADC). Ở dạng cơ bản nhất, ADC sẽ so sánh tín hiệu vào với điện áp mẫu.

Khi điện áp vào lớn hơn so với điện áp mẫu, thì tín hiệu ra của bộ so sánh sẽ cho mức logic 1, giữ cho cổng AND mở và các xung nhịp sẽ truyền qua cổng AND. Bộ đếm sẽ đếm các xung nhịp đó.

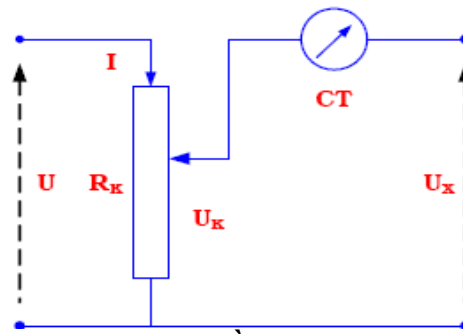
Khi điện áp vào bằng với điện áp mẫu, thì tín hiệu ra của bộ so sánh sẽ cho mức logic 0, cổng AND sẽ đóng và dừng việc đếm.

Mức ra của bộ đếm sẽ được chốt và các LED hay tinh thể lỏng sẽ hiển thị giá trị đo

4. Điện thế kế (đo điện áp bằng phương pháp so sánh)

a. Cơ sở lý thuyết

Các dụng cụ đo điện đã trình bày ở trên sử dụng có cấu cơ điện để chỉ thị kết quả đo nên cấp chính xác của dụng cụ không vượt quá cấp chính xác của chỉ thị. Để đo điện áp chính xác hơn người ta dùng phương pháp bù (so sánh với giá trị mẫu).



Hình 73: Sơ đồ so sánh điện áp

Nguyên tắc cơ bản như sau:

+ U_K là điện áp mẫu với độ chính xác rất cao được tạo bởi dòng điện I ổn định đi qua điện trở mẫu R_K . Khi đó:

$$U_K = I \cdot R_K$$

+ Chỉ thị là thiết bị phát hiện sự chênh lệch giữa điện áp mẫu U_K và điện áp cần đo U_X

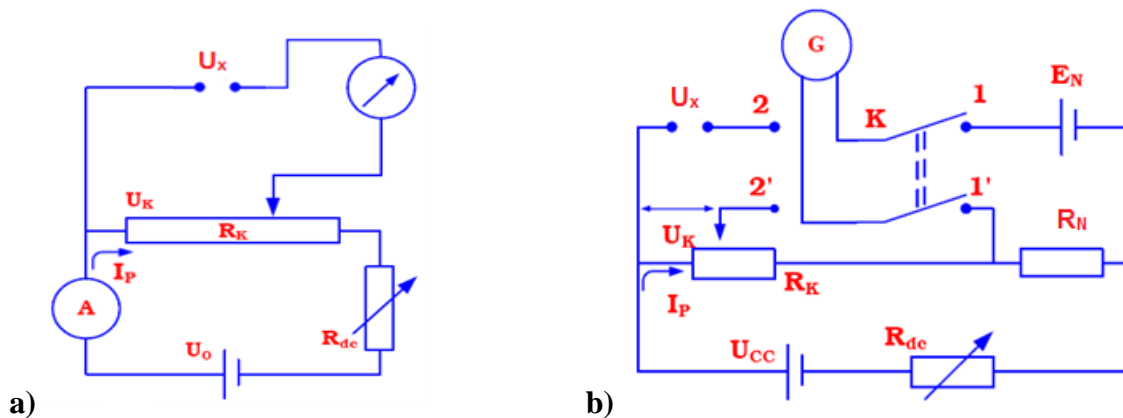
$$\Delta U = U_X - U_K$$

Khi $\Delta U \neq 0$ điều chỉnh con chạy của điện trở mẫu R_K sao cho $U_X = U_K$, nghĩa là làm cho $\Delta U = 0$; chỉ thị chỉ zero.

+ Kết quả được đọc trên điện trở mẫu đã được khắc độ theo thứ nguyên điện áp.

Chú ý: Các dụng cụ bù điện áp đều có nguyên tắc hoạt động như trên nhưng có thể khác nhau phần tạo điện áp mẫu U_K

b. Điện thế kế một chiều



Hình 74: Sơ đồ mạch của điện thế kế một chiều a) nguyên tắc và b) cải tiến

Nguyên tắc hoạt động của sơ đồ a)

+ Xác định dòng công tác I_P nhờ nguồn điện áp U_0 , R_{dc} và Ampe kế. Nếu giá trị chỉ của Ampe kế khác so với giá trị I_P mặc định thì điều chỉnh R_{dc} để đạt giá trị này.

+ Giữ nguyên giá trị của I_P trong suốt thời gian đo (không điều chỉnh R_{dc} nữa)

+ Điều chỉnh con chạy của điện trở mẫu R_K cho đến khi chỉ thị chỉ zero

+ Đọc kết quả trên điện trở mẫu, khi đó: $U_X = U_K = I_P \cdot R_K$

Trong sơ đồ a, vì sử dụng Ampe kế nên độ chính xác của điện thế kế không thể cao hơn độ chính xác của Ampe kế.

Người ta cải tiến mạch bằng cách sử dụng nguồn pin mẫu (E_N) và điện trở mẫu (R_N) có độ chính xác cao như ở hình b.

Nguyên tắc hoạt động của sơ đồ b)

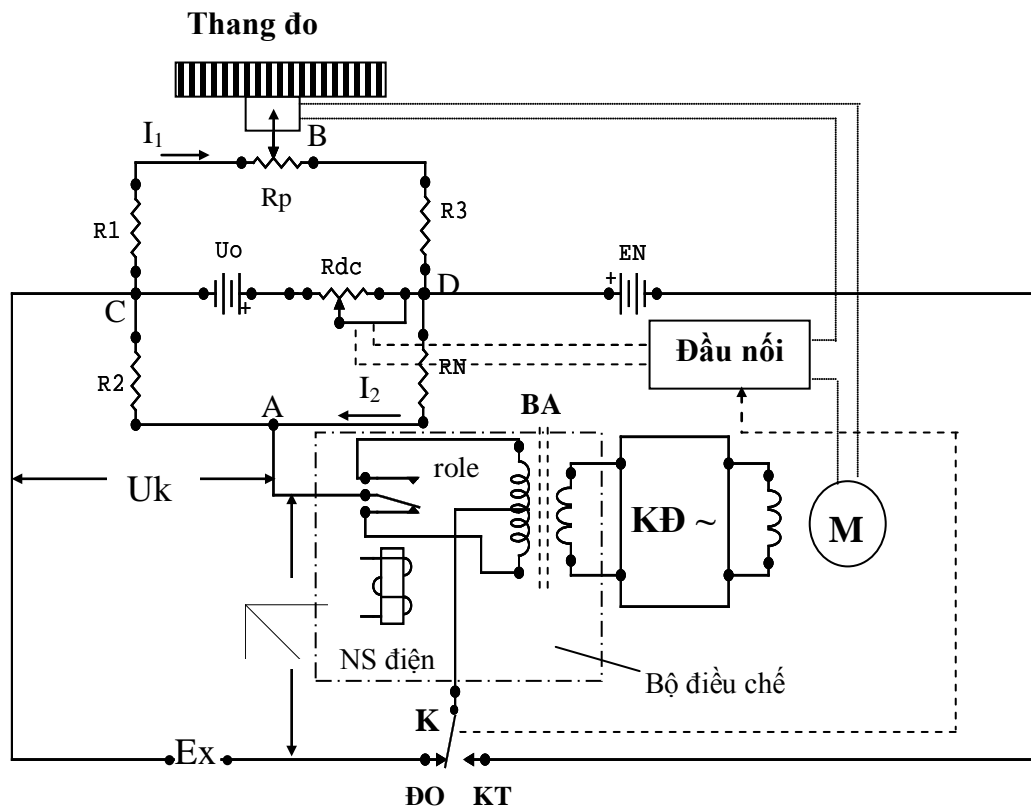
+ Khi K ở vị trí 1-1, điều chỉnh R_{dc} để chỉ thị chỉ zero. Khi đó: $I_p = \frac{E_N}{R_N}$

+ Giữ nguyên R_{dc} và chuyển K sang vị trí 2-2', điều chỉnh con trượt của điện trở mẫu để chỉ thị chỉ zero. Khi đó: $U_x = U_k = I_p \cdot R_k = \frac{E_N}{R_N} \cdot R_k$

Chú ý:

- Pin mẫu thường được chế tạo với giá trị nhất định $E_N = 1.01863V$ có độ chính xác khá cao cỡ 0.01% - 0.001% .
- Dòng điện công tác I_p và mạch đo cũng như các giá trị điện trở R_N , R_K phải có độ chính xác cao (0.02%)

Trên thực tế, người ta thường sử dụng điện thế kế một chiều tự động cân bằng (để đo sức điện động của các cặp nhiệt ngẫu đo nhiệt độ) như Hình 75.



Hình 75:: Sơ đồ mạch của điện thế kế một chiều tự động cân bằng

Trong đó:

R_N , E_N là điện trở và nguồn điện mẫu có độ chính xác cao

U_0 là nguồn điện áp ổn định

Động cơ thuận nghịch hai chiều để điều chỉnh con chạy của R_p và R_{dc}

Bộ điều chế làm nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều (ΔU) thành điện áp xoay chiều để điều khiển động cơ

Hoạt động:

+ Trước khi đo, khoá K được đặt ở vị trí KT (kiểm tra) khi đó dòng I_2 qua điện trở mẫu R_N và $\Delta U = E_N - I_2 \cdot R_N$

ΔU qua bộ điều chế để chuyển thành tín hiệu xoay chiều (role được điều khiển bởi nam châm điện nên có tần số đồng / cắt phụ thuộc vào dòng chạy trong nam châm điện). Tín hiệu xoay chiều này thường có giá trị rất nhỏ nên phải qua bộ khuếch đại để tăng tới giá trị đủ lớn có thể điều khiển động cơ thuận nghịch hai chiều. Động cơ này quay và kéo con chạy của Rđc để làm thay đổi I_2 tới khi $\Delta U = 0$. Đồng thời nó cũng kéo con trượt của Rp về vị trí cân bằng.

+ Khi K ở vị trí ĐO ta có: $\Delta U = E_x - U_k$

với $U_k = I_1 (R_1 + R_{p1}) - I_2 \cdot R_2$

Nếu $E_x > U_k$ thì động cơ sẽ kéo con chạy để tăng U_k tới khi $\Delta U = 0$

Nếu $E_x < U_k$ thì động cơ sẽ kéo con chạy để giảm U_k tới khi $\Delta U = 0$

Vị trí của con chạy và kim chỉ sẽ xác định giá trị của E_x

Ưu điểm của điện thế kế một chiều tự động cân bằng là tự động trong quá trình đo và có khả năng tự ghi kết quả trong một thời gian dài

c. Điện thế kế xoay chiều

Nguyên tắc hoạt động chung giống như điện thế kế một chiều, nghĩa là, cũng so sánh điện áp cần đo với điện áp rơi trên điện trở mẫu khi có dòng công tác chạy qua. Tuy nhiên, do không sử dụng pin mẫu mà sử dụng dòng xoay chiều nên việc điều chỉnh cho U_x và U_k bằng nhau là rất phức tạp.

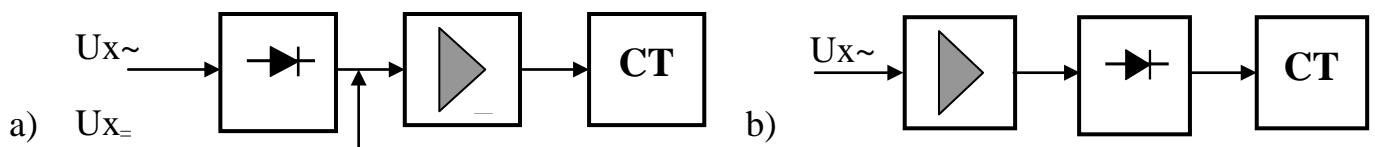
Muốn U_x và U_k cân bằng nhau thì phải thoả mãn 3 điều kiện:

- + U_x và U_k cùng tần số
- + U_x và U_k bằng nhau về trị số
- + U_x và U_k ngược pha nhau (180°)

5. Vôn kế và Ampe kế điện tử tương tự

Ngày nay, nhờ sự phát triển của Kỹ thuật điện tử, các dụng cụ được kết hợp giữa các bộ khuếch đại (transistor hoặc khuếch đại thuật toán) với các chỉ thị cơ điện để khắc phục các nhược điểm của dụng cụ cơ điện thuần túy. Khi đó sẽ làm tăng độ nhạy, tăng điện trở đầu vào và có cấu trúc nhỏ gọn. Các thiết bị như vậy gọi là các thiết bị đo lường điện tử.

Sơ đồ khối của Vôn kế và Ampe kế điện tử như sau:

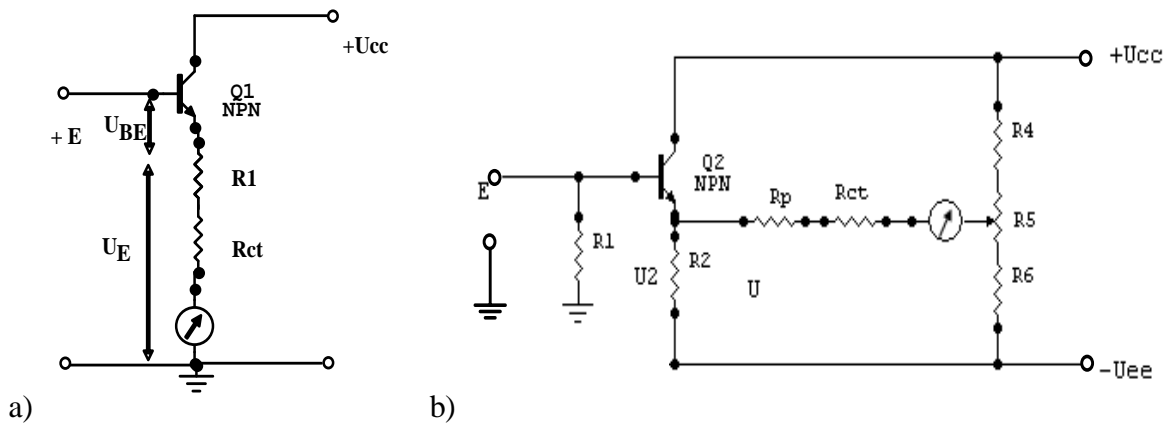


Hình 76: Sơ đồ khối của 2 kiểu Vôn kế và Ampe kế điện tử

Sơ đồ a) Tín hiệu dạng xoay chiều được chỉnh lưu, khuếch đại một chiều và đưa ra chỉ thị. Sơ đồ này có thể đo dòng một chiều hoặc xoay chiều tần số từ 20Hz đến hàng MHz, tuy nhiên, độ ổn định của sơ đồ kém.

Sơ đồ b) Tín hiệu xoay chiều được khuếch đại sau đó đưa tới mạch chỉnh lưu trước khi ra chỉ thị. Sơ đồ này có dải tần hạn chế nhưng tính ổn định cao.

a. *Vôn kế bán dẫn một chiều*



Hình 77: Sơ đồ đơn giản và cải tiến của một Vôn kế bán dẫn một chiều

Giả sử cho mạch như Hình 77a, Biết: $U_{cc} = 20V$; $R_p = 9k\Omega$; $R_{ct} = 0,3k\Omega$; $h_{FE} = 100$

Chỉ thị thuộc loại TĐNCVC có ĐLTT là $1mA$.

Xác định E là điện áp cần đo.

Rõ ràng qua chỉ thị ta sẽ xác định được dòng $I_E = I_{ct}$

$$\Rightarrow E = U_{BE} + U_E = U_{BE} + I_{ct}(R_p + R_{ct})$$

$$\Rightarrow E = 0,7 + 9,3 \cdot 10^3 \cdot I_{ct}$$

Điện trở vào R_v của mạch trên có thể tính như sau: $R_v = \frac{E_{max}}{I_{B_{max}}}$

ứng với ĐLTT ta có: $I_{ct} = 1mA \Rightarrow E_{max} = 0,7 + 9,3 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 10V$

$$\text{và khi đó } I_{B_{max}} = \frac{I_E}{h_{FE}} = \frac{1mA}{100} = 10\mu A \quad \Rightarrow R_v = \frac{10}{10^{-5}} = 10^6 \Omega$$

Vậy nếu sử dụng làm Vôn kế thì mạch có điện trở vào khá lớn.

Tuy nhiên, sự bất ổn của U_{BE} khi nhiệt độ và dòng vào thay đổi sẽ gây sai số cho Vôn kế, do đó người ta thường sử dụng các sơ đồ Hình 77b.

Trong đó:

$$U_{cc} = +12V$$

$$U_{ee} = -12V$$

R_1 đảm bảo cho Bazo ở thế đất khi điện áp vào bằng 0

R_4, R_5 và R_6 là bộ phân áp có U_p điều chỉnh được

R_p là điện trở phụ mở rộng thang đo

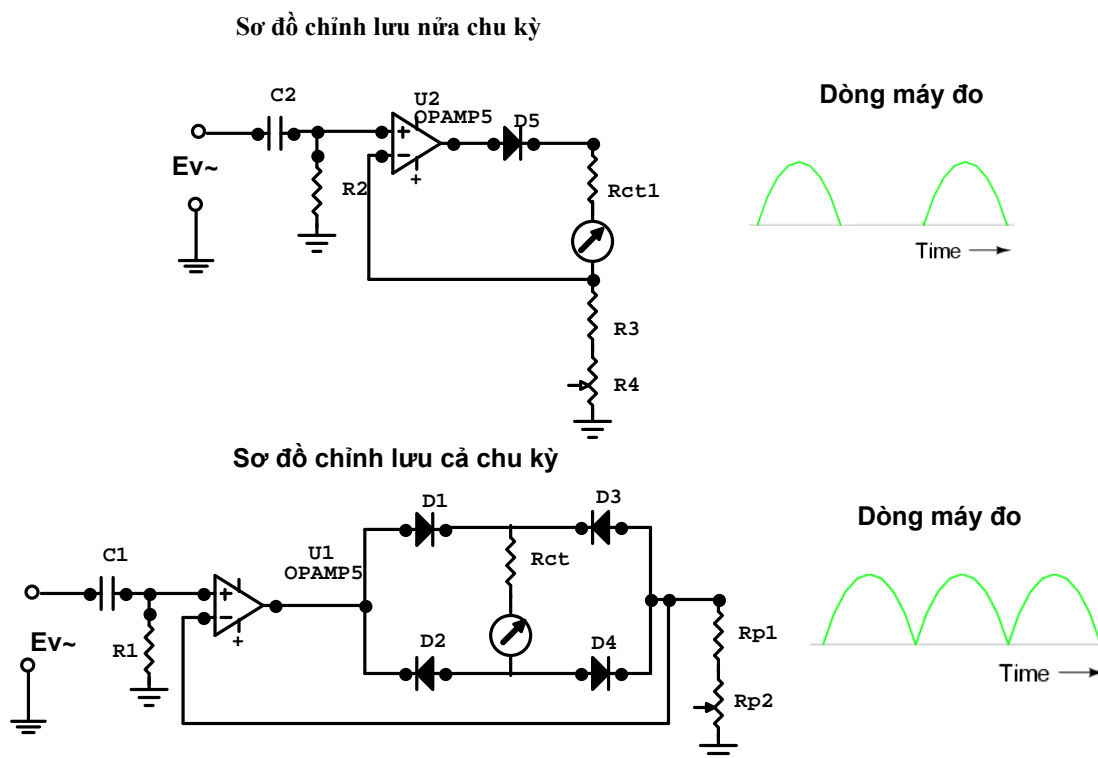
+ Khi $E = 0$ ta có:

$$U_B = 0$$

Để đo các điện áp nhỏ hơn người ta sử dụng Vôn kế khuếch đại như Hình 79b.

c. Vôn kế điện tử xoay chiều

Thông thường các bộ chỉ thị của Vôn kế điện tử là cơ cấu từ điện, nghĩa là có tính phân cực. Do đó khi cần đo điện áp xoay chiều có thể sử dụng các mạch chỉnh lưu trước khi đưa vào các dụng cụ đo. Chỉnh lưu có thể thực hiện chỉnh lưu nửa chu kỳ và cả chu kỳ. Dưới đây là một số ví dụ:



Hình 80: Sơ đồ mạch của một số Vôn kế điện tử xoay chiều

Nguyên tắc làm việc của Vôn kế điện tử xoay chiều hoàn toàn giống như Vôn kế điện tử một chiều. Đặc điểm và dải đo cũng tương tự như loại dụng cụ một chiều. Tuy nhiên, nhược điểm của các dụng cụ này là độ chính xác không cao, dải tần hẹp, độ ổn định thấp do đặc tính phi tuyến của các diode và ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường.

III. ĐO ĐIỆN TRỞ

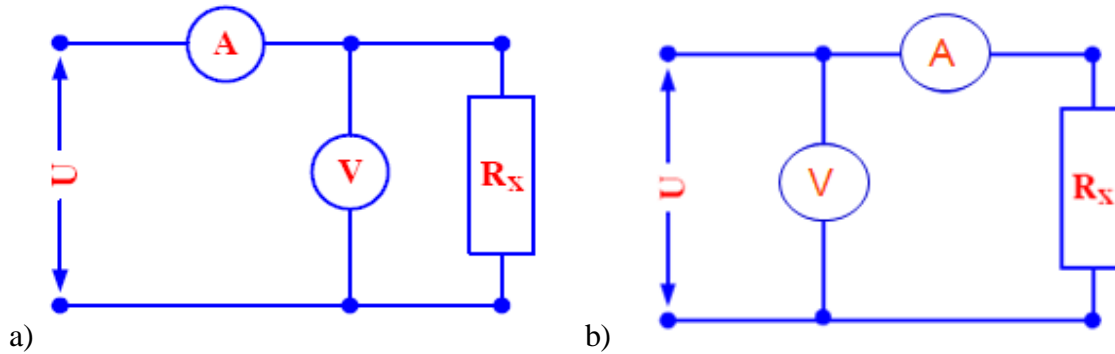
- ✓ Các phương pháp gián tiếp:
 - Đo điện trở bằng Vôn kế và Ampe kế
 - Đo điện trở bằng Vôn kế và điện trở mẫu R_0
 - Đo điện trở R_x bằng một Ampe kế và điện trở mẫu (R_0)
- ✓ Các phương pháp trực tiếp: sử dụng Ôm kế (Ohmmeter).
 - Ôm kế nối tiếp
 - Ôm kế song song
- ✓ Phương pháp so sánh
 - Dùng cầu Wheatstone cân bằng
 - Dùng cầu Wheatstone không cân bằng

1. Đo gián tiếp

a. Sử dụng Ampe kế và Vôn kế

Dựa vào định luật Ohm ta xác định được $R = \frac{U}{I}$

Có thể mắc theo một trong hai sơ đồ như sau:



Hình 81: Sơ đồ đo điện trở nhờ Ampe kế và Vôn kế

Sơ đồ a)

Ampe kế xác định I, Vôn kế xác định U

Giá trị thực của điện trở Rx là: $R_x = \frac{U}{I}$

Bằng cách sử dụng các dụng cụ đo ta tính được giá trị của điện trở là:

$$R'_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U_v}{R_v}}$$

Như vậy: $R'_x \neq R_x$

Do đó ta thấy phép đo đạt giá trị chính xác cao khi Rv càng lớn càng tốt ($R_v \gg R_x$). Sơ đồ này được dùng để đo điện trở có giá trị nhỏ.

Sơ đồ b)

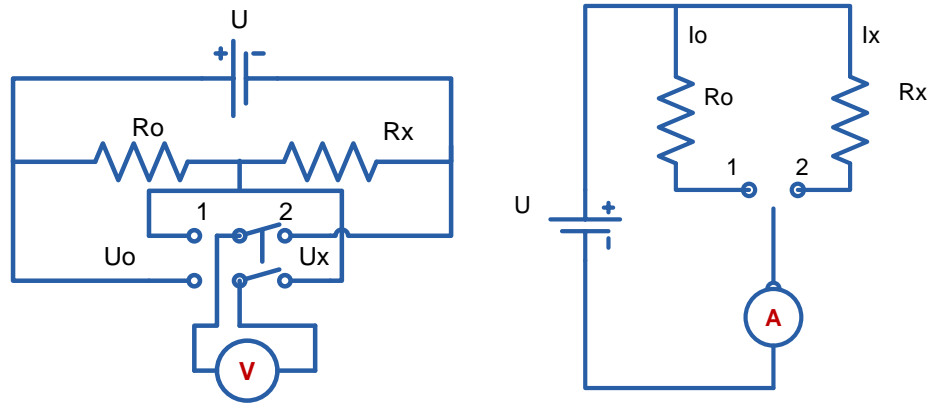
Ampe kế xác định Ix, Vôn kế xác định Uv

Kết quả đo cho ta giá trị điện trở R'x là: $R'_x = \frac{U_v - U_A}{I_x} = \frac{U_v - I_x \cdot R_A}{I_x}$

Như vậy: $R'_x \neq R_x$

Rõ ràng để R'x tiến tới giá trị của Rx thì RA càng nhỏ càng tốt ($R_A \ll R_x$). Sơ đồ b thường dùng để đo điện trở Rx lớn

b. Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu



Hình 82: Sơ đồ mạch đo điện trở bằng cách so sánh với điện trở mẫu

Giả sử có sơ đồ mạch như trên, khi đó có thể xác định điện trở Rx theo công thức tương ứng với hai sơ đồ như sau:

Sơ đồ a) điện trở cần đo và điện trở mẫu Ro mắc nối tiếp

Điện áp rơi trên điện trở mẫu là U_o , điện áp rơi trên điện trở cần đo là U_x . Khi đó nếu dòng

$$\frac{U_o}{R_o} = \frac{U_x}{R_x}$$

qua các điện trở không đổi ta có:

$$\Rightarrow R_x = \frac{U_x}{U_o} \cdot R_o$$

Sơ đồ b) điện trở đo và điện trở mẫu mắc song song

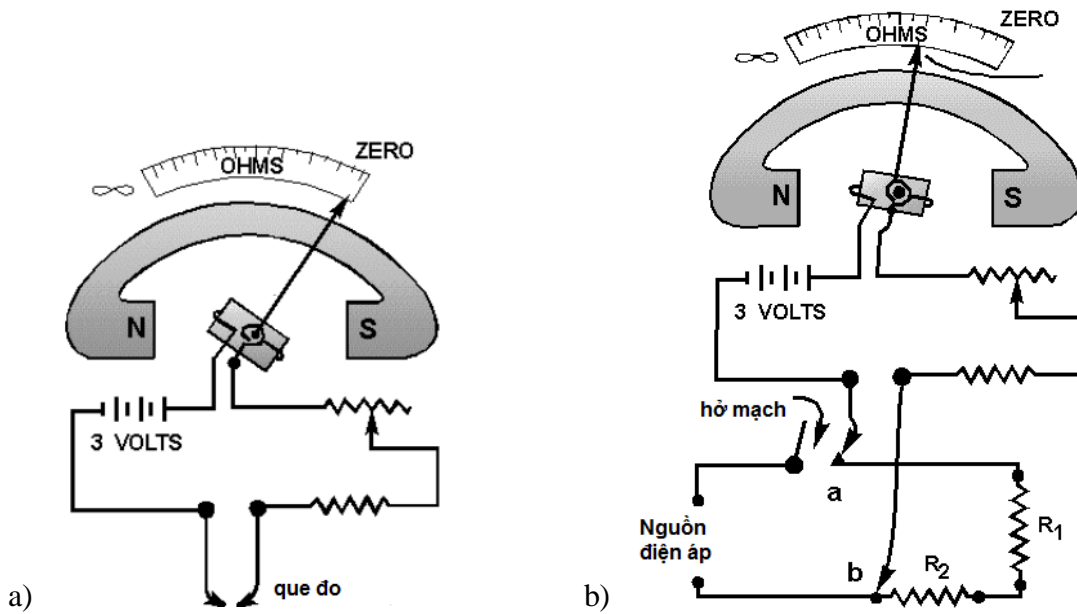
Dòng điện qua điện trở mẫu là I_o , dòng qua điện trở đo là I_x . Với điện áp cung cấp ổn định ta có:

$$I_o \cdot R_o = I_x \cdot R_x$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{I_o}{I_x} \cdot R_o$$

2. Đo điện trở trực tiếp bằng Ôm kế

Khi đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp như trên sai số của phép đo sẽ lớn vì nó sẽ bằng tổng các sai số do các dụng cụ gây ra. Để giảm thiểu sai số không mong muốn này người ta chế tạo dụng cụ đo trực tiếp giá trị của điện trở gọi là Ôm kế.



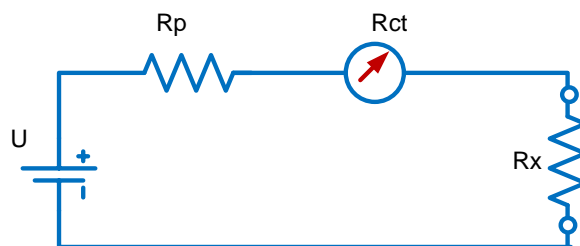
Hình 83: a) Sơ đồ đơn giản của một Ohm kế và b) Cách sử dụng Ôm kế

Ôm kế là dụng cụ đo có cơ cấu chỉ thị từ điện với nguồn cung cấp là pin và các điện trở chuẩn, xem Hình 83a.

Dựa vào định luật Ohm ta có $R = \frac{U}{I}$, như vậy, nếu giữ U không đổi thì dòng điện I qua mạch đo sẽ thay đổi khi điện trở thay đổi (tức là kim sẽ lệch những góc khác nhau khi giá trị của điện trở thay đổi). Trên cơ sở đó người ta chế tạo Ôm kế đo điện trở. Như vậy, về mặt nguyên tắc có thể sử dụng tất cả các cơ cấu chỉ thị theo dòng (như cơ cấu chỉ thị từ điện, điện từ hay điện động) để chế tạo Ôm kế nhưng trên thực tế người ta chỉ sử dụng cơ cấu từ điện vì những ưu điểm của cơ cấu này như đã nói ở phần trước. Để sử dụng Ôm kế đo điện trở cho một đoạn mạch như đo $R_1 + R_2$ trong Hình 83: a) Sơ đồ đơn giản của một Ohm kế và b) Cách sử dụng Ôm kế cần hở đoạn mạch cần đo nhằm đảm bảo không có dòng qua nó.

Dưới đây sẽ trình bày về Ôm kế có cơ cấu chỉ thị kiểu từ điện. Có hai loại Ôm kế là Ôm kế nối tiếp và Ôm kế song song.

a. Ôm kế nối tiếp



Hình 84: Sơ đồ cấu tạo theo nguyên tắc của Ôm kế nối tiếp

Đây là Ôm kế trong đó điện trở cần đo mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị. Ôm kế loại này thường để đo giá trị điện trở R_x cỡ từ Ohm trở lên.

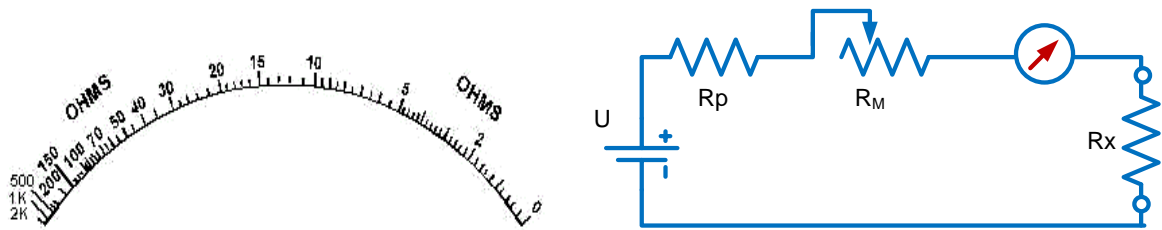
R_p là điện trở phụ đảm bảo khi $R_x = 0$ dòng điện qua cơ cấu đo là lớn nhất (hết thang chia độ) và để bảo vệ cơ cấu chỉ thị.

Điện trở trong của Ôm kế được xác định là: $R_{\Omega} = R_{ct} + R_p = \frac{U_0}{I_{ct \max}}$

- Khi $R_x = 0$ dòng qua chỉ thị là dòng $I_{ctmax} = \frac{U_o}{R_{ct} + R_p}$
- Khi $R_x \neq 0$ dòng qua chỉ thị $I_{ct} = \frac{U_o}{R_{ct} + R_p + R_x}$
- Khi $R_x = \infty$ dòng qua chỉ thị bằng 0

Từ đó ta nhận thấy thang chia độ của Ôm kế loại này ngược với thang chia độ của Ampe kế hay Vôn kế.

Ngoài ra số chỉ của Ôm kế còn phụ thuộc vào nguồn pin cung cấp bên trong. Khi U_o giảm thì sai số khá lớn. Để điều chỉnh sai số này (hay còn gọi là điều chỉnh zero) người ta mắc thêm chiết áp R_M như hình dưới đây.



Hình 85: Thang đo ngược của Ôm kế nối tiếp và sơ đồ chỉnh zero

Cách chỉnh zero: mỗi lần sử dụng Ôm kế ta ngắn mạch đầu vào (cho $R_x = 0$ bằng cách chạm hai đầu que đo với nhau), vặn núm điều chỉnh của R_M để kim chỉ zero trên thang đo.

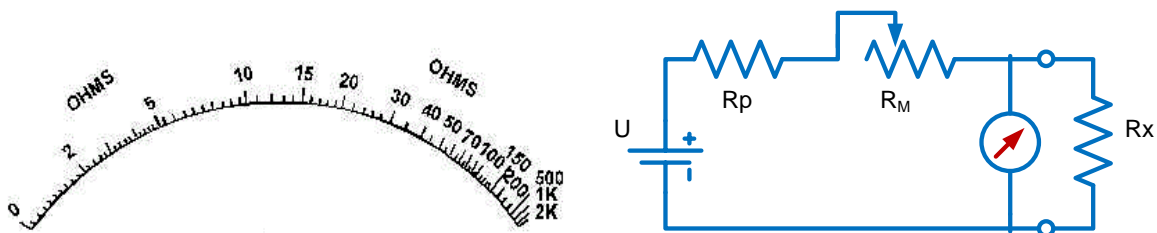
Bằng cách làm như trên ta sẽ có kết quả đo chính xác hơn dù nguồn pin bị yếu đi.

b. Ôm kế song song

Loại Ôm kế này có điện trở cần đo R_x mắc song song với cơ cấu chỉ thị như Hình 86.

Ôm kế loại này dùng để đo điện trở R khá nhỏ.

Thang đo của Ôm kế song song có dạng thuận như các thang đo thông thường khác vì khi không có R_x (tức là $R_x = \infty$) dòng qua chỉ thị là lớn nhất còn khi $R_x = 0$ dòng qua chỉ thị xấp xỉ 0.



Hình 86: Thang đo thuận của Ôm kế song song và mạch chỉnh Zero

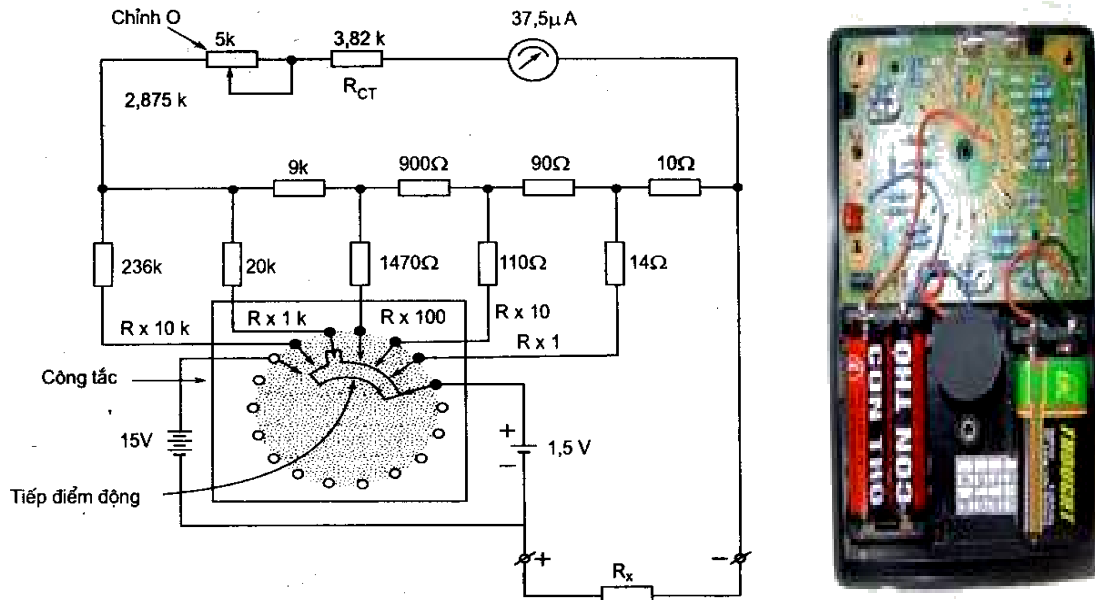
Nhược điểm chính của loại Ôm kế này là nguồn pin U bị hao hụt đi rất nhanh vì trạng thái hai que đo để hở dòng qua chỉ thị là lớn nhất.

Khi nguồn U bị suy giảm thì điều chỉnh R_M để dòng qua chỉ thị đạt giá trị lớn nhất khi để hở mạch que đo.

c. Ôm kế nhiều thang đo

Việc mở rộng nhiều thang đo cho Ôm kế sẽ tuân theo nguyên tắc chuyển từ giới hạn đo này sang giới hạn đo khác bằng cách thay đổi điện trở vào của Ôm kế với một số lần nhất định sao cho khi $R_x = 0$ kim chỉ vẫn đảm bảo lệch hết thang đo tức là dòng qua cơ cấu đo bằng giá trị định mức đã chọn.

Để mở rộng giới hạn đo của Ôm kế người ta có thể dùng nhiều nguồn cung cấp và các điện trở phân dòng cho các thang đo khác nhau, xem hình dưới đây.



Hình 87: Sơ đồ mạch nguyên lý và thực tế của Ôm kế nhiều thang đo

Chú ý: Công tắc đo có phần tiếp xúc động có thể xoay từng nấc cùng chiều hoặc ngược chiều kim đồng hồ. Công tắc này có hai phần tiếp xúc là tiếp xúc với điện trở phân dòng tương ứng của thang đo và tiếp xúc với nguồn cung cấp cho dải đo đó.

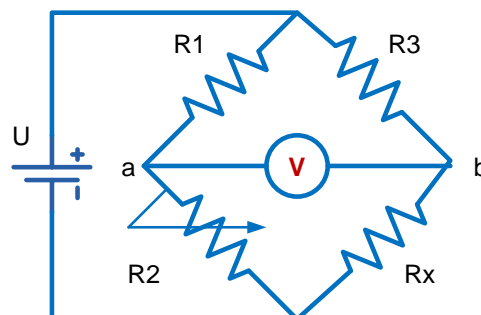
Khi thang đo điện trở ở giá trị nhỏ thì sử dụng nguồn nhỏ (ví dụ là 1,5V hoặc 3V)

Khi thang đo điện trở ở giá trị lớn thì sử dụng nguồn lớn (ví dụ là 9V hoặc 15V)

3. Cầu đo điện trở

Có hai loại cầu là cầu đơn (Wheatstone) và cầu kép (Kelvin) được sử dụng để đo điện trở với độ chính xác cao.

a. Cầu Wheatstone (cầu đơn)



Hình 88: Sơ đồ mạch cầu đơn đo điện trở

Trong đó:

R1, R3 là các điện trở cố định

R2 là chiết áp

Đây là các điện trở làm bằng Manganine có độ chính xác cao.

Rx là điện trở cần đo

Milivôn kế có dạng chỉ thị 0.

Hoạt động của cầu:

Để xác định điện trở Rx người ta điều chỉnh con chạy của R2 để chỉ thị chỉ 0, khi đó cầu ở trạng thái cân bằng, tức là $U_{ab} = 0$

$$V_a = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_o$$

Theo công thức phân áp ta có:

$$V_b = \frac{R_x}{R_x + R_3} \cdot U_o$$

Cầu cân bằng khi $V_a = V_b$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{R_x}{R_3 + R_x} \\ \Leftrightarrow R_2 \cdot R_3 &= R_1 \cdot R_x \\ \Rightarrow R_x &= \frac{R_3}{R_1} \cdot R_2 \end{aligned}$$

Vì R3 và R1 có giá trị cố định nên tỉ số giữa chúng là không đổi và được gọi là hệ số nhân k, như vậy, $R_x = k \cdot R_2$

Từ đó ta có cách đo điện trở bằng cầu Wheatstone như sau:

- Đưa điện trở Rx vào cầu và điều chỉnh con chạy của R1 sao cho kim chỉ thị chỉ 0
- Tính Rx theo công thức: $R_x = \frac{R_3}{R_1} \cdot R_2$,
- Hệ số R3/R1 biết trước nên thang khắc độ có thể khắc trực tiếp giá trị của điện trở cần đo tùy thuộc vào vị trí con chạy của R2.

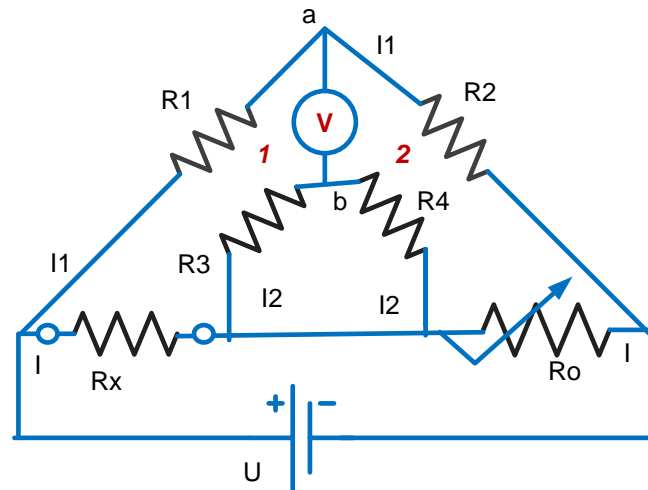
Thông thường để mở rộng thang đo người ta giữ nguyên R1 còn R3 được thay bởi một dãy các điện trở có giá trị hơn kém nhau 10 lần, khi đó ta sẽ có hệ số nhân là bội của 10.

Mạch trên có ưu điểm là gọn nhẹ, đơn giản và có độ chính xác phụ thuộc vào sai số của biến trở và chỉ thị.

Giá trị điện trở cần đo càng lớn độ chính xác càng giảm. Khi đo $R = 50 - 10^5 \Omega$ sai số khoảng 0,05% nhưng khi đo $R = 10^5 - 10^6 \Omega$ thì sai số lên tới 0,5%.

b. Cầu Kelvin (cầu kép)

Đây là dụng cụ dùng để đo điện trở nhỏ và rất nhỏ mà cầu đơn ở trên không đo được hoặc có sai số quá lớn do điện trở dây nối và điện trở tiếp xúc.



Hình 89: Mạch nguyên lý của cầu kép

Khi cầu cân bằng ta có chỉ thị chỉ 0, dòng qua chỉ thị bằng 0 nên dòng qua R1, R2 là dòng I1, dòng qua R3, R4 là dòng I2. Đặt dòng qua Rx là I thì dòng này cũng qua Ro

+ Theo vòng 1 ta có:

$$I1.R1 = I.Rx + I2.R3$$

$$I.Rx = I1.R1 - I2.R3$$

$$\Rightarrow I.Rx = R1(I1 - I2.\frac{R3}{R1})$$

+ Theo vòng 2 ta có:

$$I1.R2 = I.Ro + I2.R4$$

$$I.Ro = I1.R2 - I2.R4$$

$$\Rightarrow I.Ro = R2(I1 - I2.\frac{R4}{R2})$$

$$\text{Vậy: } \frac{Rx}{Ro} = \frac{R1}{R2} \cdot \frac{I1 - I2.\frac{R3}{R1}}{I1 - I2.\frac{R4}{R2}}$$

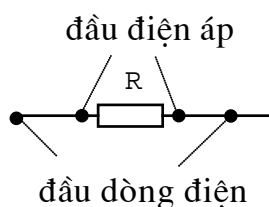
$$\text{Với điều kiện: } \frac{R3}{R1} = \frac{R4}{R2} \text{ hay } \frac{R1}{R2} = \frac{R3}{R4}$$

$$\text{Ta sẽ có: } Rx = Ro.\frac{R1}{R2}$$

Như vậy nếu trong quá trình đo luôn giữ được tỉ số $R1/R2 = R3/R4$ thì ta sẽ tính được Rx thông qua tỉ số trên. Trên thực tế, người ta cố định các tỉ số trên và điều chỉnh Ro để cầu cân bằng, khi đó thang đo Rx chính là thang đo của Ro được nhân thêm hệ số $R1/R2$.

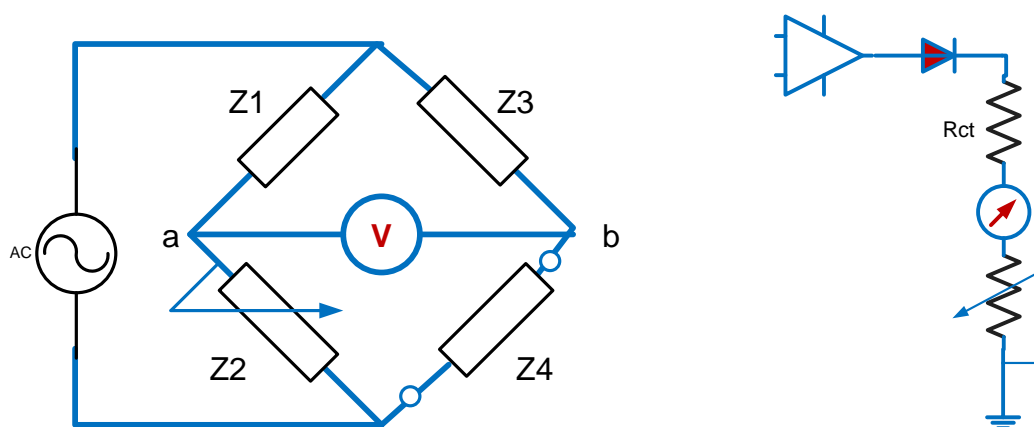
Chú ý: Ro là điện trở mẫu còn Rx là điện trở cần đo có giá trị rất nhỏ nên để đảm bảo độ chính xác cao chúng thường được chế tạo thành điện trở 4 đầu, trong đó có 2 đầu áp và 2 đầu dòng (về thực chất đó chính là các điện trở sun nhỏ). Khi này sẽ tránh được sụt áp tại các

điểm tiếp xúc của các đầu ra điện áp. Trong sơ đồ thông thường, R_1 , R_2 , R_3 và R_4 được mắc với các đầu điện áp của chúng. Nối giữa R_x và R_o là nối các đầu dòng. Dải đo của cầu kép từ $10^{-6} - 100\Omega$, giá trị điện trở càng nhỏ cấp chính xác càng thấp do hạn chế của khả năng tạo giá trị chuẩn. Hình dưới đây biểu diễn ký hiệu đơn giản và hình dáng thực tế của điện trở chuẩn.



IV. ĐO ĐIỆN DUNG VÀ ĐIỆN CẢM

Để đo điện cảm, điện dung, góc tổn hao và hệ số phẩm chất Q người ta thường sử dụng cầu đo xoay chiều. Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động của cầu như sau :



Hình 90 : Sơ đồ mạch cầu và sơ đồ khuếch đại trước khi qua chỉ thị.

Nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều tần số công nghiệp (50 – 60Hz), âm tần hoặc cao tần từ máy phát tần.

Chỉ thị zero là dụng cụ xoay chiều như điện kế điện tử, máy hiện sóng ...

Từ sơ đồ trong Hình 90a và điều kiện cân bằng của cầu ta có: $Z_1.Z_4 = Z_2.Z_3$

Trong đó Z là tổng trở của các nhánh, $Z = R + jX$ với R là phần thực và X là phần ảo.

Điều kiện trên thỏa mãn khi các điều kiện cân bằng biên độ và cân bằng pha được thỏa mãn.

Dụng cụ chỉ 0 của cầu xoay chiều thường là điện kế chỉnh lưu có sử dụng thêm bộ khuếch đại để tăng độ nhạy cho chỉ thị với dải tần số đo là 20Hz – 1MHz, xem Hình 90b.

1. Cầu xoay chiều đo điện dung

Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không qua tụ) nhưng trong thực tế vẫn có thành phần dòng rò đi qua lớp điện môi vì vậy trong tụ có sự tổn hao công suất. Để đặc trưng cho sự tổn hao này người ta sử dụng thông số góc tổn hao $\tan \delta$

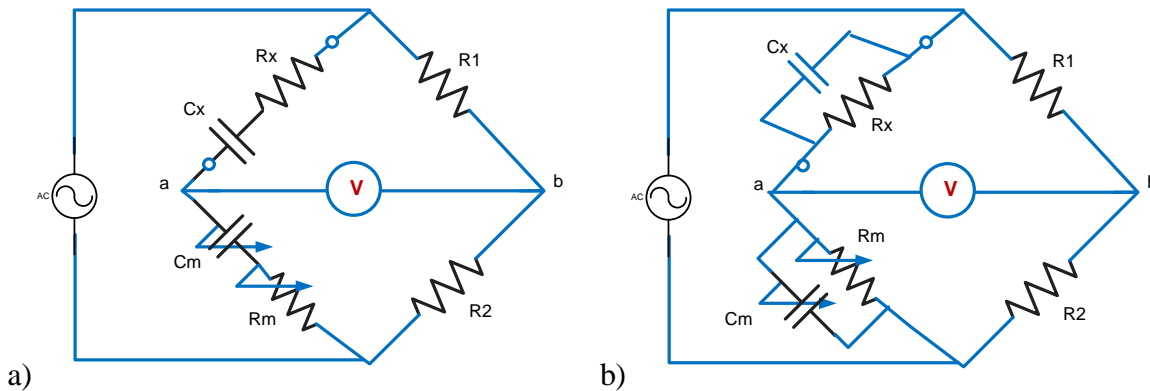
Với tụ có tổn hao nhỏ $\tan \delta = R. \omega C$

Với tụ có tổn hao lớn $\tan \delta = 1/R. \omega C$

Trong đó R , C là hai thành phần đại diện cho phần thuần trở và phần thuần dung của tụ điện.

a. Cầu đo tụ điện tổn hao nhỏ

Tụ điện có tổn hao nhỏ được biểu diễn bởi một tụ điện lý tưởng mắc nối tiếp với một điện trở. Khi đó người ta mắc cầu như Hình 91a.



Hình 91: Cầu đo tụ điện

C_x, R_x là nhánh tụ điện cần đo

C_m, R_m là nhánh tụ mẫu điều chỉnh được

R_1, R_2 là các điện trở thuần trở.

Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ: $Z_x.Z_2 = Z_1.Z_m$

Với :

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) . R_2 = R_1 \left(R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_2.R_x = R_1.R_m \\ R_2/C_x = R_1/C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2}.R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1}.C_m \end{cases}$$

b. Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn

Khi tụ có tổn hao lớn người ta biểu diễn nó dưới dạng một tụ điện lý tưởng mắc song song với một điện trở như Hình 91b.

Để cầu cân bằng ta cần có điều kiện: $Z_x.Z_2 = Z_1.Z_m$

Với:

$$Z_x = \frac{R_x \cdot \frac{1}{j\omega C_x}}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_m = \frac{R_m \cdot \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{R1}{1/Rm + j\omega Cm} &= \frac{R2}{1/Rx + j\omega Cx} \\ \Rightarrow R1(1/Rx + j\omega Cx) &= R2.(1/Rm + j\omega Cm) \\ \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R1}{Rx} = \frac{R2}{Rm} \\ R1.Cx = R2.Cm \end{cases} &\Leftrightarrow \begin{cases} Rx = \frac{R1}{R2}.Rm \\ Cx = \frac{R2}{R1}.Cm \end{cases} \end{aligned}$$

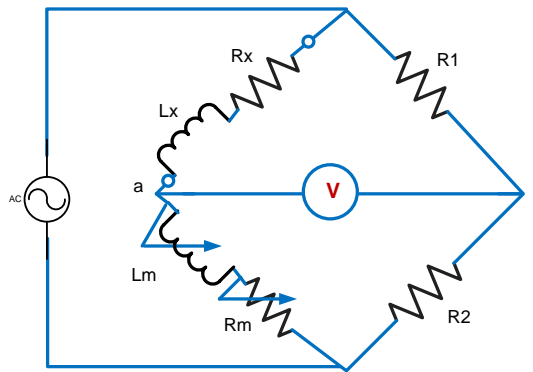
2. Cầu xoay chiều đo điện cảm

Cuộn cảm lý tưởng là cuộn dây chỉ có thành phần điện kháng là ($X_L = \omega L$) hoặc chỉ thuần khiết là điện cảm L , nhưng trong thực tế các cuộn dây bao giờ cũng có một điện trở nhất định. Điện trở càng lớn phẩm chất của cuộn dây càng kém. Q là thông số đặc trưng cho phẩm chất của cuộn dây, nó được tính bằng:

$$Q = \frac{X_L}{R_L}$$

Để đo các thông số của cuộn dây người ta thường dùng mạch cầu xoay chiều.

a. Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu



Hình 92: Sơ đồ cầu xoay chiều xác định điện cảm

Mạch cầu so sánh các đại lượng cần xác định L_x, R_x với đại lượng mẫu L_m và R_m .

Hai nhánh $R1, R2$ là các điện trở thuần trở có độ chính xác cao.

Khi đo người ta điều chỉnh R_m, L_m (và có thể cả $R1, R2$) để cầu đạt giá trị cân bằng.

Khi cầu cân bằng ta có: $Z_x.Z2 = Z1.Zm$

Với:

$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_m = R_m + j\omega L_m$$

$$Z1 = R1$$

$$Z2 = R2$$

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x).R2 = (R_m + j\omega L_m).R1$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} Rx.R2 = Rm.R1 \\ Lx.R2 = Lm.R1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} Rx = \frac{R1}{R2}.Rm \\ Lx = \frac{R1}{R2}.Lm \end{cases}$$

Từ đó tính được hệ số phẩm chất của cuộn dây

$$Q_x = \frac{w.Lx}{R_x} = \frac{w.Lm}{R_m}$$

b. Cầu điện cảm Maxwell

Trên thực tế việc chế tạo tụ điện chuẩn dễ hơn nhiều so với việc tạo cuộn dây chuẩn, do vậy người ta sử dụng tụ điện trong cầu Maxwell để đo điện cảm như Hình 93a.

Khi cầu đạt cân bằng ta có: $Z_x.Z_m = Z_1.Z_2$

Trong đó:

$$Z_x = R_x + j\omega L_x \quad Z_m = \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1 \quad Z_2 = R_2$$

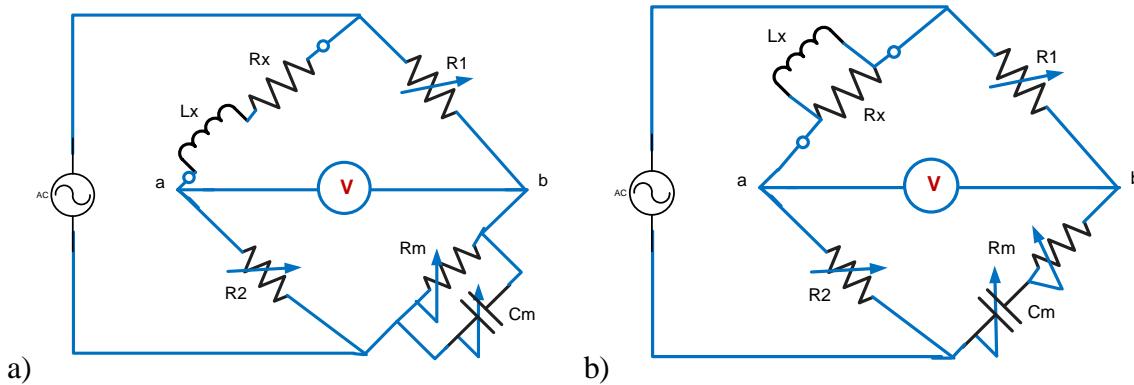
$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x) \cdot \frac{1}{1/R_m + j\omega C_m} = R_1.R_2$$

$$\Rightarrow R_x + j\omega L_x = R_1.R_2 \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1.R_2}{R_m} \\ L_x = R_1.R_2.C_m \end{cases}$$

Từ đó tính được $Q_x = \frac{w.Lx}{R_x} = w.C_m.R_m$

Cầu Maxwell chỉ thích hợp đo các cuộn cảm có hệ số Q thấp.



Hình 93: Sơ đồ cầu điện cảm a) Maxwell và b) Hay

c. Cầu điện cảm Hay

Mạch cầu này được sử dụng cho việc đo các cuộn cảm có hệ số phẩm chất cao.

Khi cầu cân bằng ta có: $Z_x.Z_m = Z_1.Z_2$

Với:

$$Z_x = \frac{R_x.j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x} \quad Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{R_x \cdot j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x} \left(R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right) = R_1 \cdot R_2$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} L_x = R_1 \cdot R_2 \cdot C_m \\ R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_m} \end{cases}$$

$$\text{khi đó } Q_x = \frac{\omega \cdot L_x}{R_x} = \omega \cdot C_m \cdot R_m$$

Ngoài ra, người ta còn dùng các biến thể khác của mạch cầu như mạch cầu Owen, Shering ... để đo tụ điện và cuộn cảm.

IV. ĐO TẦN SỐ

1. Khái niệm chung

Tần số và góc pha là các đại lượng đặc trưng cho các quá trình dao động có chu kỳ.

Phép đo tần số sử dụng tần số chuẩn có thể đạt độ chính xác cao nhất so với các phép đo khác ($10^{-13} - 10^{-12}$)

+ Chu kỳ T(s) là khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó và thoả mãn phương trình:

$$U(t) = U(t + T)$$

+ Tần số f(Hz) được xác định bởi số chu kỳ lặp lại của tín hiệu trong một đơn vị thời gian.

+ Tần số góc của tín hiệu được xác định bởi biểu thức: $\omega = 2\pi f$

Tần số, góc pha và chu kỳ liên quan với nhau theo biểu thức: $\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 2\pi$

với τ là khoảng thời gian chênh lệch giữa hai tín hiệu

Do vậy việc đo tần số và góc pha được quy về đo tần số và khoảng thời gian.

Dụng cụ để đo tần số được gọi là **tần số kế**. Để đo tần số có thể thực hiện theo 2 phương pháp là biến đổi thẳng và phương pháp so sánh.

Đo tần số bằng phương pháp biến đổi thẳng bao gồm các loại sau:

+ **Tần số kế cơ điện tương tự** (tần số kế điện từ, điện động, sắt điện động). Loại tần số kế này dùng để đo tần số trong khoảng từ 20Hz – 2,5kHz với cấp chính xác không cao (0,2; 0,5; 1,5 và 2,5) và tiêu thụ điện năng khá lớn

+ **Tần số kế điện dung tương tự** để đo tần số trong dải từ 10Hz – 500kHz

+ **Tần số kế chỉ thị số** có thể đo khá chính xác tần số của tín hiệu xung và tín hiệu đa hài trong dải tần từ 10Hz – 50GHz. Ngoài ra nó còn được sử dụng để đo tỉ số giữa các tần số, chu kỳ, độ dài xung và khoảng thời gian.

Đo tần số bằng phương pháp so sánh bao gồm:

+ **Tần số kế trộn tần** dùng để đo tần số của các tín hiệu xoay chiều, tín hiệu điều chế biên độ trong khoảng 100kHz – 20GHz

+ **Tần số kế cộng hưởng** để đo tần số trong dải tần 50kHz – 10GHz

+ **Cầu xoay chiều phụ thuộc vào tần số** để đo tần số trong khoảng 20Hz – 20kHz

+ Máy hiện sóng (oscilloscope) để so sánh tần số cần đo với tần số của máy phát chuẩn, dải tần đo có thể từ 10Hz – 100MHz (loại hiện đại nhất hiện nay có thể lên tới 500MHz)

Dưới đây là một số loại tần số kế thông dụng nhất

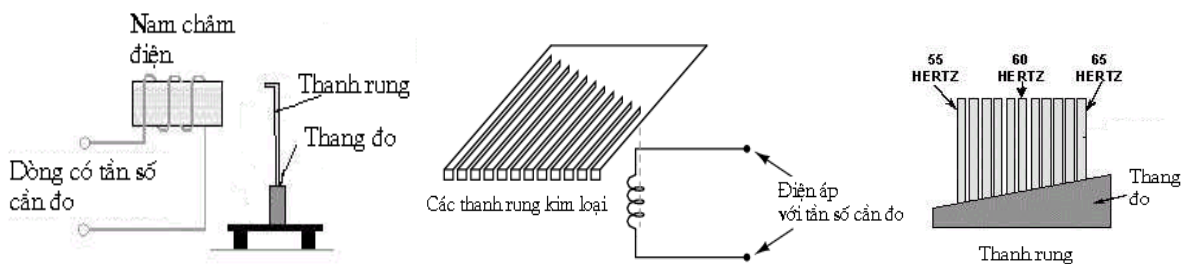
2. Tần số kế cộng hưởng điện từ

a. Cấu tạo:

+ Nam châm điện

+ Thanh rung bằng các lá thép có tần số cộng hưởng riêng. Một đầu của thanh rung bị gắn chặt còn một đầu dao động tự do. Tần số dao động riêng của mỗi thanh bằng 2 lần tần số cần đo.

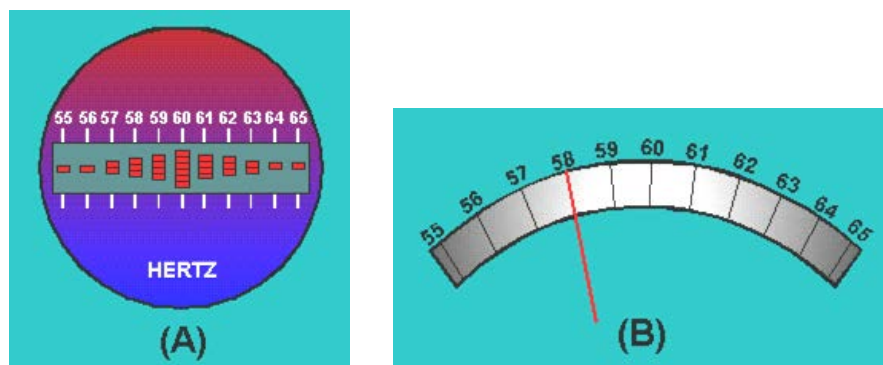
+ Thang đo khắc độ theo tần số, có thể dạng đĩa hoặc dạng thanh



Hình 94: Sơ đồ nguyên lý và cấu tạo của tần số kế cộng hưởng điện từ

b. Hoạt động:

Dưới tác động của từ trường tạo ra bởi nam châm điện các thanh rung bị hút vào nam châm 2 lần trong một chu kỳ của dòng đưa vào nam châm, do đó tạo nên dao động với tần số gấp 2 lần tần số của dòng đưa vào nam châm. Khi thanh rung có tần số dao động riêng bằng 2 lần tần số cần đo thì nó sẽ dao động với biên độ lớn nhất (hiện tượng cộng hưởng xảy ra) và qua đó xác định được tần số cần đo.



Hình 95: Một số dạng thang đo của tần số kế cộng hưởng điện từ

Ưu điểm: Cấu tạo đơn giản, rẻ tiền và tin cậy

Nhược điểm: Dải tần đo rất hẹp (45 – 55Hz), (55 – 65Hz) 0 và (450 – 550Hz)

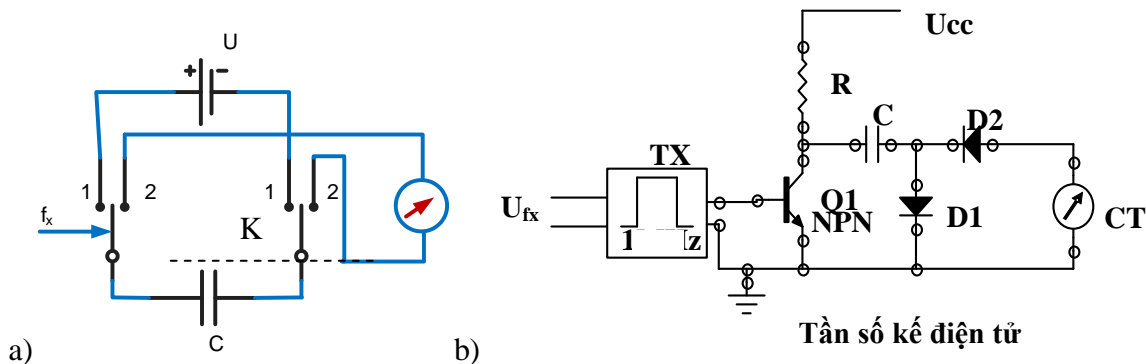
Sai số lớn $\pm 1,5\% \div 2,5\%$

Không thể sử dụng ở nơi có độ rung lớn hoặc thiết bị đang di chuyển.

Điện áp có tần số cần đo có giá trị giới hạn tùy thuộc vào nhà sản xuất (ví dụ 110V, 220V, 380V)

3. Tần số kế điện tử

Tần số kế điện tử là dụng cụ để đo tần số âm tần và cao hơn mà các tần số kế cơ điện không đo được. Đó là sự kết hợp giữa cơ cấu từ điện và các bộ biến đổi để biến đổi tần số thành dòng một chiều.



Hình 96: Sơ đồ nguyên lý và thực tế của tần số kế điện tử

Nguyên tắc biến đổi tần số thành dòng điện một chiều được minh họa ở Hình 96a.

- Khi khoá K ở vị trí 1, tụ điện C được nạp đến điện áp U của nguồn và có điện tích $Q = C.U$
- Khi K chuyển sang vị trí 2, tụ C phóng qua cơ cấu chỉ thị với dòng $I = Q / t$ với t là thời gian phóng.
- Nếu khoá K được điều khiển đóng mở bằng tần số f_x thì giá trị dòng qua cơ cấu là I_{trb} được tính bởi công thức:
 - $I_{trb} = Q / T_x = Q.f_x = C.U.f_x$
- Với T_x là chu kỳ, f_x là tần số cần đo
- Như vậy dòng qua chỉ thị tỉ lệ với tần số cần đo và có thể khắc độ trực tiếp theo đơn vị tần số lên thang đo.

Xét một sơ đồ tần số kế điện tử thực tế như Hình 96b.

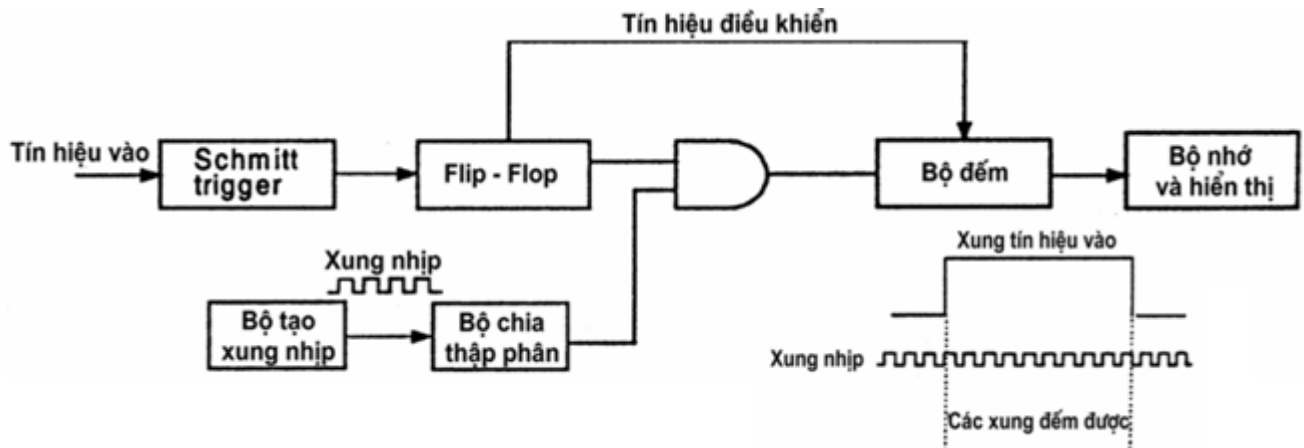
- TX là bộ tạo xung để chuyển điện áp cần đo tần số U_{fx} thành các xung điều khiển đóng mở transistor (đóng vai trò của khoá điện tử). Các xung này có biên độ không đổi U_m .
- Khi không có xung đặt lên Bazo của transistor, transistor khoá, tụ C được nạp theo dòng đi từ U_{cc} qua R, tới C, qua D1 xuống mass. Tụ C khi này sẽ được nạp điện tích $q = C.U$
- Khi có xung tác động, transistor mở thông, tụ C xả qua transistor xuống mass, qua chỉ thị tới D2 và về C.
- Độ lệch của kim chỉ thị khi này sẽ tỉ lệ với giá trị dòng trung bình:
 - $\alpha = K.I = K.q.f_x = K.C.U_m.f_x$
- Trên thang đo lúc này có thể khắc độ theo giá trị của tần số.

Tần số kế điện tử có ưu điểm là có thể đo tần số tín hiệu hình sin trong một dải tần khá rộng từ 0,1 Hz – 1000kHz với sai số $\pm 2\%$

4. Tần số kế chỉ thị số

Tín hiệu mang tần số cần đo f_x được chuyển thành dạng xung vuông có tần số bằng với tần số f_x .

Các xung vuông này được đưa vào bộ đếm trong khoảng thời gian nhất định (thường là 1 giây) vì thế số xung đếm được qua bộ hiển thị tỷ lệ với tần số f_x cần đo.



Hình 97: Sơ đồ khối của một loại tần số kế chỉ thị số

Nguyên tắc hoạt động:

Cổng AND sẽ duy trì việc mở cổng theo chu kỳ của xung định thời, nên sẽ cho các xung tín hiệu cần đo tần số tại đầu ra của cổng AND trong khoảng thời gian mở cổng. Bộ đếm sẽ đếm các xung và số đếm sẽ được lưu trữ vào bộ nhớ cũng như được hiển thị. Xung định thời kích khởi bộ đếm tại thời điểm xuất hiện cạnh trước và dừng bộ đếm tại thời điểm xuất hiện cạnh sau của xung nhờ flip – flop.

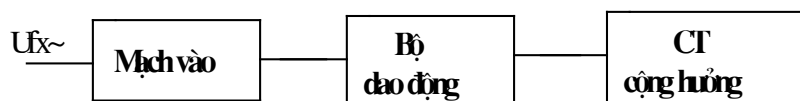
Nếu khoảng thời gian của xung định thời là 1 giây, bộ đếm mở cổng trong khoảng thời gian là 1 giây, bộ đếm cho số chu kỳ tín hiệu truyền qua cổng trong một giây, tức là đo trực tiếp tần số của tín hiệu.

Đặc điểm:

Tần số kế hiển thị số được sử dụng rộng rãi vì có những tính năng vượt trội như:

- Thiết bị đo gọn nhẹ,
- Dải tần rộng,
- Hiện thị bằng số dễ đọc,
- Tiêu tốn năng lượng rất ít
- Có thể tự động hóa một cách dễ dàng.

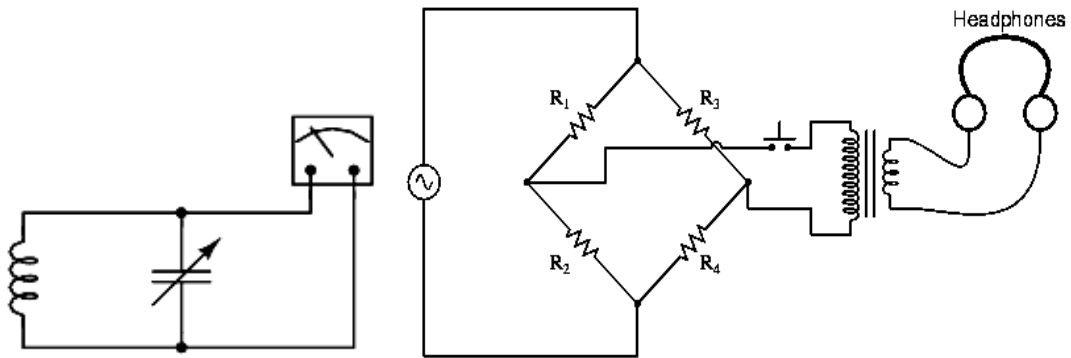
5. Tần số kế cộng hưởng điện tử



Hình 98: Sơ đồ khối của tần số kế cộng hưởng điện tử

Nguyên tắc: xác định tần số cần đo bằng cách so sánh nó với tần số của mạch dao động.

Trong đó, bộ dao động được điều chỉnh cộng hưởng với tần số cần đo của nguồn tín hiệu. Trạng thái cộng hưởng được phát hiện theo chỉ số cao nhất của bộ chỉ thị cộng hưởng (tỉ lệ với dòng, áp hoặc âm lượng ...). Dưới đây là một số sơ đồ sử dụng chỉ thị cộng hưởng thông dụng.



Hình 99: Chỉ thị cộng hưởng bằng đồng hồ đo hoặc tai nghe

Tần số cộng hưởng được khắc ngay trên thiết bị dò cộng hưởng của bộ dao động, đó cũng chính là thang đo của tần số fx.

Ưu điểm của tần số cộng hưởng điện là đơn giản với độ chính xác đạt tới 0,1%.

Các phương pháp khác đo tần số

Ngoài hai cách xác định tần số kể trên thì có thể dùng máy hiện sóng, cầu xoay chiều có thông số phụ thuộc tần số. Các cách này sẽ được nói tới trong phần tiếp theo của tài liệu.

CHƯƠNG 4:

THIẾT BỊ ĐO LƯỜNG VÀ ỨNG DỤNG

Lý thuyết: 4 tiết

Mục tiêu chính của chương này là cung cấp kiến thức về:

- Cấu tạo
- Nguyên tắc hoạt động
- Ứng dụng trong đo lường















của một số thiết bị đo lường điện tử điển hình như đồng hồ vạn năng tương tự, đồng hồ vạn năng số, máy hiện sóng tương tự và máy hiện sóng số

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Như đã trình bày ở các phần trên, các dụng cụ đo lường được phân loại thành 2 loại điển hình là loại tương tự và loại số.

Dưới đây là một số ký hiệu được sử dụng trên mặt đồng hồ đo tương tự và ý nghĩa của chúng.

Bảng 4: Ký hiệu và ý nghĩa được sử dụng ở đồng hồ đo tương tự

Loại cơ cấu đo	
	cơ cấu đo kiểu từ điện, khung dây ở phần động
	cơ cấu đo kiểu dây treo nam châm
	cơ cấu đo từ điện có dùng diode chỉnh lưu
	cơ cấu đo kiểu điện từ
	cơ cấu đo kiểu điện động (không có lõi sắt)
Trạng thái đặt dụng cụ đo	
	đặt thiết bị đo theo phương thẳng đứng (vuông góc với mặt phẳng nằm ngang)
	đặt thiết bị đo theo phương nằm ngang
	đặt thiết bị đo nghiêng một góc 60° so với phương nằm ngang
Loại dụng cụ đo	
  	Ampe kế một chiều (đơn vị đo Ampe, mili Ampe, micro Ampe)
  	Vôn kế một chiều (đơn vị đo Vôn, mili Vôn, micro Vôn)
 	Ampe kế, Vôn kế xoay chiều

Ngoài ký hiệu trên, trên mặt đồng hồ đo tương tự còn ghi cấp chính xác của nó, giá trị này tương ứng với sai số tương đối quy đổi. Từ thang đo và cấp chính xác của đồng hồ đo có thể xác định được độ phân giải và độ nhạy của dụng cụ đo.

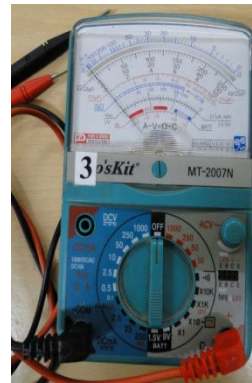
Thiết bị đo lường dùng trong kỹ thuật điện tử phổ biến nhất hiện nay là đồng hồ vạn năng (multimeter). Khi này có thể dùng duy nhất một dụng cụ đo mà có thể xác định được nhiều đại lượng khác nhau như điện áp, cường độ dòng điện, điện trở, kiểm tra pin, kiểm tra tụ Đồng hồ vạn năng có 2 dạng là tương tự hoặc số.

Tuy nhiên, khi sử dụng đồ hồ đo thì người sử dụng chỉ xác định được giá trị trung bình của đại lượng đo mà không biết chính xác hình dạng theo thời gian và các thông số khác của đại lượng đo như giá trị đỉnh, giá trị một chiều, giá trị xoay chiều, tần số Để hiển thị chính xác đồ thị theo thời gian của đại lượng đo để từ đó xác định các thông số cụ thể như trên cần dùng đến thiết bị đo hiện đại hơn rất nhiều là máy hiện sóng hoặc máy phân tích phổ.

Vì vậy, phần tiếp theo sẽ giới thiệu đồng hồ vạn năng và máy hiện sóng

II. ĐỒNG HỒ VẠN NĂNG

1. Đồng hồ vạn năng tương tự



Hình 100: Một số đồng hồ vạn năng phổ biến trên thị trường

Một số đặc điểm cấu tạo:

- ✓ Bộ phận chính của nó là một Gavanô kế. Nó thường thực hiện đo các đại lượng điện học cơ bản là cường độ dòng điện, hiệu điện thế và điện trở.
- ✓ Hiển thị kết quả đo được thực hiện bằng kim chỉ trên một thước hình cung.
- ✓ Có núm điều chỉnh điện trở 0 (khi chập 2 đầu que đo)
- ✓ Có khe chỉnh vị trí 0 cho kim chỉ thị
- ✓ Có gương phản chiếu để việc đọc kết quả được dễ dàng hơn.
- ✓ Không cần nguồn điện nuôi khi hoạt động trong chế độ đo cường độ dòng điện và hiệu điện thế.
- ✓ Sử dụng 2 pin AA 1,5V khi thang đo điện trở $< 1\text{K}\Omega$ và 1 pin 9V khi thang đo điện trở $> 1\text{K}\Omega$

Tính năng cơ bản:

- ✓ Đo cường độ dòng điện
- ✓ Đo điện áp xoay chiều AC
- ✓ Đo điện áp một chiều DC
- ✓ Đo điện trở, trở kháng
- ✓ Kiểm tra sự thông mạch của đoạn mạch hay mối hàn
- ✓ Kiểm tra tụ điện
- ✓ Kiểm tra diode
- ✓ Kiểm tra transistor

- ✓ Xác định chân cực của transistor
- ✓ Kiểm tra pin

Nguyên tắc sử dụng đồng hồ vạn năng kim:

- ✓ Bước 1: Cắm que đo đúng vị trí
- ✓ Bước 2: Để đúng switch ở đại lượng cần đo, nếu chưa xác định được giá trị cần đo thì để thang đo ở mức lớn nhất có thể.
- ✓ Bước 3: Điều chỉnh lại vị trí 0 (nếu cần)
- ✓ Bước 4: Đặt que đo ở vị trí cần đo một cách phù hợp.
- ✓ Bước 5: Nhìn nhanh kết quả đo để tùy vào kết quả hiển thị mà điều chỉnh lại chiều que đo hoặc thang đo sao cho có độ chính xác cao nhất

Chú ý: nếu cắm que đo không đúng vị trí hoặc switch không đúng đại lượng đo và dải đo thì có thể kết quả chỉ thị sai hoặc gây hỏng cho dụng cụ.

Ưu điểm:

- ✓ Thực hiện đơn giản
- ✓ Hiển thị kết quả nhanh (gần như tức thời)
- ✓ Tuổi thọ dài
- ✓ Kiểm tra được tình trạng của nhiều loại linh kiện như tụ điện, cuộn dây, diode, transistor
- ✓ Có khả năng cân chỉnh giá trị ban đầu

Nhược điểm:

- ✓ Kết quả đo phụ thuộc vào thao tác của người đo
- ✓ Độ chính xác không cao
- ✓ Trở kháng thấp, khoảng 20KOhm/V
- ✓ Sụt áp đáng kể khi đo dòng nhỏ
- ✓ Không có khả năng tự động lựa chọn dải đo

2. Đồng hồ vạn năng số

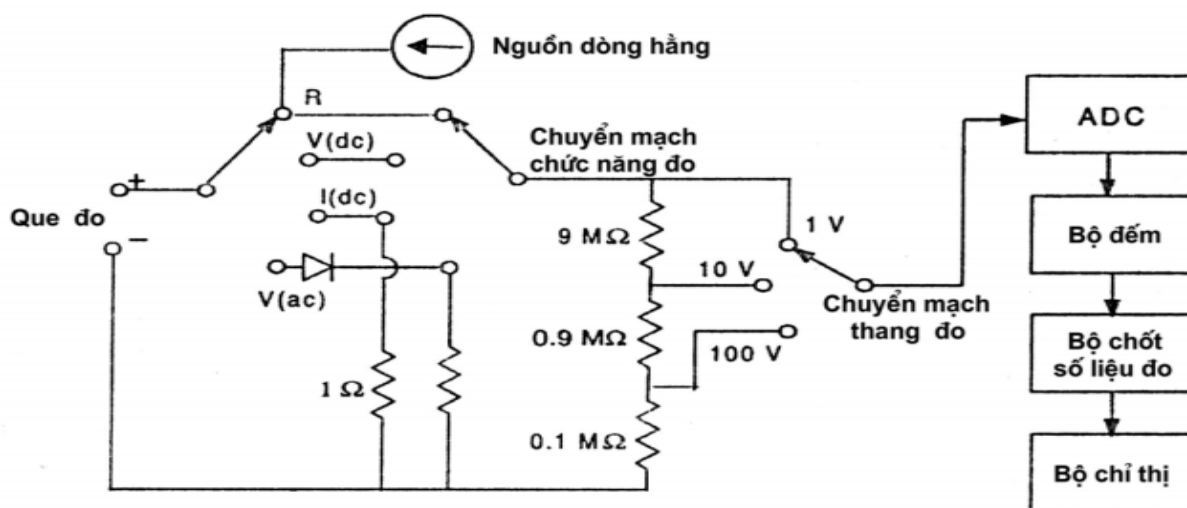


Hình 101: Một số đồng hồ vạn năng số

Đồng hồ vạn năng số còn gọi là đồng hồ vạn năng điện tử là một đồng hồ vạn năng sử dụng các linh kiện điện tử tích cực, do đó cần có nguồn điện ngoài như pin. Đây là dụng cụ đo thông dụng nhất hiện nay dành cho những người làm công tác kiểm tra điện và điện tử. Kết quả của phép đo thường được hiển thị trên một màn tinh thể lỏng hoặc LED.

Việc lựa chọn các đơn vị đo, thang đo hay vị chỉnh thường được tiến hành bằng các nút bấm, hay một công tắc xoay, có nhiều nấc, và việc cắm dây nối kim đo vào đúng các lỗ. Nhiều vạn năng kế hiện đại có thể tự động chọn thang đo (autorange).

Ngày nay các mạch điện tử có xu hướng nhỏ gọn, tăng mật độ tích hợp của linh kiện nên việc đo cường độ dòng không còn dễ dàng như khi dùng dây dẫn. Để thuận tiện cho việc đo dòng nhà sản xuất mạch phải để sẵn các cầu nối bằng jump để khi đo dòng thì bỏ jump, nhưng việc này cũng không phổ biến. Vì thế, hiện nay người ta thường chỉ đo điện áp và đo điện trở và vì thế các đồng hồ đo cũng chỉ thực hiện chức năng đo 2 đại lượng này, gọi là đồng hồ VOM (Voltage – Ohm Metter)



Hình 102: Sơ đồ mạch cấu tạo điển hình của một đồng hồ vạn năng số

Về thực chất đây là một Volt kế số vì các đại lượng như điện trở, dòng điện và điện áp xoay chiều sẽ được chuyển thành điện áp một chiều và mạch sẽ thực hiện việc đo đại lượng một chiều đó rồi chuyển về giá trị của đại lượng cần đo.

Tính năng cơ bản của VOM:

- ✓ Hiển thị số thay cho kim chỉ trên thước.
- ✓ Đo điện áp và điện trở
- ✓ Kiểm tra nối mạch: máy kêu "bíp" khi điện trở giữa 2 đầu đo (gần) bằng 0.
- ✓ Thêm các bộ khuếch đại điện để đo hiệu điện thế hay cường độ dòng điện nhỏ, và điện trở lớn.
- ✓ Đo độ tự cảm của cuộn cảm và điện dung của tụ điện
- ✓ Kiểm tra diode và transistor
- ✓ Hỗ trợ cho đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt.
- ✓ Đo tần số trung bình, khuếch đại âm thanh, để điều chỉnh mạch điện của radio. Nó cho phép nghe tín hiệu thay cho nhìn thấy tín hiệu (như trong dao động kế).
- ✓ Kiểm tra mức logic dương hay âm
- ✓ Lưu giữ số liệu đo đạc

Cách sử dụng đồng hồ vạn năng số: Các bước thực hiện giống như đồng hồ kim:

- ✓ Cắm que đo đúng vị trí
- ✓ Lựa chọn đại lượng cần đo và dải đo nhờ switch và nút bấm

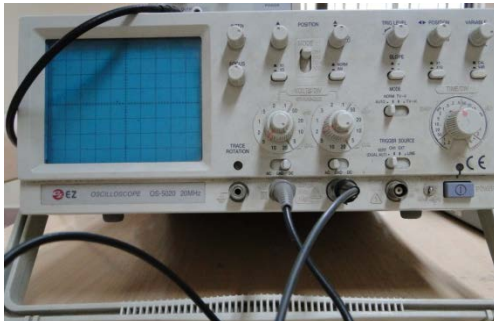
Ưu điểm:

- ✓ Kết quả hiển thị rõ ràng và duy nhất
- ✓ Độ chính xác cao, độ phân giải tốt
- ✓ Trở kháng vào rất lớn nên không gây sụt áp khi đo dòng nhỏ
- ✓ Có thể tự động lựa chọn dải đo và lưu giữ kết quả

Nhược điểm:

- ✓ Sử dụng nhiều linh kiện điện tử nên hay bị hỏng, tuổi thọ không cao
- ✓ Kết quả đo không được hiển thị tức thời

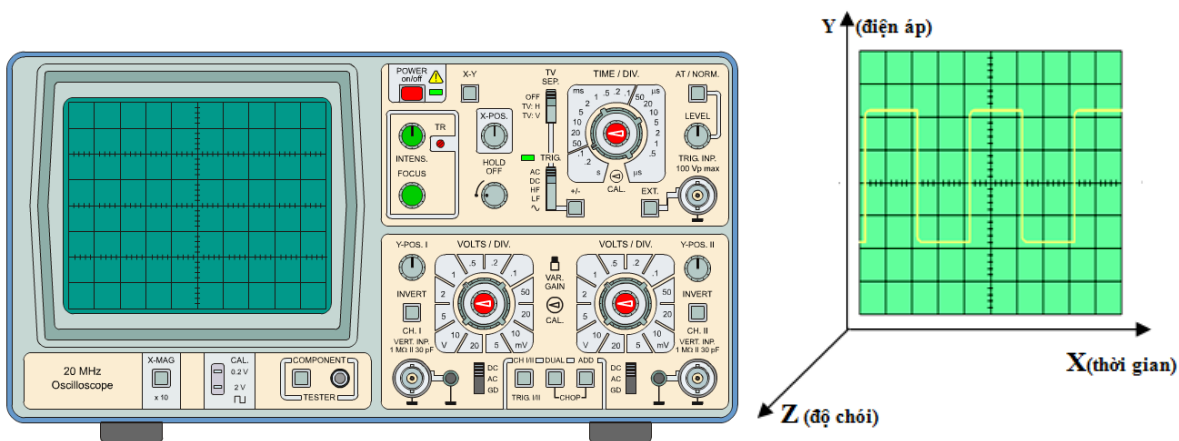
III. MÁY HIỆN SÓNG



Hình 103: Máy hiện sóng tương tự và máy hiện sóng số

Máy hiện sóng điện tử hay còn gọi là dao động ký điện tử (electronic oscilloscope) là một dụng cụ hiển thị dạng sóng rất thông dụng. Nó chủ yếu được sử dụng để vẽ dạng của tín hiệu điện thay đổi theo thời gian. Bằng cách sử dụng máy hiện sóng ta xác định được:

- + Giá trị điện áp và thời gian tương ứng của tín hiệu
- + Tần số dao động của tín hiệu
- + Góc lệch pha giữa hai tín hiệu
- + Dạng sóng tại mỗi điểm khác nhau trên mạch điện tử
- + Thành phần của tín hiệu gồm thành phần một chiều và xoay chiều như thế nào
- + Trong tín hiệu có bao nhiêu thành phần nhiễu và nhiễu đó có thay đổi theo thời gian hay không



Hình 104: Mặt trước của một máy hiện sóng thông dụng và màn hình của nó

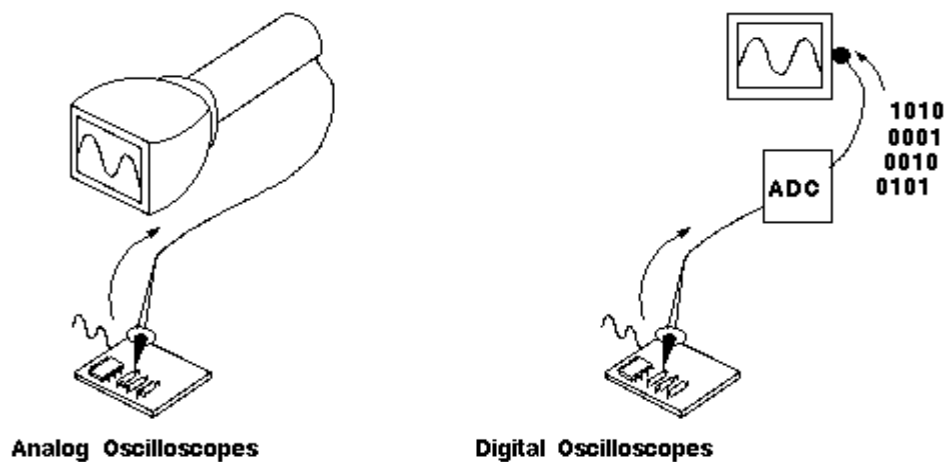
Một máy hiện sóng giống như một máy thu hình nhỏ nhưng có màn hình được kẻ ô và có nhiều phần điều khiển hơn TV. Dưới đây là panel của một máy hiện sóng thông dụng với phần hiển thị sóng; phần điều khiển theo trục X, trục Y, đồng bộ và chế độ màn hình; phần kết nối đầu đo

Màn hình của máy hiện sóng được chia ô, 10 ô theo chiều ngang và 8 ô theo chiều đứng. Ở chế độ hiển thị thông thường, máy hiện sóng hiện dạng sóng biến đổi theo thời gian: trục

đứng Y là trục điện áp, trục ngang X là trục thời gian. Độ chói hay độ sáng của màn hình đôi khi còn gọi là trục Z.

Máy hiện sóng có thể được dùng ở rất nhiều lĩnh vực khác nhau chứ không đơn thuần chỉ trong lĩnh vực điện tử. Với một bộ chuyển đổi hợp lý ta có thể đo được thông số của hầu hết tất cả các hiện tượng vật lý. Bộ chuyển đổi ở đây có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điện tương ứng với đại lượng cần đo, ví dụ như các bộ cảm biến âm thanh, ánh sáng, độ căng, độ rung, áp suất hay nhiệt độ ...

Máy hiện sóng tương tự (Analog oscilloscope) sẽ chuyển trực tiếp tín hiệu điện cần đo thành dòng electron bắn lên màn hình. Điện áp làm lệch chùm electron một cách tỉ lệ và tạo ra tức thời dạng sóng tương ứng trên màn hình. Trong khi đó, máy hiện sóng số (Digital oscilloscope) sẽ lấy mẫu dạng sóng, đưa qua bộ chuyển đổi tương tự / số (ADC). Sau đó nó xử lý các thông tin dưới dạng số để tái tạo lại dạng sóng trên màn hình LCD hoặc LED.



Hình 105: Cách xử lý tín hiệu của máy hiện sóng tương tự và số

Tuỳ vào ứng dụng mà người ta sử dụng máy hiện sóng loại nào cho phù hợp. Thông thường, nếu cần hiển thị dạng tín hiệu dưới dạng thời gian thực (khi chúng xảy ra) thì sử dụng máy hiện sóng tương tự. Khi cần lưu giữ thông tin cũng như hình ảnh để có thể xử lý sau hay in ra dạng sóng thì người ta sử dụng máy hiện sóng số có khả năng kết nối với máy tính và các bộ vi xử lý.

Dưới đây sẽ giới thiệu chi tiết về máy hiện sóng tương tự.

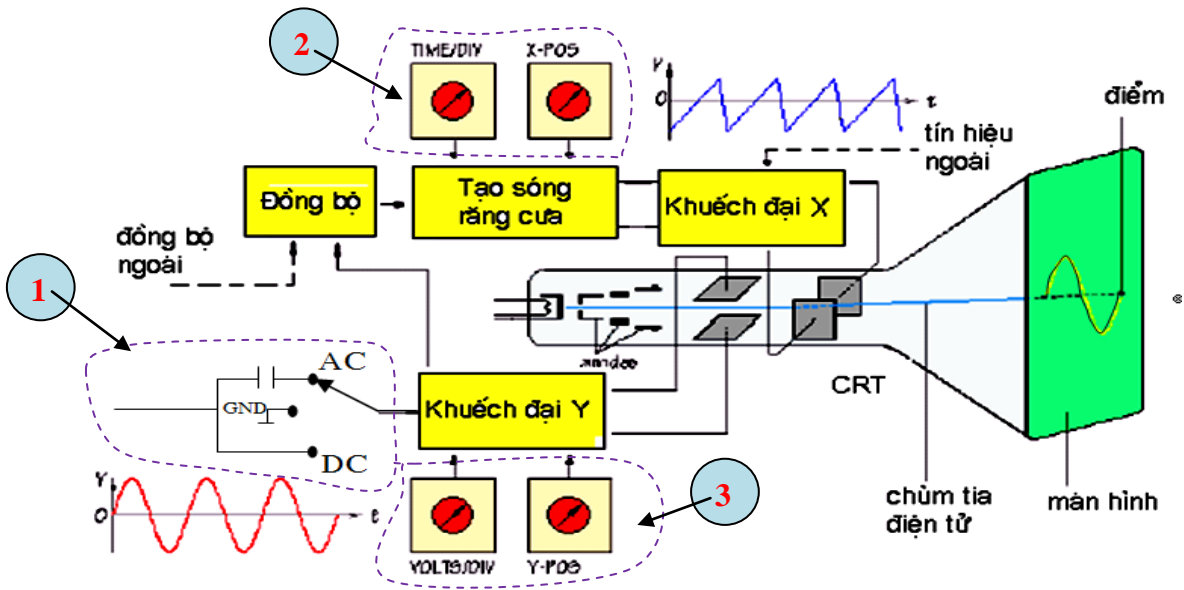
1. Máy hiện sóng tương tự

a. Sơ đồ khối của máy hiện sóng tương tự

Chú thích:

- **1** Khối mạch vào để chọn chế độ hiển thị là GND (đất); AC (xoay chiều) và DC (toàn bộ tín hiệu)
- **2** Khối điều khiển theo trục ngang
- **3** Khối điều khiển theo trục đứng
- Đồng bộ
- Tạo sóng răng cưa
- Khuếch đại X

- Khuếch đại Y
- Ống phóng tia điện tử



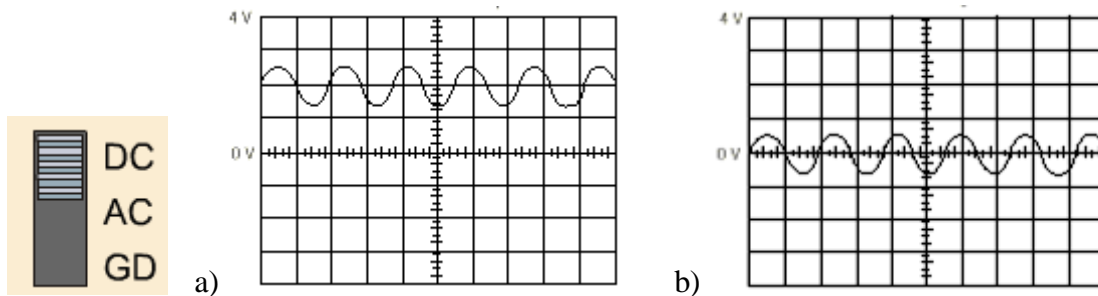
Hình 106: Sơ đồ khối của máy hiện sóng

b. Nguyên tắc hoạt động chung

Tín hiệu vào được đưa qua bộ chuyển mạch AC/DC (ở dạng công tắc gạt hoặc nút bấm)

Khi gạt công tắc về vị trí GD trên màn hình sẽ xuất hiện một đường ngang, dịch chuyển vị trí của đường này (bằng núm xoay Y-POS) để xác định vị trí đất của tín hiệu.

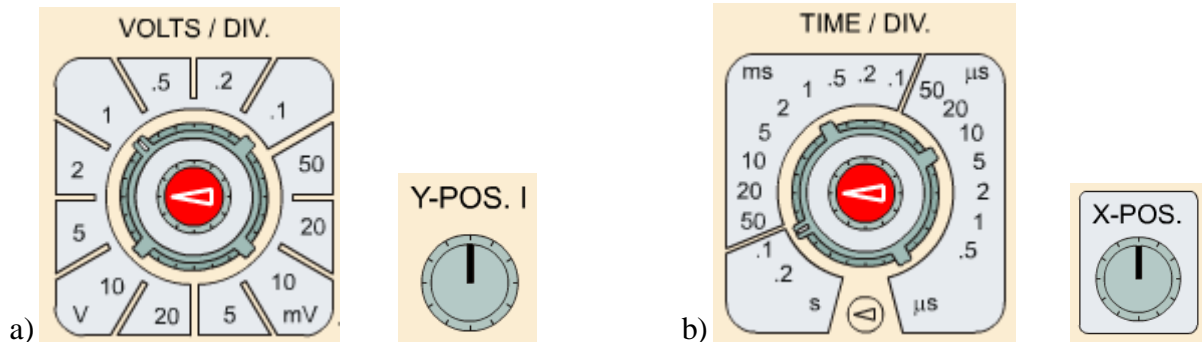
Gạt công tắc về vị trí DC nghĩa là trong tín hiệu bao gồm cả thành phần một chiều và xoay chiều, gạt về vị trí AC là hiện dạng sóng đã tách thành phần một chiều. Xem Hình 107.



Hình 107: Dạng tín hiệu hiển thị khi ở chế độ a) DC và b) AC

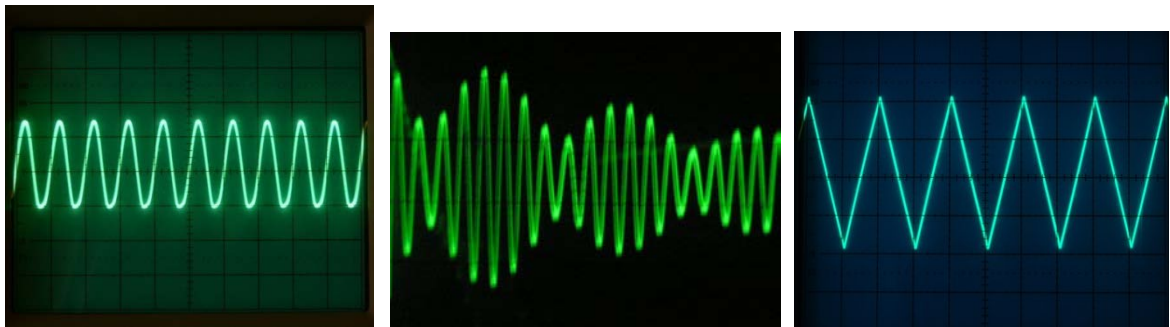
Tín hiệu tiếp tục qua bộ phân áp (hay còn gọi là bộ suy giảm đầu vào) được điều khiển bởi chuyển mạch núm xoay VOLTS / DIV, nghĩa là xoay núm này cho phép ta điều chỉnh tỉ lệ của sóng theo chiều đứng. Chuyển mạch Y-POS để xác định vị trí theo chiều đứng của sóng, nghĩa là có thể di chuyển sóng theo chiều lên hoặc xuống tùy ý bằng cách xoay núm vặn này. Sau khi qua phân áp, tín hiệu vào sẽ được bộ khuếch đại Y khuếch đại làm lệch để đưa tới điều khiển cặp làm lệch đứng. Tín hiệu của bộ KĐ Y cũng được đưa tới trigo (khởi đồng bộ), trường hợp này gọi là đồng bộ trong để kích thích mạch tạo sóng răng cưa (còn gọi là mạch phát quét) và đưa tới điều khiển cặp làm lệch ngang (để tăng hiệu quả điều khiển, một số mạch còn sử dụng thêm các bộ khuếch đại X sau khối tạo điện áp răng cưa). Đôi khi người ta cũng cho mạch làm việc ở chế độ đồng bộ ngoài bằng cách cắt đường tín hiệu từ KĐ Y, thay vào đó là cho tín hiệu ngoài kích thích khối tạo sóng răng cưa.

Đi vào khối tạo sóng răng cưa còn có hai tín hiệu điều khiển từ núm vặn TIME/DIV và X-POS. TIME/DIV (có nhiều máy kí hiệu là SEC/DIV) cho phép thay đổi tốc độ quét theo chiều ngang, khi đó dạng sóng sẽ dừng trên màn hình với n chu kỳ nếu tần số của sóng đó lớn gấp n lần tần số quét). X-POS là núm điều chỉnh việc di chuyển sóng theo chiều ngang cho tiện quan sát.



Hình 108: Núm điều chỉnh theo a) trục đứng và b) trục ngang

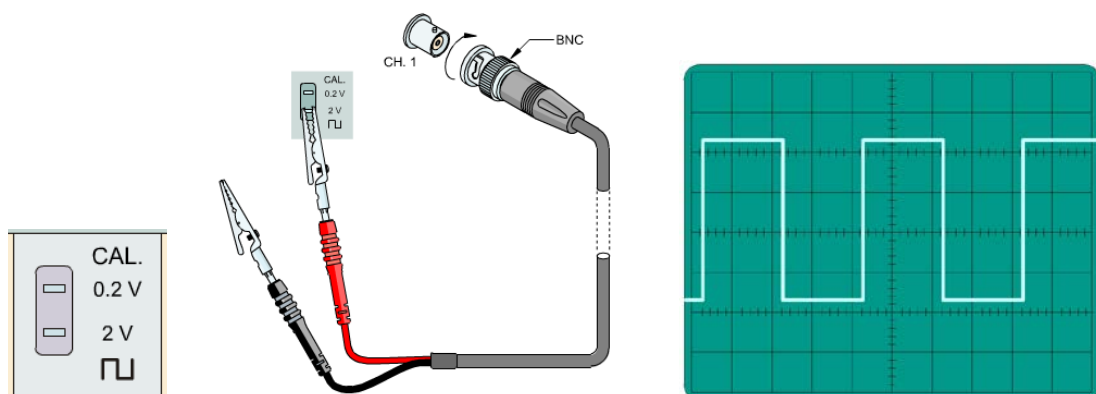
Sau khi máy tự động đồng bộ, trên màn hình sẽ hiển thị dạng sóng cần quan sát



Hình 109: Một số dạng sóng hiển thị bằng máy hiện sóng

c. Một số chú ý khi sử dụng máy hiện sóng

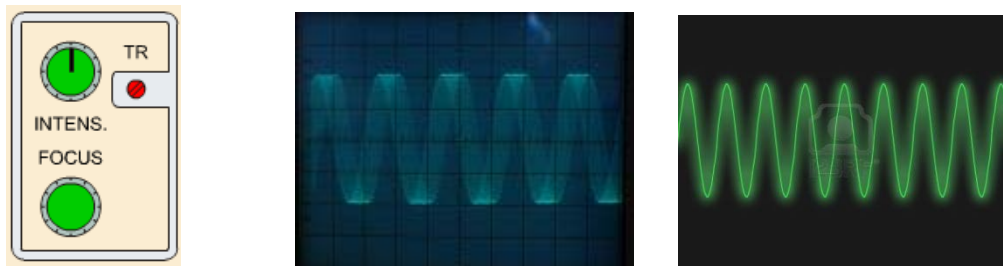
- **Chỉ chuẩn cho que đo.**



Hình 110: Nối que đo vào điểm căn chuẩn CAL và đang sóng hiển thị trên màn hình

Mỗi loại máy hiện sóng có giá trị căn chuẩn riêng, thông thường tần số sóng chuẩn là 1KHz, biên độ 1V hoặc 2V, khi đó cần xoay các núm CAL theo trục đứng và trục ngang để trên màn hình hiển thị sóng chuẩn với giá trị cho trước đó.

Điều chỉnh độ sáng và độ nét của sóng hiển thị trên màn hình nhờ núm INTENS và FOCUS



Hình 111: Nút xoay điều chỉnh độ sáng, độ nét

Chú ý: khi máy hoạt động ở chế độ nhiều kênh thì cũng chỉ có một phần điều khiển theo trục ngang nên tần số quét khi đó sẽ là tần số quét chung cho tất cả các dạng sóng.

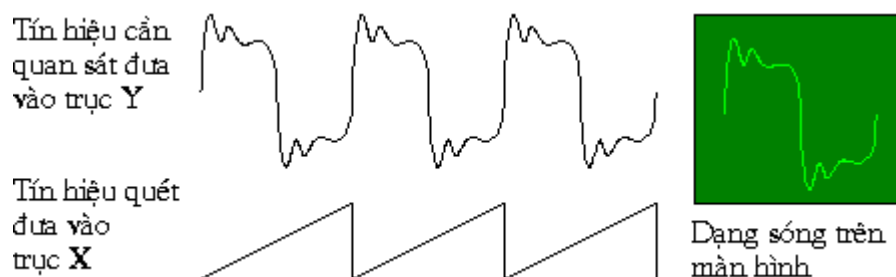
2. Ứng dụng của máy hiện sóng trong kỹ thuật đo lường điện tử

Máy hiện sóng hiện nay được gọi là máy hiện sóng vạn năng vì không đơn thuần là hiển thị dạng sóng mà nó còn thực hiện được nhiều kỹ thuật khác như thực hiện hàm toán học, thu thập và xử lý số liệu và thậm chí còn phân tích cả phổ tín hiệu ...

Trong phần này chúng ta chỉ nói tới những ứng dụng cơ bản nhất của một máy hiện sóng.

a. Quan sát tín hiệu

Để quan sát được tín hiệu chỉ cần thiết lập máy ở chế độ đồng bộ trong và điều chỉnh tần số quét và trigô để dạng sóng đứng yên trên màn hình. Khi này có thể xác định được sự biến thiên của tín hiệu theo thời gian như thế nào. Các máy hiện sóng hiện đại có thể cho phép cùng một lúc 2, 4 hoặc 8 tín hiệu dạng bất kỳ cùng một lúc và tần số quan sát có thể lên tới 400MHz.



Hình 112: Các dạng tín hiệu trong máy hiện sóng

b. Đo điện áp

Việc tính giá trị điện áp của tín hiệu được thực hiện bằng cách đếm số ô trên màn hình và nhân với giá trị VOLTS/DIV

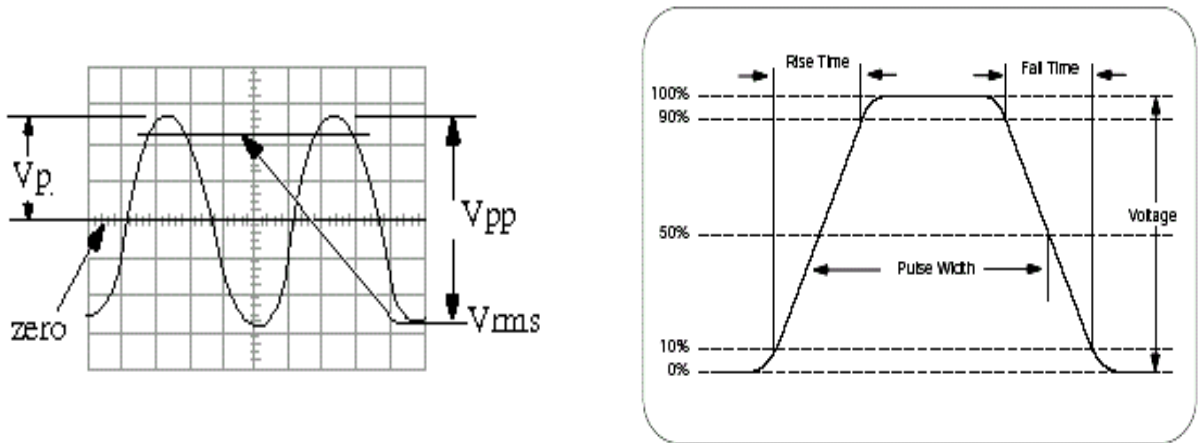
Ví dụ: VOLTS/DIV chỉ 1V thì tín hiệu cho ở

Hình 113a, ta có:

$$V_p = 2,7\hat{o} \times 1V = 2,8V$$

$$V_{pp} = 5,4\hat{o} \times 1V = 5,4V$$

$$V_{rms} = 0,707V_p = 1.98V$$



Hình 113: Xác định giá trị điện áp của dạng sóng hiển thị

Ngoài ra, với tín hiệu xung người ta còn sử dụng máy hiện sóng để xác định thời gian tăng sườn xung (rise time), giảm sườn xung (fall time) và độ rộng xung (pulse width) với cách tính như

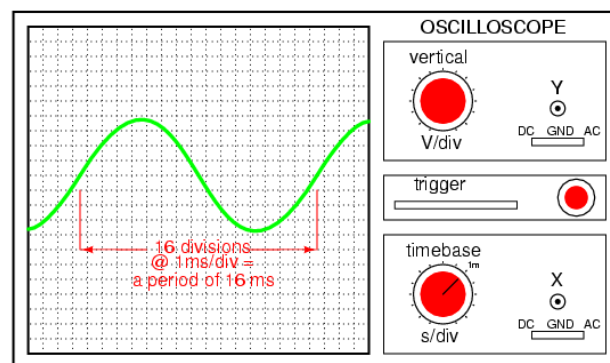
Hình 113b.

c. Đo tần số và khoảng thời gian

Khoảng thời gian giữa hai điểm của tín hiệu cũng được tính bằng cách đếm số ô theo chiều ngang giữa hai điểm và nhân với giá trị của TIME/DIV

Việc xác định tần số của tín hiệu được thực hiện bằng cách tính chu kỳ theo cách như trên. Sau đó nghịch đảo giá trị của chu kỳ ta tính được tần số.

Ví dụ: ở hình dưới s/div là 1ms, nghĩa là một ô theo trục ngang có giá trị bằng 1ms. Chu kỳ của tín hiệu dài 16 ô, do vậy chu kỳ là 16ms $\Rightarrow f = 1/16\text{ms} = 62,5\text{Hz}$



$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{period}} = \frac{1}{16 \text{ ms}} = 62.5 \text{ Hz}$$

Hình 114: Xác định tần số của tín hiệu

d. Đo tần số và độ lệch pha bằng phương pháp so sánh

Ngoài cách đo tần số thông qua việc đo chu kỳ như ở trên, có thể đo tần số bằng máy hiện sóng như sau: so sánh tần số của tín hiệu cần đo f_x với tần số chuẩn f_0 . Tín hiệu cần đo đưa vào cực Y, tín hiệu tần số chuẩn đưa vào cực X. Chế độ làm việc này của máy hiện sóng gọi là chế độ X-Y mode và các sóng đều có dạng hình sin. Khi đó trên màn hình sẽ hiện ra một đường cong phức tạp gọi là đường cong Lissajou.

Điều chỉnh tần số chuẩn tới khi tần số cần đo là bội hoặc ước nguyên của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một đường Lissajou đứng yên. Hình dáng của đường Lissajou rất khác nhau tùy thuộc vào tỉ số tần số giữa hai tín hiệu và độ lệch pha giữa chúng. Xem Hình 115.

Ta có: $\frac{f_o}{f_x} = \frac{m}{n}$

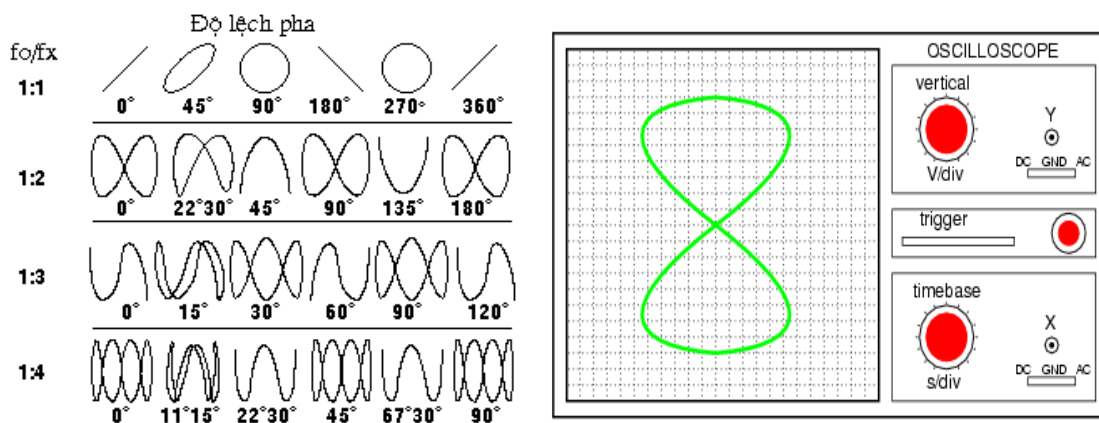
với n là số múi theo chiều ngang và m là số múi theo chiều dọc (hoặc có thể lấy số điểm cắt lớn nhất theo mỗi trục hoặc số điểm tiếp tuyến với hình Lissajou của mỗi trục)

Phương pháp hình Lissajou cho phép đo tần số trong khoảng từ 10Hz tới tần số giới hạn của máy.

Nếu muốn đo độ lệch pha ta cho 2 tần số của hai tín hiệu bằng nhau, khi đó đường Lissajou có dạng elip. Điều chỉnh Y-POS và X-POS sao cho tâm của elip trùng với tâm màn hình (gốc tọa độ). Khi đó góc lệch pha được tính bằng:

$\varphi = \arctg\left(\frac{A}{B}\right)$ với A, B là đường kính trục dài và đường kính trục ngắn của elip

Nhược điểm của phương pháp này là không xác định được dấu của góc pha và sai số của phép đo khá lớn (5 – 10%)



Hình 115: Bảng hình dạng đường Lissajou và ví dụ tần số mẫu gấp hai lần tần số cần đo

BÀI TẬP

1. Một điện trở có giá trị trong khoảng $1,14\text{K}\Omega \div 1,26\text{K}\Omega$. Biết $R = 1,2\text{K}\Omega$ tại 25°C , hệ số nhiệt là $500\text{ppm}/^\circ\text{C}$.

- Hãy tính sai số tương đối của điện trở trên.
- Xác định giá trị lớn nhất của điện trở tại 75°C

2. Một nguồn điện áp 12V được mắc với một điện trở có trị số $470\Omega \pm 10\%$. Điện áp của nguồn đo bằng một Vôn kế có khoảng đo 25V với độ chính xác là 3%. Tính công suất của điện trở và sai số của phép đo.

3. Một Vôn kế có thang đo 30V và độ chính xác 4%, Ampe kế có thang đo 100mA và độ chính xác 1% được sử dụng để đo điện áp và dòng điện qua điện trở R. Kết quả đo là 25V và 90mA. Hãy tính giá trị R và P_{\min} và P_{\max}

4. Một thiết bị đo có thang đo cực đại $100\mu\text{A}$, có sai số tương đối quy đổi là $\pm 1\%$. Tính các giới hạn trên và giới hạn dưới của dòng cần đo và sai số tương đối trong phép đo đối với:

- Độ lệch cực đại
- $\frac{1}{2}$ độ lệch cực đại
- $1/10$ độ lệch cực đại

5. Một thiết bị đo có độ lệch toàn thang đo là 250mA và sai số tương đối quy đổi là $\pm 2\%$. Tính sai số tương đối của phép đo khi dòng là 20mA và 200mA.

6. Một thiết bị đo có thang đo cực đại 10A, có sai số tương đối quy đổi là $\pm 3\%$.. Hãy tính sai số tương đối khi dụng cụ chỉ:

- 8A
- 100mA

7. Dòng 250mA đo được ở dụng cụ có thang đo cực đại là 500mA. Nếu phải đảm bảo kết quả đo này có sai số tương đối là $\pm 5\%$ thì dụng cụ phải có độ chính xác là bao nhiêu ?

8. Một dụng cụ từ điện có dòng cực đại qua chỉ thị là $100\mu\text{A}$ và điện trở cuộn dây $R_{CT} = 100\Omega$. Tính điện trở shunt cần thiết để biến dụng cụ thành 1 Ampe kế có độ lệch thang đo 100mA và độ lệch thang đo 1A

9. Một Ampe kế từ điện có dòng điện cực đại chạy qua chỉ thị là 0,1mA; điện trở khung dây chỉ thị $R_{CT} = 99\Omega$. Điện trở shunt $R_S = 1\Omega$. Xác định dòng đo được khi kim của Ampe kế ở vị trí:

- + Lệch toàn thang đo
- + Lệch $1/2$ thang đo
- + Lệch $1/4$ thang đo

10. Một Ampe có 3 thang đo với các điện trở shunt $R_1=0,05\Omega$; $R_2=0,45\Omega$; $R_3=4,5\Omega$ mắc nối tiếp. $R_{CT} = 1k\Omega$; $I_{CT} = 50\mu A$

Tính giá trị dòng cực đại qua chỉ thị trong 3 trường hợp đó.

11. Một miliAmpe kế từ điện có thang đo 150 vạch với giá trị độ chia là $C = 0.1mA$; $R_{ct} = 100\Omega$. Tính giá trị R_s để đo được các giá trị dòng tối đa là 1A, 2A và 3A

12. Một dụng cụ đo TĐNCVC với ĐLTT là $100\mu A$ và $R_{ct} = 1k\Omega$ được sử dụng để làm Vôn kế.

- Xác định điện trở nhân cần thiết nếu muốn đo điện áp 100 V trên toàn thang.
- Tính điện áp đặt vào khi kim chỉ 3/4; 1/2 và 1/4 ĐLTT

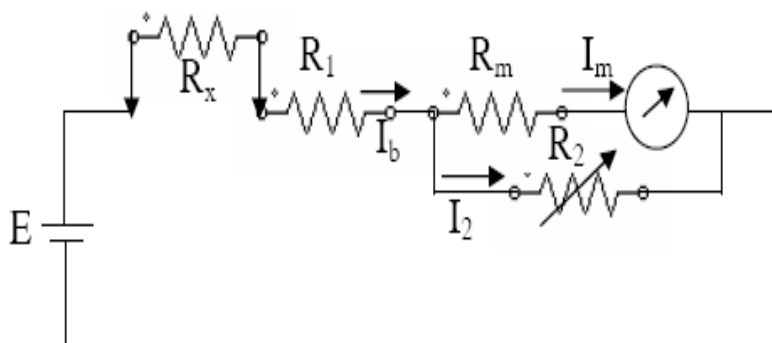
13. Một dụng cụ đo TĐNCVC với ĐLTT là $100\mu A$, chia thành 50 vạch và $R_{ct} = 1k\Omega$, để được dùng như một Vôn kế xoay chiều có ĐLTT là 100V cần sử dụng thêm điện trở nhân.

- Xác định giá trị của điện trở nhân cần thiết
- Xác định vị trí của kim chỉ trên thang đo nếu điện áp đưa vào lần lượt là 25V, 50V
- Tính độ nhạy của Vôn kế trên

14. Một cơ cấu đo có giá trị giới hạn đo là $I_{max} = I_A = 50\mu A$, điện trở nội của cơ cấu đo là $R_{ct} = 300\Omega$. Tính các giá trị của điện trở shunt để cơ cấu trên trở thành Ampe kế có thang đo 1mA, 10mA và 100mA.

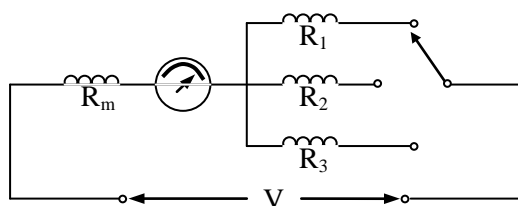
15. Cho mạch điện như sơ đồ dưới. Hãy tính giá trị của các điện trở R_1 , R_2 và R_3 để mạch có dải đo $\times 1$, $\times 10$ và $\times 100$. Biết rằng cơ cấu chỉ thị từ điện có dòng chỉ thị lớn nhất là 1mA, nội trở là $0,2k\Omega$

16. Cho mạch điện đo điện trở như sơ đồ dưới. Biết rằng $E = 3V$; $R_1 = 15k\Omega$; $I_{max} = 50\mu A$ và $R_m = R_2 = 1k\Omega$

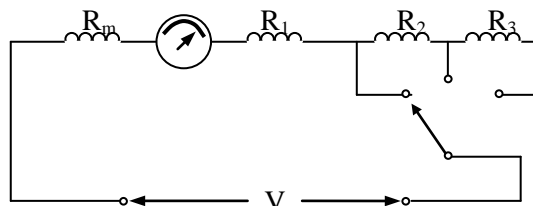


- Xác định giá trị của điện trở R_X khi kim chỉ thị ở vị trí $\frac{1}{4}$ thang đo
- Xác định giá trị của điện trở R_X khi kim chỉ thị ở vị trí $\frac{1}{2}$ thang đo
- Xác định giá trị của điện trở R_X khi kim chỉ thị ở vị trí độ lệch toàn thang đo

17. Một dụng cụ từ điện có độ lệch toàn thang $I_m = 50 \mu A$ và $R_m = 1000 \Omega$ được dùng như một vôn kế với các khoảng đo 100mV, 1V và 10V. Tính các giá trị điện trở phụ cần thiết cho các mạch ở hình a và b.

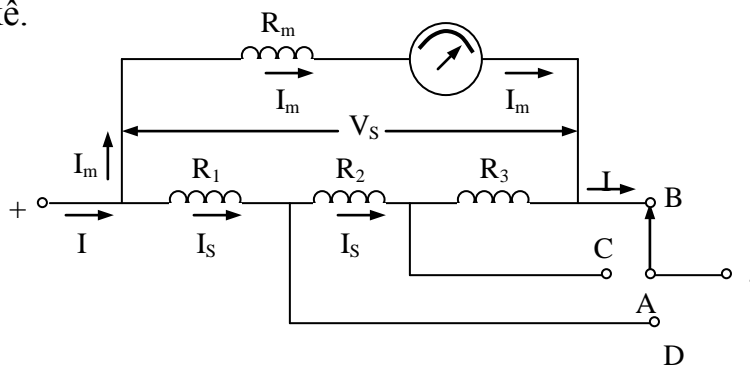


a)



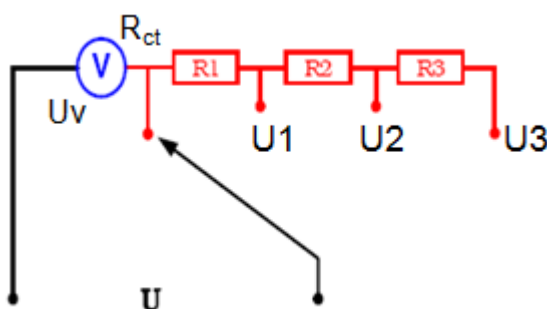
b)

18. Một dụng cụ từ điện mắc với 3 điện trở theo kiểu Aryton để tạo ra Ampe kế như minh họa trong hình dưới đây. Các trị số điện trở là: $R_1 = 0,01\Omega$, $R_2 = 0,99\Omega$, $R_3 = 9\Omega$. Máy đo có $R_m = 1K\Omega$ và ĐLTT = $50 \mu A$. Tính ba khoảng đo của Ampe kế.



19. Một Ampe kế có thang đo 150 vạch với giá trị độ chia $C_1 = 2\mu A$. Điện trở của cơ cấu chỉ thị $R_{CT} = 100\Omega$. Tính các giá trị điện trở sun tương ứng để đo dòng điện với các thang đo 10mA; 30mA; 300mA; 3A.

20. Một cơ cấu đo từ điện có dòng định mức $I_{dm} = 1mA$, điện trở của cơ cấu đo $R_{CT} = 100\Omega$. Tính giá trị các điện trở phụ trong hình dưới đây để mở rộng với các thang đo 10V, 100V, 500V

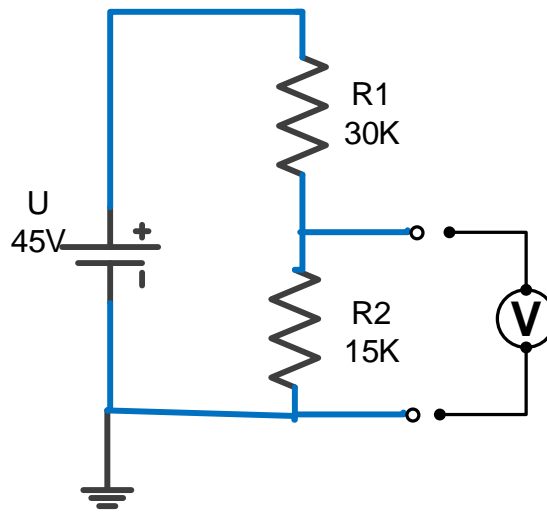


21. Có 2 Vôn kế khác nhau dùng để đo sụt áp rơi trên R_2 như trong hình dưới đây

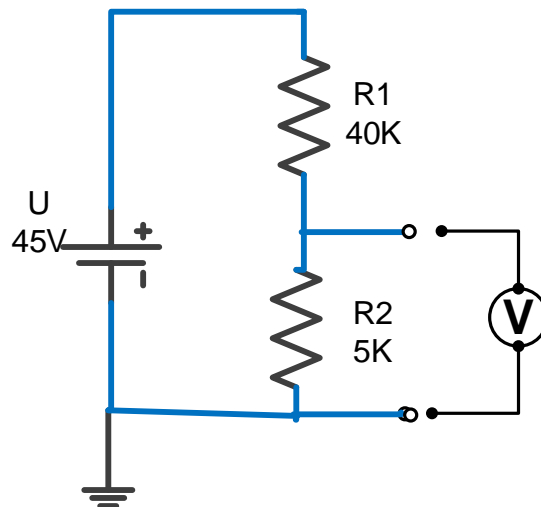
Vôn kế 1 có độ nhạy $S = 1\text{k}\Omega/\text{V}$; $R_{CT} = 0.2\text{k}\Omega$, dải đo 30V

Vôn kế 2 có độ nhạy $S = 2\text{k}\Omega/\text{V}$; $R_{CT} = 1.5\text{k}\Omega$, dải đo 100V

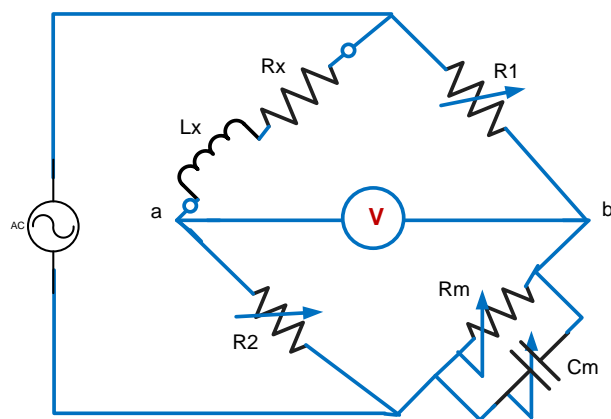
Tính sai số ở mỗi Vôn kế trong các lần đo.



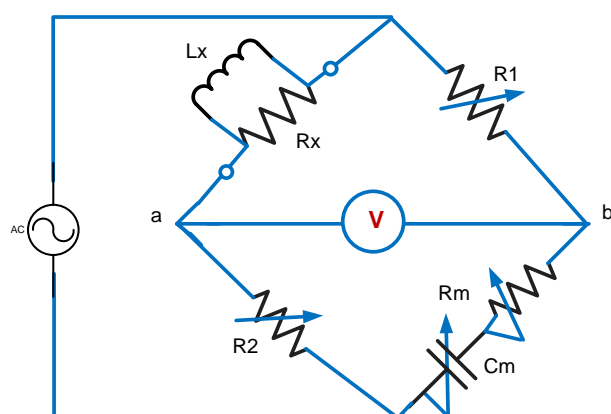
22. Xác định số chỉ của Vôn kế và sai số % đối với các thang đo 1V; 5V và 50V nếu độ nhạy của thiết bị $S = 20\text{k}\Omega$ khi Vôn kế dùng để đo sụt áp trên điện trở R_2 như hình dưới.



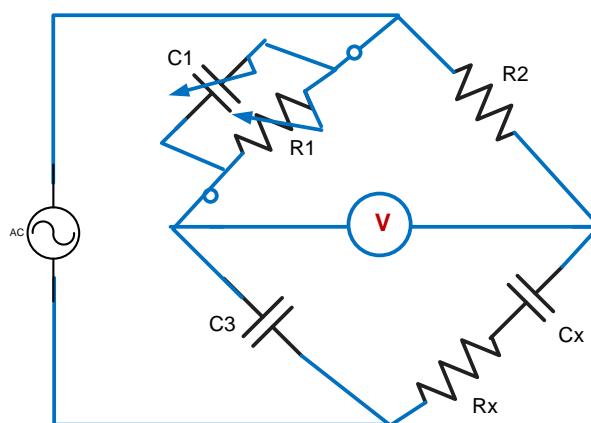
23. Dùng cầu Maxwell để đo điện cảm và điện trở trong của 1 cuộn dây như hình dưới đây. Biết $C_1 = 1\mu\text{F}$, $R_1 = 470\text{k}\Omega$, $R_2 = 5.1\text{k}\Omega$ và $R_3 = 100\text{k}\Omega$.



24. Dùng mạch cầu Hay đo tổng trở của một cuộn dây. Biết $C_1 = 1\mu\text{F}$, $R_1 = 2\text{k}\Omega$, $R_2 = 10\text{k}\Omega$ và $R_3 = 1\text{k}\Omega$ và $\omega = 3000\text{rad/s}$.



25. Dùng mạch cầu Schering đo điện dung của một tụ điện. Tính R_x và C_x khi cầu ở trạng thái cân bằng. Biết $C_1 = 5\mu\text{F}$, $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 2\text{k}\Omega$, $C_3 = 1\mu\text{F}$ và $f = 1\text{kHz}$.



TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] Vũ Quý Điềm. *Cơ sở Kỹ thuật đo lường các đại lượng điện và không điện*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 2010
- [2] Phạm Thượng Hàn. *Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý*. Nhà xuất bản giáo dục, 2003.
- [3] S. Tumanski . *Principle of Electrical Measurement*. Taylor & Francis, 2006
- [4] Alan S. Morris . *Measurement and Instrumentation Principle*. Butterworth Heineman, 2001
- [5] Yokogawa. *Fundamentals of Electrical Measurement Engineering*. Training for electrical measurement, 2003