



BỘ CÔNG THƯƠNG  
TRƯỜNG CAO ĐẲNG KỸ THUẬT CAO THẮNG

ThS. LÊ PHONG PHÚ (Chủ biên) - ThS. NGUYỄN BÁ NHẠ  
ThS. PHẠM VĂN NGHĨA - ThS. NGÔ PHI THƯỜNG - ThS. VÕ ĐẠI VÂN

# ĐỀ CƯƠNG BÀI GIẢNG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG ĐIỆN



THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH - 2019



## MỤC LỤC

---

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN .....	1
1.1 Khái niệm và ý nghĩa của đo lường .....	1
1.1.1 Khái niệm .....	1
1.1.2 Ý nghĩa của đo lường: .....	2
1.2 Đại lượng đo.....	2
1.2.1 Đại lượng điện.....	2
1.2.2 Đại lượng không điện.....	2
1.3 Đơn vị đo.....	3
1.4 Chức năng và đặc tính của thiết bị đo .....	4
1.4.1 Chức năng của thiết bị đo .....	4
1.4.2 Đặc tính của thiết bị đo.....	5
1.5 Phân loại các phương pháp đo lường.....	6
1.5.1 Phương pháp đo trực tiếp .....	6
1.5.2 Phương pháp đo gián tiếp.....	6
1.6 Sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo.....	7
1.7 Chuẩn hóa trong đo lường.....	8
1.7.1 Ý nghĩa của sự chuẩn hóa.....	8
1.7.2 Cấp chuẩn hóa .....	9
1.8 Sai số trong đo lường .....	9
1.8.1 Nguyên nhân gây ra sai số.....	10
1.8.2 Phân loại sai số .....	10
1.8.3 Tính toán sai số.....	10
1.8.4 Cách viết kết quả đo .....	12
1.9. Bài tập chương 1 .....	14
CHƯƠNG 2: CƠ CẤU CHỈ THỊ CỦA THIẾT BỊ ĐO LƯỜNG .....	18
2.1 Khái niệm chung .....	18

2.2 Cơ cấu chỉ thị cơ điện.....	21
2.2.1 Cơ cấu từ điện.....	21
2.2.1.1 Cấu tạo .....	21
2.2.1.2 Nguyên lý hoạt động và phương trình đặc tính thang đo .....	22
2.2.1.3 Đặc điểm và ứng dụng của cơ cấu từ điện .....	23
2.2.2 Cơ cấu điện từ.....	24
2.2.2.1 Cấu tạo .....	24
2.2.2.2 Nguyên lý hoạt động và phương trình đặc tính thang đo .....	25
2.2.2.3 Đặc điểm và ứng dụng của cơ cấu điện từ .....	27
2.2.3 Cơ cấu điện động .....	28
2.2.3.1 Cấu tạo .....	28
2.2.3.2 Nguyên lý hoạt động và phương trình đặc tính thang đo .....	29
2.2.3.3 Đặc điểm và ứng dụng của cơ cấu điện động .....	31
2.3 Cơ cấu chỉ thị tự ghi.....	32
2.4 Cơ cấu chỉ thị số.....	33
2.4.1 Cơ cấu điện tử chỉ thị bằng diode phát quang (LED).....	33
2.4.2 Cơ cấu điện tử chỉ thị bằng tinh thể lỏng (LCD).....	35
2.5. Bài tập chương 2 .....	36
CHƯƠNG 3: ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP.....	39
3.1 Đo dòng điện một chiều (DC) và xoay chiều (AC) .....	39
3.1.1 Đặc điểm, yêu cầu đối với dụng cụ đo .....	39
3.1.2 Ảnh hưởng của Ampe kế trong mạch đo.....	40
3.1.3 Đo dòng điện một chiều (DC) .....	42
3.1.4 Đo dòng điện xoay chiều (AC).....	49
3.2 Đo điện áp một chiều (DC) và xoay chiều (AC).....	56
3.2.1 Đặc điểm, yêu cầu đối với dụng cụ đo .....	56
3.2.2 Ảnh hưởng của Vôn kế trong mạch đo.....	57
3.2.3 Đo điện áp một chiều (DC) .....	59
3.2.4 Đo điện áp xoay chiều (AC).....	64
3.3. Bài tập chương 3 .....	67

CHƯƠNG 4: ĐO ĐIỆN TRỞ.....	76
4.1 Điện trở .....	76
4.1.1 Khái quát chung.....	76
4.1.2 Phân loại điện trở.....	81
4.1.3 Ghép điện trở .....	83
4.2 Phương pháp đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế.....	84
4.3 Phương pháp đo điện trở dùng cầu phân áp, cầu chia dòng.....	87
4.3.1 Đo điện trở dùng cầu phân áp (so sánh áp) .....	87
4.3.2 Đo điện trở dùng cầu chia dòng (so sánh dòng).....	87
4.4 Phương pháp đo điện trở dùng cầu Wheatstone .....	88
4.5 Phương pháp đo điện trở dùng Ohm kế .....	89
4.6 Phương pháp đo điện trở có trị số lớn.....	95
4.6.1. Đo điện trở cách điện dùng Vôn kế và Micro Ampe kế.....	95
4.6.2 Đo điện trở cách điện dùng Megohm kế .....	96
4.7 Phương pháp đo điện trở đất .....	100
4.7.1 Giới thiệu chung về nối đất .....	100
4.7.2 Đo điện trở đất dùng Vôn kế và Ampe kế.....	103
4.7.3 Đo điện trở đất dùng cầu đo Kohlrausch.....	105
4.7.4 Đo điện trở đất dùng thiết bị đo chuyên dụng .....	106
4.8 Bài tập chương 4 .....	107
CHƯƠNG 5: ĐO ĐIỆN DUNG VÀ ĐIỆN CẢM.....	114
5.1 Tụ điện.....	114
5.1.1 Cấu tạo và chức năng của tụ điện .....	114
5.1.2 Điện dung của tụ điện.....	115
5.1.3 Phân loại tụ điện .....	116
5.1.4 Thông số kỹ thuật của tụ điện.....	118
5.1.5 Đặc tính nạp điện, xả điện của tụ điện.....	120
5.1.6 Ghép tụ điện.....	123
5.2 Cuộn cảm .....	124
5.2.1 Cấu tạo và chức năng của cuộn cảm .....	124
5.2.2 Điện cảm của cuộn dây.....	125

5.2.3	Thông số kỹ thuật của cuộn cảm .....	126
5.2.4	Đặc tính nạp, xả của cuộn cảm .....	128
5.2.5	Ghép cuộn cảm .....	129
5.3	Phương pháp đo điện dung, điện cảm dùng Vôn kế và Ampe kế .....	130
5.3.1	Đo điện dung của tụ điện không phân cực .....	130
5.3.2	Đo điện cảm cuộn dây .....	131
5.4	Phương pháp đo điện dung, điện cảm dùng điện trở và Vôn kế .....	133
5.4.1	Đo điện dung tụ điện không phân cực .....	133
5.4.2	Đo điện dung tụ điện phân cực .....	135
5.4.3	Đo điện cảm cuộn dây .....	136
5.5	Phương pháp đo điện dung, điện cảm dùng cầu xoay chiều .....	138
5.5.1	Cầu Wheatstone xoay chiều .....	138
5.5.2	Đo điện dung tụ điện không phân cực .....	140
5.5.3	Đo điện cảm cuộn dây .....	142
5.6	Bài tập chương 5 .....	144
<b>CHƯƠNG 6: ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG .....</b>		<b>152</b>
6.1	Đo công suất một chiều .....	152
6.1.1	Phương pháp đo gián tiếp dùng Vôn kế và Ampe kế .....	152
6.1.2	Phương pháp đo trực tiếp dùng Watt kế điện động .....	154
6.2	Đo công suất xoay chiều .....	156
6.2.1	Đo công suất tiêu thụ trong mạch xoay chiều 1 pha .....	156
6.2.2	Đo công suất tiêu thụ trong mạch xoay chiều 3 pha .....	162
6.2.2.1	Đo công suất tải 3 pha dùng Watt kế 1 pha .....	162
6.2.2.2	Đo công suất tải 3 pha dùng Watt kế 3 pha .....	163
6.2.3	Đo công suất phản kháng trong mạch xoay chiều 1 pha .....	165
6.2.4	Đo công suất phản kháng trong mạch xoay chiều 3 pha .....	168
6.3	Đo điện năng .....	171
6.3.1	Đo điện năng tải 1 pha .....	171
6.3.2	Đo điện năng tải 3 pha .....	176
6.4	Bài tập chương 6 .....	177

CHƯƠNG 7: GIỚI THIỆU MỘT SỐ THIẾT BỊ ĐO TÍCH HỢP.....	183
7.1 Đồng hồ đo vạn năng WM14-96.....	183
7.1.1 Tổng quan.....	183
7.1.2 Thông số kỹ thuật.....	184
7.1.3 Sơ đồ kết nối.....	185
7.1.4 Chức năng phím trên đồng hồ.....	187
7.2 Đồng hồ đo vạn năng EMM-R4e.....	188
7.2.1 Tổng quan.....	188
7.2.2 Thông số kỹ thuật.....	189
7.2.3 Sơ đồ kết nối.....	190
7.2.4 Chức năng phím trên đồng hồ.....	191
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	193







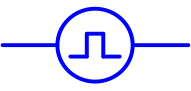
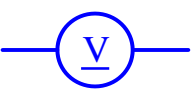



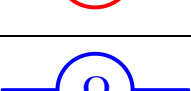
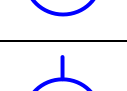


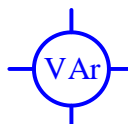

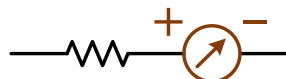

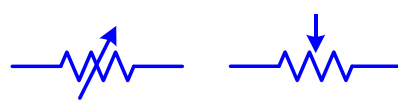

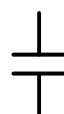
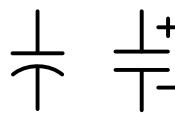


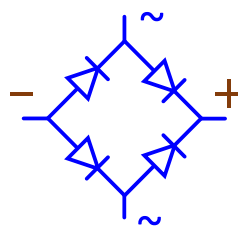
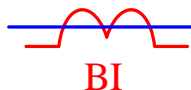

## LỜI NÓI ĐẦU

Đo lường điện là môn học không thể thiếu trong nhiều ngành học như Điện công nghiệp, Điện tử, Tự động hóa... Môn học này giúp người học biết cách đo đạc chính xác giá trị các đại lượng điện và sử dụng đúng kỹ thuật các thiết bị đo lường. Ngoài ra trong bất kỳ quy trình điều khiển tự động nào cũng bao gồm thiết bị đo lường nhằm đo đạc và truyền tín hiệu đến các khối tiếp theo để xử lý và điều khiển. Giáo trình này được biên soạn nhằm đáp ứng nhu cầu về tài liệu học tập cho học viên cũng như để thống nhất nội dung giảng dạy môn Đo lường điện của trường Cao Đẳng Kỹ Thuật Cao Thắng. Về nội dung, giáo trình được biên soạn gồm 7 chương dựa theo tài liệu của các trường nghề trong nước và một số tài liệu nước ngoài. Giáo trình đề cập đến các vấn đề chính của đo lường như sai số, cơ cấu đo, nguyên lý đo các đại lượng điện, mạch đo, thiết bị đo... Giáo trình được biên soạn với sự cộng tác của các giáo viên giảng dạy môn Đo Lường Điện của trường Cao Đẳng Kỹ Thuật Cao Thắng. Tuy đã cố gắng nhiều trong việc trình bày nội dung nhưng chắc rằng giáo trình khó tránh khỏi sai sót vậy nên chúng tôi rất mong những ý kiến đóng góp của quý đồng nghiệp, các em học viên để lần tái bản sau càng hoàn thiện hơn. Xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ của các bạn đồng nghiệp, các tác giả những tài liệu mà chúng tôi đã tham khảo cũng như những điều kiện thuận lợi mà Ban Giám hiệu, Ban chủ nhiệm Khoa, Bộ môn và các đồng nghiệp đã tạo điều kiện tốt và giúp đỡ chúng tôi hoàn thành giáo trình này.

*NHÓM BIÊN SOẠN*

## DANH MỤC KÝ HIỆU DÙNG TRONG SƠ ĐỒ MẠCH ĐIỆN

STT	Tên gọi	Ký hiệu
1	Dây pha	$L$ ———
2	Dây trung tính	$N$ ———
3	Hai dây dẫn chéo nhau	
4	Hai dây dẫn nối nhau	
5	Nguồn điện một chiều	
6	Nguồn điện xoay chiều	
7	Máy phát xung	
8	Vôn kế một chiều	
9	Vôn kế xoay chiều	
10	Ampe kế một chiều	
11	Ampe kế xoay chiều	
12	Ohm kế	
13	Watt kế	

14	VAr kế	
15	Dao động ký	
16	Cơ cấu đo từ điện chỉ thị kim	
17	Điện trở	
18	Biến trở	
19	Tổng trở	
20	Tụ điện không phân cực	
21	Tụ điện phân cực	
22	Cuộn cảm	
23	Điốt	
24	Cầu Điốt	
25	Máy biến dòng	
26	Máy biến điện áp	

## DANH MỤC KÝ HIỆU DÙNG TRONG CÔNG THỨC

STT	Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
1	$X_D$	Giá trị đo được của đại lượng cần đo	Theo đơn vị của đại lượng đo
2	$X_T$	Giá trị thực của đại lượng cần đo	Theo đơn vị của đại lượng đo
3	$X_{max}$	Giá trị lớn nhất của thang đo	Theo đơn vị của dụng cụ đo
4	$\Delta X$	Sai số tuyệt đối	Theo đơn vị của đại lượng đo
5	$\Delta X_{max}$	Sai số tuyệt đối cho phép lớn nhất	Theo đơn vị của đại lượng đo
6	$\delta_X$	Sai số tương đối	%
7	$\delta_{qd}$	Sai số quy dẫn	%
8	$CCX$	Cấp chính xác	%
9	$\Phi$	Từ thông	Wb
10	$M_q$	Momen quay	N.m
11	$M_c$	Momen cản	N.m
12	$R_g$	Nội trở của cơ cấu chỉ thị	$\Omega$
13	$R_s$	Điện trở mắc nối tiếp vào nhánh cần đo	$\Omega$
14	$R_p$	Điện trở mắc nối tiếp với cơ cấu đo	$\Omega$
15	$I_g$	Dòng điện qua cơ cấu đo	A
16	$I_{gm}$	Dòng điện lớn nhất cho phép qua cơ cấu đo	A
17	$I_s$	Dòng điện chạy qua điện trở $R_s$	A
18	$U_g$	Điện áp của cơ cấu đo	V
19	$U_{gm}$	Điện áp lớn nhất cho phép của cơ cấu đo	V
20	$U_s$	Điện áp của điện trở $R_s$	V
21	$I_{hd}$	Trị số hiệu dụng của dòng điện xoay chiều	A
22	$I_m$	Trị số cực đại của dòng điện xoay chiều	A
23	$\theta$	Góc pha	rad
24	$\omega$	Tần số góc	rad/s
25	$f$	Tần số	Hz
26	$Z_v$	Tổng trở vào của Vôn kế	$k\Omega$
27	$S_v$	Độ nhạy của Vôn kế	$k\Omega/V$

28	$K_I$	Tỉ số biến dòng	
29	$K_U$	Tỉ số biến áp	
30	$E_b$	Điện áp nguồn pin	V
31	$I_b$	Dòng điện xuất phát từ nguồn pin $E_b$	A
32	$P_A$	Công suất tổn hao trong Ampe kế	W
33	$P_V$	Công suất tổn hao trong Vôn kế	W
34	$C_W$	Hằng số Watt kế	W/vạch
35	$P_W$	Công suất đo được từ Watt kế	W
36	$A$	Điện năng	kWh

## DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

STT	Từ viết tắt	Ý nghĩa
1	DC	Direct Current : dòng điện một chiều
2	AC	Alternating Current: dòng điện xoay chiều
3	CCX	Cấp chính xác
4	CRT	Cathode Ray Tube : ống tia âm cực
5	CRO	Cathode Ray Oscilloscope
6	LED	Light Emitting Diode: điốt phát quang
7	LCD	Liquid Crystal Display: màn hình tinh thể lỏng
8	FS	Full Scale : toàn thang đo
9	FSD	Full Scale Deviation : độ lệch toàn thang đo
10	max	maximum : cực đại
11	min	minimum : cực tiểu
12	CT	Current Transformer : Máy biến dòng
13	VT	Voltage Transformer : Máy biến điện áp
14	PT	Potential Transformer : Máy biến điện áp

# CHƯƠNG 1

## TỔNG QUAN VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN

---

---

Sau khi học xong chương 1, sinh viên đạt được kiến thức và kỹ năng sau:

Trình bày được khái niệm về đo lường, độ nhạy của thiết bị đo, phân loại đại lượng đo, đơn vị đo, phương pháp đo, các cấp chuẩn hóa trong đo lường, sai số phép đo: nguyên nhân sai số, phân loại sai số, cách tính sai số: tuyệt đối, tương đối, cấp chính xác.

### 1.1 Khái niệm và ý nghĩa của đo lường

#### 1.1.1 Khái niệm

Đo lường là sự so sánh đại lượng chưa biết (đại lượng đo) với đại lượng đã được chuẩn hóa (đại lượng mẫu hoặc đại lượng chuẩn).

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng một con số với đơn vị kèm theo:

$$X = AX_0 \quad (1.1)$$

Trong đó:

$X$  : Đại lượng cần đo

$A$  : Giá trị đo được

$X_0$  : Đơn vị đo

Giá trị đo được  $A$  cho biết đại lượng đo lớn hơn (hay nhỏ hơn) bao nhiêu lần so với đơn vị đo của nó. Với các đơn vị đo khác nhau thì kết quả đo sẽ khác nhau.

**Ví dụ 1.1:** Đo được dòng điện  $I = 5A$ , có nghĩa là: đại lượng cần đo là dòng điện  $I$ , đơn vị đo là Ampe, kết quả đo được bằng số là 5.

Đo lường học là chuyên ngành nghiên cứu về các phương pháp để đo các đại lượng khác nhau.

Kỹ thuật đo lường là ngành kỹ thuật chuyên nghiên cứu để áp dụng thành quả của đo lường vào phục vụ sản xuất và đời sống.

### 1.1.2 Ý nghĩa của đo lường

Đo lường nói chung và đo lường điện nói riêng có một ý nghĩa vô cùng quan trọng trong đời sống con người. Trước khi khống chế và điều khiển bất kỳ đối tượng nào thì con người cần phải nắm bắt được đầy đủ và chính xác những thông số về đối tượng đó, và điều này chỉ thực hiện được nhờ vào quá trình đo lường.

## 1.2 Đại lượng đo

Dựa trên tính chất cơ bản của đại lượng đo, đại lượng đo được phân thành hai loại cơ bản là đại lượng điện và đại lượng không điện.

### 1.2.1 Đại lượng điện

- **Đại lượng điện tác động:**

Là những đại lượng điện ở trạng thái bình thường *có mang năng lượng điện* như điện áp, dòng điện, công suất,... Khi đo các đại lượng này, bản thân năng lượng của chúng sẽ cung cấp cho mạch đo. Do vậy ta không cần cung cấp thêm năng lượng từ phía ngoài. Trong trường hợp năng lượng quá lớn có thể gây hư hỏng cho mạch đo thì phải giảm nhỏ cho phù hợp. Ngược lại, trong trường hợp năng lượng quá nhỏ thì khuếch đại cho đủ lớn trước khi đưa vào mạch đo.

- **Đại lượng điện thụ động:**

Là những đại lượng điện ở trạng thái bình thường *không có mang năng lượng điện* như đại lượng điện trở, điện dung, điện cảm, hồ cảm... Khi tiến hành đo các đại lượng này chúng ta phải cung cấp năng lượng cho mạch đo bằng cách dùng pin hoặc nguồn điện ngoài. Trong suốt quá trình đo phải đảm bảo năng lượng cung cấp ổn định và liên tục.

Có hai cách đo đại lượng điện thụ động: đo nóng và đo nguội. Đo nóng là thao tác đo khi phần tử đang hoạt động trên mạch. Đo nguội là thao tác đo khi các phần tử này ngưng hoạt động hay lấy ra khỏi mạch điện.

### 1.2.2 Đại lượng không điện

Đại lượng không điện là những đại lượng vật lý hiện hữu trong đời sống như: vận tốc, áp suất, trọng lượng, nhiệt độ, ánh sáng, lưu lượng..., muốn đo các đại lượng này phải

---



chuyển sang đại lượng điện sau đó mới đưa vào mạch điện để xử lý tiếp. Việc chuyển đổi này được thực hiện nhờ vào các cảm biến hoặc các bộ chuyển đổi, và nguyên tắc cơ bản phải đảm bảo là phản ánh trung thực sự thay đổi của đại lượng không điện tại ngõ vào.

### 1.3 Đơn vị đo

Đơn vị đo là giá trị đơn vị tiêu chuẩn về một đại lượng đo nào đó được quốc tế qui định mà mỗi quốc gia phải tuân theo.

Hệ thống đơn vị đo bao gồm hai nhóm: đơn vị cơ bản và đơn vị kéo theo.

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.

Ngày nay, các nước sử dụng hệ thống đơn vị thống nhất đó là hệ thống đơn vị quốc tế SI (System International). Có 7 đơn vị cơ bản là:

Các đại lượng	Tên đơn vị	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

**Bảng 1.1:** Đơn vị cơ bản của hệ đo lường quốc tế

Đơn vị kéo theo (đơn vị dẫn xuất) là đơn vị có liên quan đến các đơn vị đo cơ bản thể hiện qua biểu thức.

Các đại lượng	Tên đơn vị	Ký hiệu
Công suất	Watt	W
Điện tích	Culomb	C

---

Điện áp	Volt	V
Điện trở	Ohm	$\Omega$
Điện dẫn	Siemens	S
Điện dung	Fard	F
Điện cảm	Henry	H
Tần số	Hertz	Hz

**Bảng 1.2:** Một số đơn vị kéo theo

Trong hệ đo lường quốc tế cũng quy định các giá trị bội số và ước số thập phân của các đơn vị đo lường được biểu diễn như trong bảng 1.3.

Tên	Giá trị	Kí hiệu	Tên	Giá trị	Kí hiệu
yocto	$10^{-24}$	y	Kilo	$10^3$	k
zepto	$10^{-21}$	z	Mega	$10^6$	M
atto	$10^{-18}$	a	Giga	$10^9$	G
femto	$10^{-15}$	f	Tera	$10^{12}$	T
pico	$10^{-12}$	p	Peta	$10^{15}$	P
nano	$10^{-9}$	n	Exa	$10^{18}$	E
micro	$10^{-6}$	$\mu$	Zetta	$10^{21}$	Z
mili	$10^{-3}$	m	Yotta	$10^{24}$	Y

**Bảng 1.3:** Bội số và ước số thập phân trong hệ đo lường SI

## 1.4 Chức năng và đặc tính của thiết bị đo

### 1.4.1 Chức năng của thiết bị đo

Các thiết bị đo có chức năng cung cấp cho chúng ta kết quả đo của đại lượng đang khảo sát, bằng cách biến đổi các đại lượng cần đo thành các dạng tín hiệu tiện lợi cho người quan sát, từ đó người dùng có thể kiểm tra sự hoạt động của hệ thống điều khiển hoặc đánh giá, kiểm định các thiết bị đo khác,...

### 1.4.2 Đặc tính của thiết bị đo

- **Độ nhạy**

Phương trình cơ bản của thiết bị đo là:  $Y = f(X)$  là mối quan hệ giữa đại lượng đầu ra ( $Y$ ) và đại lượng đầu vào ( $X$ ) của thiết bị đo. Để có được đánh giá quan hệ giữa lượng vào và lượng ra của thiết bị đo, ta dùng khái niệm độ nhạy của thiết bị.

Độ nhạy của một thiết bị đo là tỷ số giữa biến thiên của đại lượng đầu ra và biến thiên tương ứng của đại lượng đo ở đầu vào, phương trình toán học mô tả mối quan hệ như sau:

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1.2)$$

Trong đó:

- $S$  : Độ nhạy của thiết bị đo
- $\Delta Y$ : Biến thiên của đại lượng đầu ra
- $\Delta X$ : Biến thiên của đại lượng đầu vào

Với thiết bị có quan hệ giữa lượng vào và lượng ra là tuyến tính, ta có thể viết:  $Y = S.X$ , lúc đó  $S$  gọi là độ nhạy tĩnh của thiết bị đo.

Theo lý thuyết thì xét quan hệ giữa  $Y$  và  $X$  thì  $X$  nhỏ bao nhiêu cũng được nhưng thực tế cho thấy với  $\Delta X$  nhỏ đến một giá trị nào đấy ( $\Delta X < \varepsilon$ ) thì  $\Delta Y$  không thể xác định được. Nguyên nhân do ma sát, hiện tượng trễ,...

$\varepsilon$  : được gọi là ngưỡng nhạy (có thể nói đó là giá trị nhỏ nhất mà thiết bị đo có thể phân biệt - người quan sát hay góc quay  $\alpha$  đủ lớn)

**Ví dụ 1.2:** Khi phụ tải tiêu thụ qua một công tơ một pha nhỏ hơn 10W (chẳng hạn) thì công tơ không quay nữa. Nguyên nhân của hiện tượng này rất phức tạp, có thể do ma sát, do hiện tượng trễ...  $\varepsilon$  được gọi là ngưỡng độ nhạy của thiết bị đo.

- **Tốc độ đo**

Là thời gian để dụng cụ đo xác lập kết quả đo trên chỉ thị. Cho phép đánh giá cho biết đại lượng đầu ra có thay đổi tương ứng với sự biến đổi của đại lượng đầu vào hay không. Tốc độ đo được xác định theo biểu thức:

$$v = \frac{1}{\Delta T} \quad (1.3)$$

Trong đó:  $\Delta T$  là khoảng thời gian ngắn nhất giữa hai lần đo ổn định.

---

- **Độ tin cậy**

Là khả năng làm việc không xảy ra hư hỏng của thiết bị đo trong điều kiện làm việc bình thường trong thời gian quy định. Nó phụ thuộc vào các yếu tố như: độ tin cậy của các linh kiện, kết cấu của dụng cụ đo, điều kiện làm việc.

- **Điện trở vào**

Là điện trở của thiết bị đo hay nội trở của thiết bị đo. Thiết bị đo phải thu năng lượng từ đối tượng đo dưới bất kì hình thức nào để biến thành đại lượng đầu ra của thiết bị. Việc tiêu thụ năng lượng từ đối tượng đo gây ra sai số kết quả đo. Điện trở vào có thể lớn hay nhỏ tùy thuộc vào tính chất của đối tượng đo.

## 1.5 Phân loại các phương pháp đo lường

Phương pháp đo lường được hiểu là cách thức nhằm lấy được giá trị của đại lượng cần đo. Một cách tổng quát có thể chia phương pháp đo thành 2 loại là phương pháp đo trực tiếp và phương pháp đo gián tiếp.

### 1.5.1 Phương pháp đo trực tiếp

Là phương pháp đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một lần đo duy nhất. Nghĩa là kết quả đo chính là giá trị của đại lượng cần đo.

**Ví dụ 1.3:** Dùng Ohm kế đo giá trị của điện trở, dùng Ampe kế đo dòng điện chạy qua bóng đèn.

### 1.5.2 Phương pháp đo gián tiếp

Là phương pháp đo mà kết quả được suy ra từ sự phối hợp của nhiều kết quả đo trực tiếp. Nghĩa là đại lượng cần đo được xác định thông qua hàm toán học với các đại lượng đo được trực tiếp.

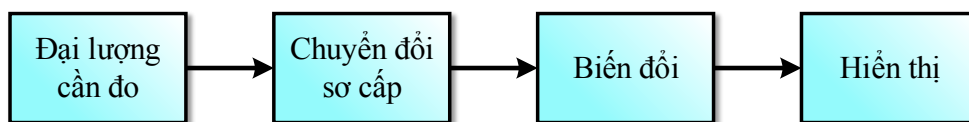
**Ví dụ 1.4:** Dùng Vôn kế và Ampe kế để đo điện áp và dòng điện chạy qua điện trở, sau đó sử dụng công thức  $P = U.I$  để tính giá trị công suất mà điện trở tiêu thụ.

Nhược điểm: Phải tiến hành nhiều lần đo làm cho sai số bị tích lũy và độ chính xác không vượt quá độ chính xác của các dụng cụ đo trung gian.

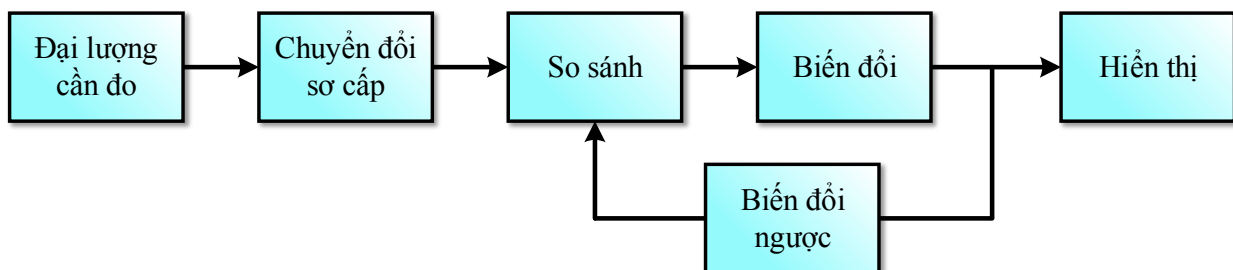
Một điều cần lưu ý là việc phân biệt phương pháp đo trực tiếp và gián tiếp chỉ mang ý nghĩa tương đối. Tức là, nếu xét về khía cạnh nào đó thì có thể xem phương pháp đo đang thực hiện là trực tiếp nhưng nếu xét về mặt khác thì có thể nó không còn là trực tiếp nữa. Chẳng hạn khi dùng đồng hồ điện tử đo dòng điện chạy qua điện trở thì việc dùng chức năng đo dòng điện của đồng hồ được xem là cách đo trực tiếp, nhưng nếu xét kỹ hơn về mặt cấu tạo của nó: mọi đại lượng điện ngõ vào đều được chuyển thành tín hiệu điện áp trước khi đưa vào mạch đo của đồng hồ thì dòng điện này rõ ràng đã được đo gián tiếp thông qua đại lượng trung gian là điện áp.

### 1.6 Sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo

Sơ đồ cấu trúc của thiết bị đo được phân thành 2 loại: Sơ đồ cấu trúc dạng biến đổi thẳng và sơ đồ cấu trúc dạng so sánh.



*Hình 1.1: Sơ đồ cấu trúc dạng biến đổi thẳng*



*Hình 1.2: Sơ đồ cấu trúc dạng so sánh*

Đại lượng cần đo: là các thông số, tính chất của đối tượng cần đo, chúng có thể tồn tại dưới dạng điện hoặc không điện.

Chuyển đổi sơ cấp: làm nhiệm vụ biến đổi đại lượng cần đo thành tín hiệu điện trước khi truyền đến các khối xử lý tiếp theo.

Biến đổi: là khâu tính toán, biến đổi các đại lượng cần đo thành các đại lượng phù hợp với quá trình lưu trữ và hiển thị.

Biến đổi ngược: để đưa tín hiệu hồi tiếp về so sánh.

So sánh: so sánh đại lượng điện cần đo với đại lượng mẫu.

Hiển thị: là khâu cuối cùng của thiết bị đo, làm nhiệm vụ thể hiện kết quả đo.

---

Cơ cấu hiển thị thường có 3 loại:

- + Hiển thị cơ điện (chỉ thị kim)
- + Hiển thị tự ghi (Ống tia điện tử)
- + Hiển thị số (hiển thị qua LCD, LED)

## 1.7 Chuẩn hóa trong đo lường

### 1.7.1 Ý nghĩa của sự chuẩn hóa

Mục đích của việc đo lường nhằm lấy được các thông số thực sự của đối tượng cần đo. Muốn vậy, con người không thể chỉ sử dụng các giác quan của mình mà cần phải dùng đến các thiết bị đo. Thiết bị đo được cung cấp bởi nhà chế tạo, trước khi xuất xưởng chúng được kiểm tra chất lượng nghiêm ngặt. Nhưng khi đến tay người sử dụng thì thiết bị đo đã phải trải qua quá trình vận chuyển, chính những tác động trong quá trình này có thể ảnh hưởng đến chất lượng thậm chí làm giảm cấp chính xác của thiết bị. Về phía người sử dụng luôn mong muốn thiết bị có cấp chính xác thật cao. Nhưng thiết bị càng chính xác thì cấu tạo càng phức tạp và giá thành càng đắt. Như vậy người sử dụng phải biết được mức độ công việc đòi hỏi một thiết bị đo với cấp chính xác như thế nào là vừa đủ. Khi phân tích và hiểu rõ yêu cầu của mình, người sử dụng sẽ tiết kiệm đáng kể chi phí, thời gian cũng như tăng hiệu quả sử dụng thiết bị. Để đánh giá chất lượng thiết bị một cách khách quan và chính xác, các trung tâm kiểm định được thành lập nhằm cấp giấy chứng nhận chất lượng cho thiết bị. Việc kiểm định chất lượng được thực hiện bằng sự chuẩn hóa là một công việc hết sức cần thiết trước khi đưa thiết bị vào sử dụng. Như đã trình bày ở trên, tùy theo công việc cụ thể của người sử dụng mà thiết bị phục vụ cần một cấp chính xác tương ứng. Do vậy cần có nhiều cấp chuẩn hóa khác nhau để kiểm định chất lượng của thiết bị ở những mức độ khác nhau. Việc phân cấp như vậy là cần thiết đảm bảo tiết kiệm về kinh tế và thời gian cho các bên liên quan.

### 1.7.2 Cấp chuẩn hóa

Việc chuẩn hóa một thiết bị được chia làm 4 cấp:

- **Cấp 1: Chuẩn quốc tế (International standard)**

Các thiết bị đo lường cấp chuẩn quốc tế được định chuẩn tại Trung tâm đo lường quốc tế đặt tại Paris (Pháp). Các thiết bị đo lường chuẩn hóa cấp 1 này theo định kỳ được đánh giá và kiểm tra lại theo trị số đo tuyệt đối của các đơn vị cơ bản vật lý được hội nghị quốc tế về đo lường giới thiệu và chấp nhận.

- **Cấp 2: Chuẩn quốc gia (National standard)**

Các thiết bị đo lường tại các Viện định chuẩn quốc gia ở các quốc gia khác nhau trên thế giới phải được chuẩn hóa theo chuẩn quốc tế, đồng thời được định chuẩn theo tiêu chuẩn riêng của mỗi quốc gia. Những thiết bị đo được chuẩn hóa theo tiêu chuẩn này sẽ mang chuẩn quốc gia.

- **Cấp 3: Chuẩn khu vực (Zone standard)**

Trong một quốc gia có thể có nhiều Trung tâm định chuẩn cho từng khu vực (standard zone center). Các thiết bị đo lường tại trung tâm này đương nhiên phải mang chuẩn quốc gia. Những thiết bị đo lường được định chuẩn tại các trung tâm định chuẩn này sẽ mang chuẩn khu vực.

- **Cấp 4: Chuẩn phòng thí nghiệm (Lab standard)**

Trong từng khu vực chuẩn hóa sẽ có những phòng thí nghiệm được công nhận để chuẩn hóa các thiết bị được dùng trong sản xuất công nghiệp. Như vậy các thiết bị được chuẩn hóa tại các phòng thí nghiệm này sẽ có chuẩn phòng thí nghiệm. Do đó các thiết bị đo lường khi được sản xuất ra được định chuẩn tại cấp nào thì sẽ mang chất lượng tiêu chuẩn đo lường cấp đó. Một thiết bị sau khi đã được định chuẩn và đem sử dụng thì sau một khoảng thời gian nhất định phải được kiểm định và cấp giấy chứng nhận chất lượng lại. Nói một cách khác giấy chứng nhận chất lượng chỉ có giá trị trong một thời hạn nhất định.

### 1.8 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. Có thể khẳng định rằng tất cả các phép đo đều mắc sai số.

Thiết bị đo dù có chất lượng cao đến thế nào cũng vẫn mắc sai số, chỉ khác là sai số đó lớn hay bé mà thôi.

### 1.8.1 Nguyên nhân gây ra sai số

**Nguyên nhân chủ quan:** là nguyên nhân do người thực hiện phép đo gây ra vì không nắm vững nguyên lý đo, không đảm bảo các điều kiện khi đo, hoặc ghi sai kết quả đo...

**Nguyên nhân khách quan:** là các nguyên nhân còn lại (không phải do nguyên nhân chủ quan). Sai số do nguyên nhân khách quan gây ra thường rất phức tạp, có thể do chính thiết bị đo hoặc do sự tác động từ phía môi trường ngoài ảnh hưởng lên quá trình đo.

### 1.8.2 Phân loại sai số

**Sai số chủ quan:** do lỗi lầm của người sử dụng thiết bị đo, sử dụng thiết bị đo sai quy cách, đọc hoặc ghi sai kết quả, lựa chọn phương pháp đo và dụng cụ đo không hợp lý,...

**Sai số hệ thống:** là sai số được lặp đi lặp lại, mang tính thường xuyên và có quy luật lên kết quả đo. Sai số này do chính bản thân dụng cụ đo gây ra, do ảnh hưởng của môi trường như: nhiệt độ, độ ẩm, từ trường hoặc điện trường nhiễu. Do vậy ta có thể loại trừ hoặc giảm nhỏ sai số hệ thống.

**Sai số ngẫu nhiên:** do các yếu tố bất thường, không có quy luật tác động. Thông thường sai số ngẫu nhiên được thu thập từ một số lớn những ảnh hưởng nhỏ được tính toán trong đo lường có độ chính xác cao. Sai số ngẫu nhiên thường được phân tích bằng phương pháp thống kê.

### 1.8.3 Tính toán sai số

**Sai số tuyệt đối:** là độ sai lệch giữa giá trị đo được và giá trị thực của đại lượng cần đo.

$$\Delta X = |X_D - X_T| \quad (1.4)$$

Trong đó:

$\Delta X$  : Sai số tuyệt đối

$X_D$  : Giá trị đo được của đại lượng cần đo

$X_T$  : Giá trị thực của đại lượng cần đo



Giá trị thực  $X_T$  của đại lượng đo: là giá trị của đại lượng đo được xác định bằng dụng cụ đo có độ chính xác cao hơn dụng cụ đo được sử dụng trong phép đo đang xét. Giá trị thực là kết quả trung bình của việc thực hiện nhiều phép đo độc lập.

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  $X_T$  của đại lượng đo.

**Sai số tương đối:** là sai số tính theo tỷ số phần trăm giữa sai số tuyệt đối và giá trị thực của đại lượng cần đo. Sai số tương đối hay còn gọi là giới hạn sai số dùng để đánh giá độ chính xác của phép đo.

$$\delta_x = \frac{\Delta X}{X_T} \cdot 100 \quad (1.5)$$

Trong đó:

- $\delta_x$  : Sai số tương đối
- $\Delta X$  : Sai số tuyệt đối
- $X_T$  : Giá trị thực của đại lượng cần đo

**Sai số quy dẫn:** là sai số tính theo tỷ số phần trăm giữa sai số tuyệt đối với giới hạn lớn nhất của thang đo (tầm đo). Sai số quy dẫn còn được gọi là sai số tương đối của tầm đo.

$$\delta_{qd} = \frac{\Delta X}{X_{\max}} \cdot 100 \quad (1.6)$$

Trong đó:

- $\delta_{qd}$  : Sai số quy dẫn
- $\Delta X$  : Sai số tuyệt đối
- $X_{\max}$  : Giới hạn lớn nhất của thang đo (giá trị định mức)

Mỗi dụng cụ đo có một giá trị sai số tuyệt đối cho phép lớn nhất, khi đó sai số quy dẫn cho phép lớn nhất (cấp chính xác) là:

$$CCX = \frac{\Delta X_{\max}}{X_{\max}} \cdot 100 \quad (1.7)$$

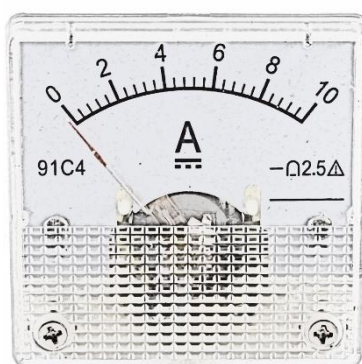
Trong đó:

- CCX : Cấp chính xác, sai số tầm đo
- $\Delta X_{\max}$  : Sai số tuyệt đối cho phép lớn nhất
- $X_{\max}$  : Giá trị lớn nhất thang đo

Sai số quy dẫn cho phép lớn nhất cũng chính là cấp chính xác được dùng để đánh giá tính chính xác của dụng cụ đo. Cấp chính xác thường gặp là: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4; 5... Như vậy một dụng cụ đo sẽ cho ra kết quả có sai số nhỏ hơn hoặc bằng sai số quy dẫn, nếu vượt quá sai số này thì dụng cụ đo không còn đảm bảo tiêu chuẩn và cần phải được hạ cấp chính xác xuống.

**Ví dụ 1.5:** Một đồng hồ đo điện áp có thang đo từ 0 đến 150V, nếu sai số cao nhất là  $\pm 1,5V$  thì cấp chính xác là 1%.

**Ví dụ 1.6:** Cấp chính xác của một Ampe kế trong hình 1.3 là:  $CCX = 2,5\%$  ứng với giá trị lớn nhất của thang đo:  $I_{\max} = 10A$



**Hình 1.3:** Ampe kế dạng chỉ thị kim với cấp chính xác là 2,5%

#### 1.8.4 Cách viết kết quả đo

Kết quả đo đại lượng  $X$  không cho dưới dạng con số cụ thể, mà cho dưới dạng một khoảng giá trị (tập giá trị).

$$X_T - \Delta X \leq X_D \leq X_T + \Delta X \quad \text{hoặc} \quad X_D \in [X_T - \Delta X; X_T + \Delta X] \quad (1.8)$$

Trong đó:

$X_T + \Delta X$  : Giới hạn trên của kết quả đo

$X_T - \Delta X$  : Giới hạn dưới của kết quả đo

Để đơn giản hơn, kết quả đo đại lượng  $X$  được viết:

$$X_D = X_T \pm \Delta X \quad (1.9)$$

Kết quả đo đại lượng  $X$  được viết theo sai số tương đối có dạng:

$$X_D = X_T \pm \delta_X \quad (1.10)$$

**Ví dụ 1.7:** Kết quả sau nhiều lần đo điện áp 200V nằm trong khoảng [190V; 210V], kết quả này có thể được viết lại là:  $U = 200 \pm 10V$  hoặc  $U = 200V \pm 5\%$ .

**Ví dụ 1.8:** Kết quả sau nhiều lần đo điện trở 200Ω nằm trong khoảng [180Ω; 220Ω], kết quả này có thể được viết lại là:  $R = 200 \pm 20\Omega$  hoặc  $R = 200\Omega \pm 10\%$ .

• **Kiểm định đồng hồ**

Xác định chất lượng làm việc của đồng hồ bằng cách so sánh với đồng hồ chuẩn để đánh giá mức độ làm việc. Thông thường dùng đồng hồ có CCX là 0,1; 0,2 để kiểm định các đồng hồ cấp chính xác lớn hơn 0,5...1.

Các đồng hồ chuẩn cấp 1 ( $CCX < 0,1$ ) thì kiểm định bằng phương pháp đặc biệt và dùng đồng hồ chuẩn gốc. Đồng hồ chuẩn cấp 2 ( $0,1 \leq CCX \leq 0,2$ ) thì dùng đồng hồ chuẩn cấp 1 để kiểm định. Các đồng hồ có ghi cấp chính xác là 1, nghĩa là đồng hồ có giới hạn sai số cho tầm đo là 1%.

**Ví dụ 1.9:** Người ta cần kiểm tra cấp chính xác của một Vôn kế, biết Vôn kế này có giới hạn đo là 200V. Dùng một Vôn kế mẫu có cấp chính xác là 0,1 và giới hạn đo là 200V để kiểm tra. Khi đo điện áp, Vôn kế mẫu chỉ 128V và Vôn kế cần kiểm tra chỉ 124,5V.

a. Tính sai số tuyệt đối, sai số tương đối của Vôn kế cần kiểm tra?

b. Tìm cấp chính xác của Vôn kế cần kiểm tra, biết rằng sai số tuyệt đối đã tìm được là sai số tuyệt đối lớn nhất?

**Giải:**

a. Sai số tuyệt đối:  $\Delta U = |U_D - U_T| = |124,5 - 128| = 3,5V$

Sai số tương đối:  $\delta_U = \frac{\Delta U}{U_T} \cdot 100 = \frac{3,5}{128} \cdot 100 = 2,73\%$

b. Cấp chính xác:  $CCX = \frac{\Delta U_{\max}}{U_{\max}} \cdot 100 = \frac{3,5}{200} \cdot 100 = 1,75\%$

**Ví dụ 1.10:** Một nguồn điện có điện áp định mức là 30V. Dùng Vôn kế có tầm đo cực đại là 50V để đo điện áp này. Kết quả đo được 30,1V.

a. Tính sai số tuyệt đối, sai số tương đối của kết quả đo trên?

b. Giả sử sai số tuyệt đối đã tìm được là cực đại, tìm cấp chính xác của đồng hồ đo?

**Giải:**

a. Sai số tuyệt đối:  $\Delta U = |U_D - U_T| = |30,1 - 30| = 0,1V$

---

Sai số tương đối:  $\delta_U = \frac{\Delta U}{U_T} \cdot 100 = \frac{0,1}{30} \cdot 100 = 0,33\%$

b. Cấp chính xác:  $CCX = \frac{\Delta U_{\max}}{U_{\max}} \cdot 100 = \frac{0,1}{50} \cdot 100 = 0,2\%$

**Ví dụ 1.11:** Một Vôn kế có sai số tầm đo  $\pm 1\%$  ở tầm đo 300V. Dùng Vôn kế này để đo điện áp 120V.

a. Tính giới hạn sai số và viết kết quả đo?

b. Tìm khoảng giá trị của kết quả đo?

**Giải:**

a.  $CCX = \frac{\Delta U_{\max}}{U_{\max}} \cdot 100 \Rightarrow \Delta U_{\max} = \frac{CCX \cdot U_{\max}}{100} = \frac{1 \cdot 300}{100} = 3V$

Giới hạn sai số:  $\delta_U = \frac{\Delta U}{U_T} \cdot 100 = \frac{3}{120} \cdot 100 = 2,5\%$

Kết quả đo:  $U_D = 120V \pm 3V$  hoặc  $U_D = 120V \pm 2,5\%$

b. Khoảng giá trị của kết quả đo:

$$117V \leq U_D \leq 123V$$

## 1.9. Bài tập chương 1

### A – Phần trắc nghiệm

**Câu 1:** Đại lượng đo lường được chia thành:

- A. Đại lượng điện và đại lượng vật lý
- B. Đại lượng điện và đại lượng không điện
- C. Đại lượng điện và đại lượng cơ
- D. Đại lượng trực tiếp và đại lượng gián tiếp

**Câu 2:** Trong đo lường, sai số hệ thống thường được gây ra bởi:

- A. Người thực hiện phép đo
- B. Dụng cụ đo
- C. Đại lượng cần đo
- D. Phương pháp đo

**Câu 3:** Để giảm nhỏ sai số hệ thống thường dùng phương pháp:

- A. Kiểm định thiết bị đo thường xuyên
- B. Thực hiện phép đo nhiều lần
- C. Cải tiến phương pháp đo
- D. Tất cả đều sai

**Câu 4:** Để giảm nhỏ sai số ngẫu nhiên thường dùng phương pháp:

- A. Kiểm định thiết bị đo thường xuyên
- B. Thực hiện phép đo nhiều lần
- C. Cải tiến phương pháp đo
- D. Khắc phụ điều kiện môi trường

**Câu 5:** Sai số tuyệt đối là:

- A. Hiệu số giữa giá trị thực với giá trị định mức
- B. Tỉ số giữa giá trị thực với giá trị định mức
- C. Tỉ số giữa giá trị thực với giá trị đo được
- D. Hiệu số giữa giá trị thực với giá trị đo được

**Câu 6:** Sai số tương đối là:

- A. Tỉ số giữa giá trị đo được với giá trị định mức
- B. Tỉ số giữa sai số tuyệt đối với giá trị đo được
- C. Tỉ số giữa sai số tuyệt đối với giá trị thực
- D. Tỉ số giữa sai số tuyệt đối với giá trị định mức

**Câu 7:** Cấp chính xác của thiết bị đo là:

- A. Sai số giới hạn tính theo giá trị định mức của thiết bị đo
- B. Sai số giới hạn tính theo giá trị thực của đại lượng cần đo
- C. Sai số giới hạn tính theo giá trị trung bình cộng số đo
- D. Sai số giới hạn tính theo giá trị đo được

**Câu 8:** Sai số nào sau đây được dùng để đánh giá độ chính xác của phép đo?

- A. Sai số tuyệt đối
- B. Sai số tương đối
- C. Sai số quy dẫn
- D. Sai số quy dẫn cho phép lớn nhất

**Câu 9:** Sai số nào sau đây được dùng để đánh giá độ chính xác của dụng cụ đo?

- A. Sai số tuyệt đối
- B. Sai số tương đối
- C. Sai số quy dẫn
- D. Sai số quy dẫn cho phép lớn nhất

**Câu 10:** Việc chuẩn hóa thiết bị đo thường được xác định theo:

- A. 2 cấp
- B. 3 cấp
- C. 4 cấp
- D. 5 cấp

**Câu 11:** Đại lượng điện thụ động là những đại lượng điện ở trạng thái bình thường:

- A. Có mang năng lượng điện
- B. Có dòng điện
- C. Không mang năng lượng điện
- D. Có điện áp

**Câu 12:** Đại lượng điện tác động là những đại lượng điện ở trạng thái bình thường:

- A. Có mang năng lượng điện
- B. Không mang năng lượng điện
- C. Có dòng điện
- D. Có điện áp

**Câu 13:** Một thiết bị đo có độ nhạy càng lớn thì sai số do thiết bị đo gây ra:

- A. Càng lớn  
B. Không thay đổi  
C. Càng bé  
D. Tùy thuộc phương pháp đo

**Câu 14:** Một Vôn kế có giới hạn đo 250V, dùng Vôn kế này đo điện áp 200V thì Vôn kế chỉ 210V. Sai số tương đối của phép đo là:

- A. 5%  
B. 4,7%  
C. 10V  
D. 4%

**Câu 15:** Một Vôn kế có sai số tầm đo  $\pm 2\%$  ở tầm đo 300V, giới hạn sai số ở 150V là:

- A. 5%  
B. 2,5%  
C. 3V  
D. 4%

**Câu 16:** Một Ampe kế có giới hạn đo 30A, cấp chính xác 1%, khi đo đồng hồ chỉ 10A thì khoảng giá trị thực của dòng điện cần đo là:

- A. [9,3A; 10,3A]  
B. [9,7A; 10,3A]  
C. [9,7A; 10,7A]  
D. [9A; 11A]

**Câu 17:** Một điện trở có thông số  $R = 330\Omega \pm 5\%$ . Khoảng giá trị của điện trở này là:

- A. [325 $\Omega$ ; 335 $\Omega$ ]  
B. [9,7 $\Omega$ ; 10,3 $\Omega$ ]  
C. [328,5 $\Omega$ ; 331,5 $\Omega$ ]  
D. [313,5 $\Omega$ ; 346,5 $\Omega$ ]

**Câu 18:** Sau nhiều lần đo điện áp, kết quả đo nằm trong khoảng [156V; 160V]. Kết quả đo này có thể được viết lại là:

- A.  $U_D = 158 \pm 2V$   
B.  $U_D = 158 \pm 4V$   
C.  $U_D = 156 \pm 4V$   
D.  $U_D = 158V \pm 2\%$

**Câu 19:** Sau nhiều lần đo điện trở, kết quả đo nằm trong khoảng [466,7 $\Omega$ ; 473,3 $\Omega$ ]. Kết quả đo này có thể được viết lại là:

- A.  $R_D = 466,7 \pm 3,3\Omega$   
B.  $R_D = 473,3\Omega \pm 3,3\%$   
C.  $R_D = 470\Omega \pm 0,7\%$   
D.  $R_D = 470\Omega \pm 3,3\%$

**Câu 20:** Sử dụng một Vôn kế để đo điện áp, các kết quả thu được lần lượt là: 17,6V; 17,2V; 17,4V; 17,3V. Kết quả đo này có thể được viết lại là:

- A.  $U_D = 17,2 \pm 2V$   
B.  $U_D = 17,4 \pm 0,2V$   
C.  $U_D = 17,4V \pm 0,2\%$   
D.  $U_D = 17,4V \pm 2\%$

## **B – Phần tự luận**

**Câu 1:** Đại lượng đo được phân loại như thế nào? Cho ví dụ minh họa.

**Câu 2:** Phương pháp đo là gì? Trình bày các loại phương pháp đo.

**Câu 3:** Một Ampe kế có giới hạn đo là 20A, cấp chính xác 1%. Tìm giới hạn sai số khi đo dòng điện 5A.

**Câu 4:** Một Ampe kế có giới hạn đo 20A, cấp chính xác 1,5%. Tìm khoảng giá trị thực của dòng điện cần đo khi Ampe kế chỉ 12A.

**Câu 5:** Một Vôn kế có sai số tầm đo  $\pm 1\%$  ở tầm đo 250V. Tìm giới hạn sai số khi đo điện áp 172V.

**Câu 6:** Một Vôn kế có giới hạn đo 250V, dùng Vôn kế này đo điện áp 150V thì Vôn kế chỉ 156V. Tính sai số tương đối của phép đo.

**Câu 7:** Người ta cần kiểm tra cấp chính xác của một Vôn kế, biết Vôn kế này có giới hạn đo là 300V. Dùng một Vôn kế mẫu có cấp chính xác là 0,1 và giới hạn đo là 300V để kiểm tra. Khi đo điện áp, Vôn kế mẫu chỉ 152V và Vôn kế cần kiểm tra chỉ 155,7V.

a. Tính sai số tuyệt đối, sai số tương đối của Vôn kế cần kiểm tra?

b. Tìm cấp chính xác của Vôn kế cần kiểm tra, biết rằng sai số tuyệt đối đã tìm được là sai số tuyệt đối lớn nhất?

**Câu 8:** Một nguồn điện có điện áp định mức là 50V. Dùng Vôn kế có tầm đo cực đại là 100V để đo điện áp này. Kết quả đo được 50,2V.

a. Tính sai số tuyệt đối, sai số tương đối của kết quả đo trên?

b. Giả sử sai số tuyệt đối đã tìm được là cực đại, tìm cấp chính xác của đồng hồ đo?

**Câu 9:** Một nguồn điện có điện áp định mức là 50V, dùng để cấp điện cho một tải  $5\Omega$ . Khi đo dòng điện qua tải bằng Ampe kế, kết quả đo có sai số là 5% so với kết quả tính toán.

a. Xác định dòng điện mà Ampe kế đo được?

b. Tính sai số tuyệt đối của Ampe kế?

b. Giả sử sai số tuyệt đối đã tìm được là cực đại, tìm cấp chính xác của đồng hồ đo, biết Ampe kế có giới hạn đo là 20A?

**Câu 10:** Một Vôn kế có sai số tầm đo  $\pm 2\%$  ở tầm đo 400V. Dùng Vôn kế này để đo điện áp 150V.

a. Tính giới hạn sai số và viết kết quả đo?

b. Tìm khoảng giá trị của kết quả đo?





## CHƯƠNG 2

### CƠ CẤU CHỈ THỊ CỦA THIẾT BỊ ĐO LƯỜNG

Sau khi học xong chương 2, sinh viên đạt được kiến thức và kỹ năng sau:

Trình bày được cấu tạo, nguyên lý làm việc, đặc tính và ứng dụng của các cơ cấu chỉ thị cơ điện, tự ghi và điện tử số.

#### 2.1 Khái niệm chung

Cơ cấu chỉ thị là một phần của thiết bị đo dùng để hiển thị kết quả đo. Cơ cấu chỉ thị được phân thành 3 loại:

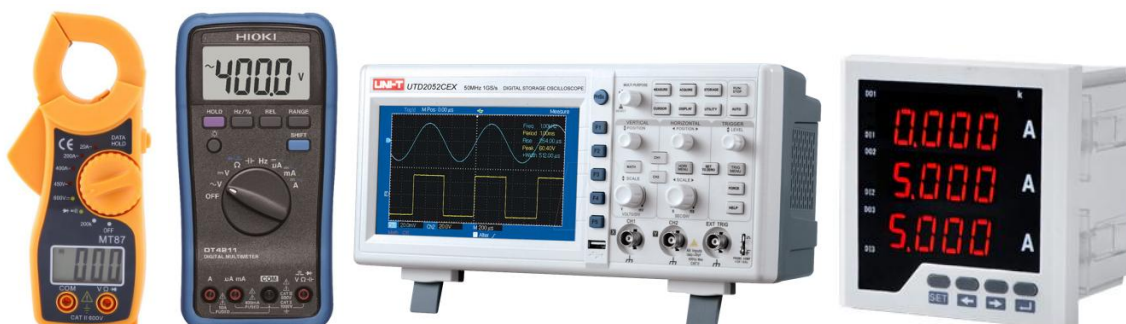
- + Cơ cấu chỉ thị cơ điện
- + Cơ cấu chỉ thị tự ghi
- + Cơ cấu chỉ thị số



(a) Chỉ thị cơ điện



(b) Chỉ thị tự ghi



(c) Chỉ thị số

Hình 2.1: Các loại chỉ thị của thiết bị đo lường










Chỉ thị cơ điện là cơ cấu chỉ thị có tín hiệu vào là điện áp hay dòng điện và tín hiệu ra là góc quay của kim chỉ thị. Đại lượng cần đo sẽ trực tiếp biến đổi thành góc quay của kim chỉ thị, tức là năng lượng điện từ sẽ được chuyển thành năng lượng cơ học.











Chỉ thị tự ghi là cơ cấu chỉ thị sử dụng một loại ống chân không đặc biệt được gọi là Cathode Ray Tube (CRT) là loại đèn hình dùng sợi đốt. Giúp hiển thị các dạng tín hiệu lên màn hình một cách trực quan.

Chỉ thị số là cơ cấu chỉ thị sử dụng thiết bị điện tử như màn hình LCD, LED,... có cấu trúc gọn nhẹ, hiện đại, có khả năng giao tiếp máy tính và in ra dạng sóng. Giúp người dùng có được kết quả nhanh chóng và đầy đủ.

- Một số ký hiệu trên dụng cụ đo

Bảng 2.1 chỉ ra các ký hiệu quy ước trên mặt đồng hồ đo và ý nghĩa của chúng.

1. Loại cơ cấu đo	
	Cơ cấu kiểu từ điện, khung dây ở phần động
	Cơ cấu kiểu từ điện, nam châm ở phần động
	Cơ cấu đo từ điện dùng diode chỉnh lưu
	Cơ cấu đo kiểu điện từ
	Cơ cấu đo kiểu điện động
	Cơ cấu đo kiểu sắt điện động
	Cơ cấu đo kiểu cảm ứng
	Cơ cấu đo điện từ
2. Trạng thái đặt dụng cụ đo	
	Đặt thiết bị đo theo phương thẳng đứng

	Đặt thiết bị đo theo phương nằm ngang
	Đặt thiết bị đo nghiêng một góc $60^\circ$ so với phương nằm ngang
<b>3. Độ cách điện của vỏ dụng cụ đo</b>	
	Độ cách điện của vỏ dụng cụ đo từ 0V đến 500V
	Độ cách điện của vỏ dụng cụ đo từ 500V đến 2kV
<b>4. Loại dụng cụ đo</b>	
	Ampe kế một chiều
	Vôn kế một chiều
	Ampe kế xoay chiều
	Vôn kế xoay chiều
	Ohm kế
	Dao động ký

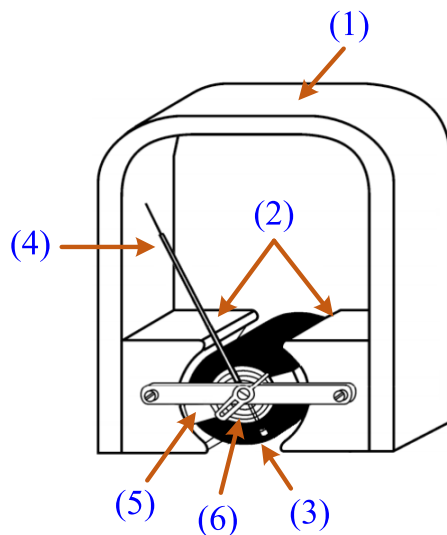
**Bảng 2.1:** Một số ký hiệu trên dụng cụ đo

## 2.2 Cơ cấu chỉ thị cơ điện

### 2.2.1 Cơ cấu từ điện

#### 2.2.1.1 Cấu tạo

Cơ cấu đo kiểu từ điện có hai phần chính là phần tĩnh và phần động.



#### Phần tĩnh

- (1) Nam châm vĩnh cửu
- (2) Cực từ
- (3) Lõi sắt

#### Phần động

- (4) Kim chỉ thị
- (5) Khung dây
- (6) Lò xo xoắn ốc

**Hình 2.2:** Cơ cấu chỉ thị từ điện

Khung dây: gồm nhiều vòng dây làm bằng đồng cùng quấn trên một khuôn nhôm hình chữ nhật. Dây đồng có tiết diện nhỏ khoảng  $(0,02 \div 0,05)\text{mm}$  có phủ cách điện bên ngoài. Toàn bộ khung dây được đặt trên trục quay. Khung dây chuyển động nhờ lực tương tác giữa từ trường của khung dây (khi có dòng điện chạy qua) và từ trường của nam châm vĩnh cửu. Khối lượng của khung dây phải càng nhỏ càng tốt để Momen quán tính không ảnh hưởng nhiều đến chuyển động quay của khung dây.

Lõi sắt: có dạng hình trụ tròn được đặt giữa hai cực của nam châm vĩnh cửu sao cho khe hở không khí giữa chúng đủ nhỏ và cách đều các cực từ. Nhờ lõi sắt mà từ trở giữa các cực từ được giảm nhỏ và do đó làm tăng mật độ từ thông qua khe hở không khí.

Lò xo xoắn ốc: được bố trí ở hai đầu của khung dây với chiều ngược nhau, một đầu lò xo gắn vào trục của khung dây, đầu kia gắn cố định. Lò xo xoắn ốc có nhiệm vụ chủ yếu là tạo ra Momen cản ( $M_c$ ) cân bằng với lực điện từ, ngoài ra lò xo được dùng để dẫn dòng điện vào và ra khung dây và khi không có dòng điện đi vào, lò xo sẽ đưa kim chỉ thị về vị trí ban đầu.

Kim chỉ thị: được gắn liền với khung dây để có thể dịch chuyển theo khung, vị trí kim sẽ chỉ giá trị tương ứng trên mặt thang đo. Kim thường làm bằng nhôm mỏng, đuôi kim có gắn đối trọng để trọng tâm của kim nằm trên trục quay, điều này giúp giữ thăng bằng cho phần động. Đầu kim dẹt và có chiều dày bé hơn khoảng cách các vạch trên thang chia độ.

Nam châm vĩnh cửu: gồm hai cực N và S được thiết kế bo tròn theo lõi sắt sao cho khe hở giữa phần tĩnh và phần động đủ nhỏ nhằm tạo ra từ trường đều.

### 2.2.1.2 Nguyên lý hoạt động và phương trình đặc tính thang đo

Khi có dòng điện chạy qua khung dây thì từ trường cảm ứng của khung dây sẽ tác dụng với từ trường của nam châm vĩnh cửu. Lực tương tác này sẽ tác động lên các cạnh của khung dây tạo ra Momen quay làm dịch chuyển phần động. Chiều của lực tương tác được xác định theo quy tắc bàn tay trái. Khi dòng điện của đại lượng cần đo càng lớn thì khung dây quay càng nhiều, do đó góc quay của kim chỉ thị càng lớn.

Lực điện từ tác dụng lên các cạnh khung dây có trị số bằng nhau nhưng ngược chiều.

$$F = N.B.I.L \quad (2.1)$$

Trong đó:

$F$  : lực điện từ tác dụng lên một cạnh khung dây ( $N$ )

$N$  : số vòng dây (vòng)

$B$  : độ cảm ứng từ trong khe hở không khí ( $T$ )

$I$  : cường độ dòng điện chạy qua khung dây ( $A$ )

$L$  : chiều dài tác dụng của khung dây ( $m$ )

Momen quay của lực điện từ  $F$ :

$$M_q = F.W = N.B.I.L.W = N.B.I.S \quad (2.2)$$

$W$  : bề rộng khung dây ( $m$ )

$S$  : diện tích của khung dây ( $m^2$ )

$$M_q = N.B.I.S \quad (2.3)$$

Khi khung dây dịch chuyển, lò xo xoắn ốc tạo ra Momen cản ( $M_c$ ).

$$M_c = K_c . \alpha \quad (2.4)$$

$K_c$  : hệ số cản của lò xo

$\alpha$  : góc quay của kim chỉ thị

Hệ số cân của lò xo phụ thuộc vào tính chất đàn hồi của vật liệu chế tạo lò xo cũng như kích thước hình dạng của nó.

Khi khung dây đứng yên ở vị trí tương ứng với dòng điện cần đo, ta có:

$$M_q = M_c \quad (2.5)$$

$$\Leftrightarrow N.B.I.S = K_c.\alpha \quad (2.6)$$

$$\Leftrightarrow \alpha = \frac{N.B.S}{K_c}.I \quad (2.7)$$

Đặt  $\frac{N.B.S}{K_c} = K_I$  là hệ số tỉ lệ dòng điện. Suy ra, góc quay của kim chỉ thị là:

$$\boxed{\alpha = K_I.I} \quad (2.8)$$

Góc lệch  $\alpha$  tỉ lệ thuận với dòng điện  $I$ . Dòng điện chạy qua khung dây càng lớn thì góc lệch  $\alpha$  càng tăng.

Muốn tăng độ nhạy của cơ cấu đo ta có thể tăng độ lớn cảm ứng từ  $B$  trong khe hở không khí, hoặc tăng số vòng dây quấn của khung dây.

### 2.2.1.3 Đặc điểm và ứng dụng của cơ cấu từ điện

- Ưu điểm:
    - Từ trường do nam châm vĩnh cửu tạo ra mạnh ít bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài.
    - Công suất tiêu thụ của khung dây rất nhỏ (từ  $25\mu W$  đến  $200\mu W$ ).
    - Độ chính xác rất cao, có thể đạt cấp chính xác 0,5%.
    - Vì góc quay tuyến tính theo dòng điện nên thang đo có khoảng chia đều đặn và đây cũng chính là ưu điểm quan trọng trong cơ cấu đo kiểu từ điện.
  - Nhược điểm:
    - Dây quấn có tiết diện bé nên khả năng chịu quá tải kém dễ bị đứt khi dòng điện quá mức chạy qua.
    - Cơ cấu không đo trực tiếp được dòng điện xoay chiều (AC) vì kim sẽ bị đảo chiều quay liên tục.
    - Khung dây và lò xo dễ bị hư hỏng khi bị chấn động mạnh hoặc di chuyển quá mức cho phép, do vậy cần có biện pháp phòng tránh.
  - Ứng dụng:
-

- Cơ cấu chỉ thị từ điện dùng để chế tạo Vôn kế, Ampe kế, Ohm kế nhiều thang đo và dải đo rộng với độ chính xác cao.
- Dùng với các bộ biến đổi như chỉnh lưu có thể đo được dòng, áp xoay chiều.



(a) Vôn kế



(b) Ampe kế

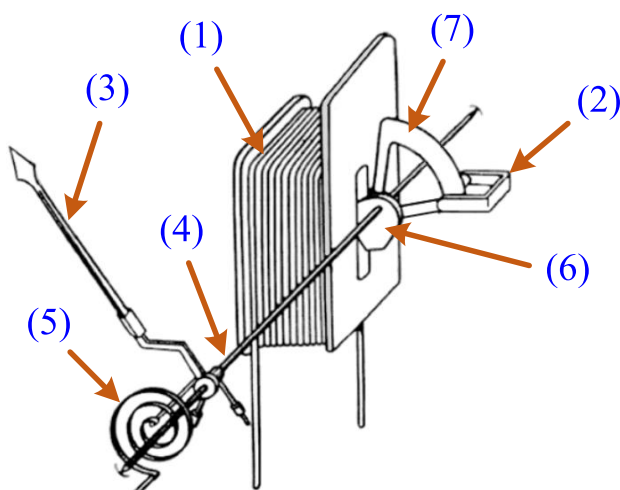
**Hình 2.3:** Thiết bị đo chỉ thị kim dùng cơ cấu từ điện

## 2.2.2 Cơ cấu điện từ

### 2.2.2.1 Cấu tạo

Cơ cấu chỉ thị điện từ gồm hai loại chính: cơ cấu chỉ thị điện từ loại hút (kiểu cuộn dây dẹt) và cơ cấu chỉ thị điện từ loại đẩy (kiểu cuộn dây tròn).

- **Cơ cấu điện từ loại hút**



#### Phần tĩnh

- (1) Cuộn dây dẹt
- (2) Nam châm

#### Phần động

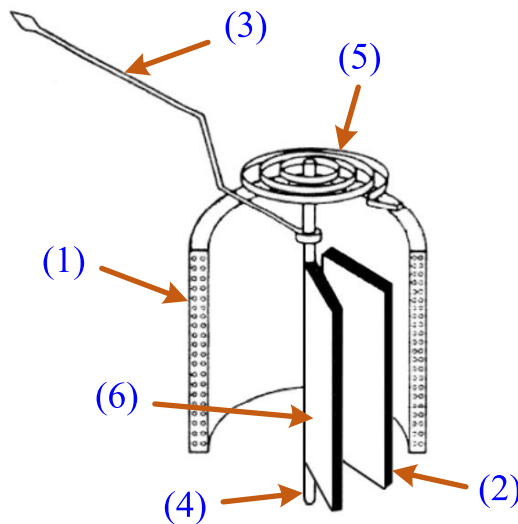
- (3) Kim chỉ thị
- (4) Trục quay
- (5) Lò xo xoắn ốc
- (6) Miếng sắt động
- (7) Lá đệm

**Hình 2.4:** Cơ cấu điện từ loại hút

Phần tĩnh là cuộn dây dẹt. Phần động là một miếng sắt đặt lệch tâm (miếng sắt động) có thể quay trong khe hở của cuộn dây. Trên trục còn gắn thêm một lá đệm, kết hợp với nam châm tạo thành bộ phận cản dộ cho cơ cấu đo. Bộ phận cản dộ giúp kim chỉ thị nhanh chóng ổn định để người thực hiện phép đo có thể quan sát được kết quả. Lá đệm được làm

bằng nhôm nên có thể xem như một vòng ngắn mạch. Khi lá đệm chuyển động, từ thông gửi qua lá đệm biến thiên làm phát sinh dòng điện cảm ứng. Dòng điện cảm ứng này sẽ có chiều sao cho từ thông mà nó sinh ra chống lại sự biến thiên của từ thông đã sinh ra nó, do vậy nó có tác dụng ngăn cản dao động của lá đệm. Phương pháp cản dọi dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ tạo ra lực cản khá mạnh nên được ứng dụng phổ biến.

- **Cơ cấu điện từ loại dầy**



*Phần tĩnh*

- (1) Cuộn dây tròn
- (2) Miếng sắt cố định

*Phần động*

- (3) Kim chỉ thị
- (4) Trục quay
- (5) Lò xo xoắn ốc
- (6) Miếng sắt động

**Hình 2.5: Cơ cấu điện từ loại dầy**

Phần tĩnh là cuộn dây tròn, bên trong gắn thêm một miếng sắt cố định. Phần động là trục quay có gắn miếng sắt động, kim chỉ thị và lò xo xoắn.

Cơ cấu đo kiểu điện từ chịu ảnh hưởng nhiều bởi từ trường ngoài khiến cho kết quả đo kém chính xác, để hạn chế điều này, người ta dùng một màn chắn từ bằng thép dày khoảng 0,2mm để bao bọc cơ cấu.

### 2.2.2.2 Nguyên lý hoạt động và phương trình đặc tính thang đo

Một cách đơn giản ta có thể hiểu cơ cấu điện từ như một nam châm điện hút một lõi sắt từ có gắn kim chỉ thị. Khi cho dòng điện một chiều (DC) hoặc xoay chiều (AC) đi vào cuộn dây cố định, trong lòng cuộn dây xuất hiện từ trường.

Đối với cuộn dây dẹt, từ trường này sẽ từ hóa miếng sắt động và hút nó vào trong lòng khiến cho trục quay và kim chỉ thị quay theo. Khi từ trường càng lớn thì góc quay cũng càng lớn. Như vậy dòng điện của đại lượng cần đo sẽ không đi vào phần quay như trong cơ cấu từ điện mà vào phần đứng yên.



Đối với cuộn dây tròn, từ trường do dòng điện sinh ra sẽ từ hóa hai miếng sắt cố định và miếng sắt động. Do hai miếng sắt này từ hóa cùng cực tính nên chúng sẽ đẩy nhau, nhưng vì miếng sắt tĩnh đứng yên nên miếng sắt động di chuyển và tạo Momen làm quay kim chỉ thị. Cả hai trường hợp trên sẽ làm cho phần động quay đi một góc  $\alpha$  với Momen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} \quad (2.9)$$

$W_e$  : năng lượng điện từ trường, tích lũy ở cuộn dây.

$$W_e = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad (2.10)$$

$L$  : điện cảm, phụ thuộc vào vị trí của lá sắt từ, tức là giá trị của góc quay  $\alpha$

Vậy Momen quay của cuộn dây là:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} \quad (2.11)$$

Đối với dòng điện xoay chiều vào cuộn dây. Giả sử  $i(t) = I_m \sin \omega t$ . Lúc đó, Momen quay của cuộn dây là:

$$M_q(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\alpha} \cdot I_m^2 \sin^2 \omega t \quad (2.12)$$

Do phần động có quán tính mà không kịp thay đổi theo giá trị tức thời cho nên thực tế lấy theo giá trị trung bình trong một chu kỳ. Momen quay là:

$$M_q = \frac{1}{T} \int_0^T M_q(t) dt = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\alpha} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2(\omega t) dt \quad (2.13)$$

$$M_q = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\alpha} \cdot I^2 \quad (2.14)$$

$I$  : giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều đi vào cuộn dây tròn.

Khi cuộn dây dịch chuyển, lò xo xoắn ốc tạo ra Momen cản ( $M_c$ ).

$$M_c = K_c \cdot \alpha \quad (2.15)$$

$K_c$  : hệ số cản của lò xo, phụ thuộc vào tính chất đàn hồi của vật liệu chế tạo lò xo cũng như kích thước hình dạng của nó.

$\alpha$  : góc lệch của kim chỉ thị, hay góc xoắn của lò xo.

Khi  $M_c = M_q$  thì kim chỉ thị đứng yên.

---

$$\alpha = \frac{1}{2K_c} \cdot \frac{dL}{d\alpha} \cdot I^2 \quad (2.16)$$

Đặt  $\frac{1}{2K_c} \cdot \frac{dL}{d\alpha} = K_I$  là hệ số tỉ lệ dòng điện, suy ra:

$$\alpha = K_I \cdot I^2 \quad (2.17)$$

Vậy góc quay của kim chỉ thị tỉ lệ với bình phương dòng điện vào cuộn dây.

### 2.2.2.3 Đặc điểm và ứng dụng của cơ cấu điện từ

- Ưu điểm:
  - Cấu tạo đơn giản, giá thành rẻ, công nghệ chế tạo không phức tạp. Đây cũng chính là ưu điểm nổi bật của cơ cấu này.
  - Khả năng chịu quá tải cao hơn cơ cấu từ điện do cuộn dây nằm ở phần tĩnh nên có thể quấn các cỡ dây lớn.
  - Đo được cả dòng điện một chiều và xoay chiều mà không cần đến bộ chỉnh lưu như cơ cấu từ điện.
- Khuyết điểm:
  - Cấu tạo đơn giản, giá thành rẻ, công nghệ chế tạo không phức tạp. Đây cũng chính là ưu điểm nổi bật của cơ cấu này
  - Góc quay của kim chỉ thị phụ thuộc phi tuyến vào dòng điện, nên thang đo có vạch chia không đều.
  - Từ trường của cuộn dây do chính dòng điện cần đo tạo ra nên thường yếu khiến độ nhạy của chỉ thị kém dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài.
  - Năng lượng tiêu hao của cơ cấu điện từ lớn hơn cơ cấu từ điện, công suất này khoảng  $0,5 \div 20W$ .
  - Do có tổn hao sắt từ và hiện tượng từ trễ nên cơ cấu điện từ mắc sai số lớn hơn khiến cho cấp chính xác không cao.
  - Điện kháng cuộn dây tăng theo tần số  $f$  nên cơ cấu không được dùng để đo dòng điện có tần số thay đổi lớn thường chỉ dưới vài chục Hz. Ngoài ra ảnh hưởng của dòng điện xoáy trên miếng sắt di động tăng khi tần số tín hiệu tăng.
  - Được dùng chủ yếu trong lĩnh vực điện công nghiệp với cấp chính xác thấp.

- Ứng dụng:
  - Chủ yếu dùng trong thiết bị đo dòng, áp xoay chiều tần số công nghiệp.



(a) Vôn kế



(b) Ampe kế

**Hình 2.6:** Thiết bị đo chỉ thị kim dùng cơ cấu điện từ

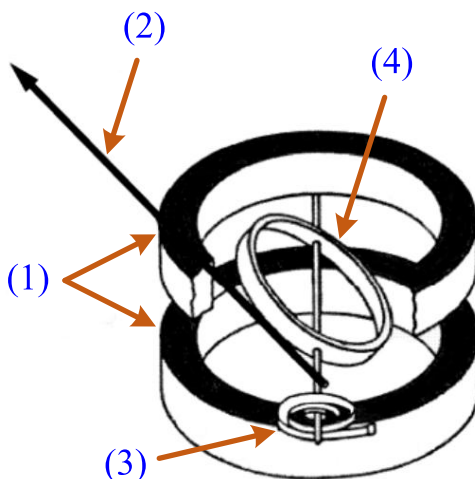
### 2.2.3 Cơ cấu điện động

Là sự kết hợp giữa cơ cấu từ điện (khung dây mang kim chỉ thị) và cơ cấu điện từ (cuộn dây cố định tạo từ trường cho khung dây)

#### 2.2.3.1 Cấu tạo

Cơ cấu điện động gồm cuộn dây cố định và cuộn dây di động (khung dây).

- **Cơ cấu điện động**



*Phần tĩnh*

(1) Cuộn dây cố định

*Phần động*

(2) Kim chỉ thị

(3) Lò xo xoắn ốc

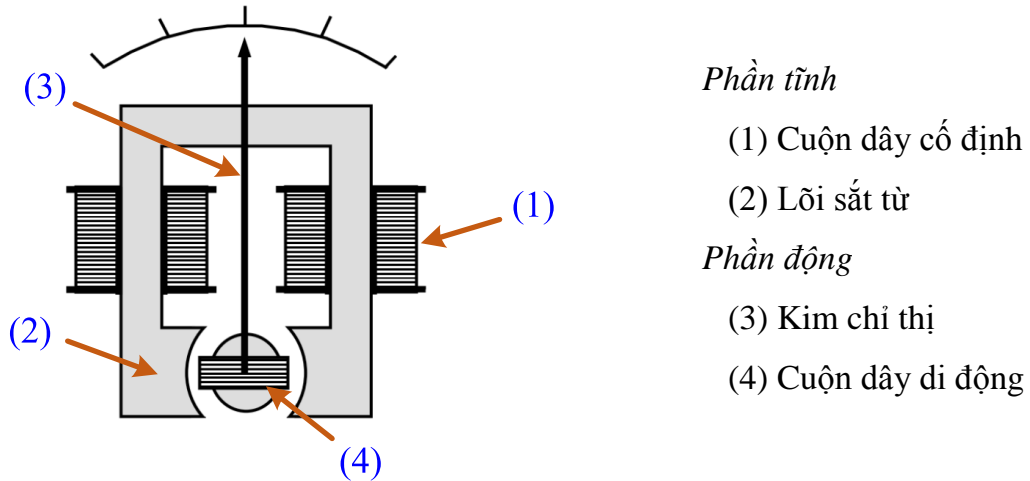
(4) Cuộn dây di động

**Hình 2.7:** Cơ cấu điện động

Cuộn dây cố định được chia thành hai phần bằng nhau và được mắc nối tiếp, đặt cách nhau không xa để tạo ra từ trường đều. Cuộn dây di động được đặt trong lòng cuộn dây tĩnh nên chịu ảnh hưởng bởi từ trường của cuộn dây cố định. Cuộn dây di động không có lõi sắt non nên tránh được hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy. Trên trục phần quay có gắn

kim chỉ thị và hai lò xo xoắn để tạo Momen cân. Trục quay làm nhiệm vụ đỡ và dẫn điện từ ngoài vào phần quay. Cuộn dây phần tĩnh có thể được quấn với kích cỡ lớn, còn cuộn dây ở phần động có cỡ dây nhỏ.

- **Cơ cấu sắt điện động**



**Hình 2.8:** Cơ cấu sắt điện động

Nếu cuộn dây cố định được quấn trên lõi sắt từ thì ta có cơ cấu sắt điện động. Cấu tạo của cơ cấu sắt điện động gồm các cuộn dây phần tĩnh quấn trên lõi sắt. Lõi sắt có tác dụng tăng từ trường ở phần tĩnh và tạo nên từ trường đều ở khu vực cuộn dây động, đồng thời có tác dụng như một màn chắn từ làm giảm ảnh hưởng của từ trường ngoài. Trong lòng cuộn dây di động cũng có lõi sắt hình trụ, để giảm từ trở giữa các cực từ và do đó làm tăng mật độ từ thông qua khe hở không khí. Nguyên lý làm việc của cơ cấu sắt điện động tương tự như cơ cấu điện động. Nhờ có lõi sắt mà cơ cấu sắt điện động nhạy hơn, ít ảnh hưởng bởi từ trường ngoài, không cần chế tạo bằng vật liệu quý giá nên giá thành cũng rẻ hơn loại cơ cấu điện động. Nhưng cũng vì có lõi sắt mà tổn hao sắt từ và hiện tượng từ trễ xuất hiện khiến cho độ chính xác thấp hơn.

### 2.2.3.2 Nguyên lý hoạt động và phương trình đặc tính thang đo

Điểm khác biệt cơ bản so với các dụng cụ đo khác là dòng điện của đại lượng cần đo được đưa vào cả phần động và phần tĩnh của cơ cấu điện động để tạo nên hai từ trường đẩy nhau sinh ra Momen quay.

Khi có dòng điện  $i_1$ ,  $i_2$  (một chiều hoặc xoay chiều) đi vào các cuộn dây phần tĩnh và động, trong lòng cuộn dây cố định xuất hiện từ trường (thay thế cho từ trường nam châm

vĩnh cửu) từ trường này tác động lên dòng điện chạy trong cuộn dây động và tạo ra Momen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} \quad (2.18)$$

Xét khi cho các dòng điện một chiều  $I_1$  và  $I_2$  vào các cuộn dây. Năng lượng từ trường tích lũy trong lòng cuộn dây là:

$$W_e = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M_{12} I_1 I_2 \quad (2.19)$$

Trong đó  $L_1, L_2$  là điện cảm của các cuộn dây và không phụ thuộc vào góc quay  $\alpha$ ;  $M_{12}$  là hệ cảm của hai cuộn dây, thay đổi khi phần động quay. Momen quay là:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \quad (2.20)$$

Xét khi hai dòng điện đưa vào các cuộn dây là dòng điện xoay chiều thì:

$$M_q(t) = \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot i_1 \cdot i_2 \quad (2.21)$$

Giả sử  $i_1(t) = I_{1m} \sin \omega t$  và  $i_2(t) = I_{2m} \sin(\omega t - \varphi)$

Do phần động có quán tính mà không kịp thay đổi theo giá trị tức thời cho nên thực tế lấy theo giá trị trung bình trong một chu kỳ:

$$M_q = \frac{1}{T} \int_0^T M_q(t) dt \quad (2.22)$$

$$\Leftrightarrow M_q = \frac{1}{T} \int_0^T i_1(t) \cdot i_2(t) \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} dt = \frac{1}{T} \int_0^T I_{1m} \sin \omega t \cdot I_{2m} \sin(\omega t - \varphi) \frac{dM_{12}}{d\alpha} dt \quad (2.23)$$

$$\Leftrightarrow M_q = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi \quad (2.24)$$

Với  $\varphi$  là góc lệch pha giữa hai dòng điện.  $I_1, I_2$  là các giá trị hiệu dụng của dòng điện lần lượt chạy trong các cuộn dây tĩnh và động.

Khi khung dây dịch chuyển, lò xo xoắn ốc tạo ra Momen cản ( $M_c$ ).

$$M_c = K_c \alpha \quad (2.25)$$

$M_c$  : Momen cản của lò xo.

$K_c$  : hệ số cản của lò xo, phụ thuộc vào tính chất đàn hồi của vật liệu chế tạo lò xo cũng như kích thước hình dạng của nó.

---

Khi  $M_c = M_q$  thì kim chỉ thị đứng yên.

$$K_c \alpha = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi \quad (2.26)$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{K_c} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi \quad (2.27)$$

Đặt  $\frac{1}{K_c} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha} = K_I$  là hệ số tỉ lệ dòng điện, suy ra:

$$\boxed{\alpha = K_I \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi} \quad (2.28)$$

Tóm lại, khi cho dòng điện  $i_1$  đi vào hai nửa cuộn dây tĩnh và  $i_2$  đi vào cuộn dây động thì Momen quay sẽ tỉ lệ với dòng điện của cả cuộn dây tĩnh và cuộn dây động. Nếu cho cùng một dòng điện  $i$  đi vào cả hai cuộn dây thì Momen quay sẽ tỉ lệ với bình phương cường độ dòng điện. Khi dòng điện là một chiều thì góc quay tỉ lệ với bình phương cường độ dòng điện cần đo ( $\alpha = K_I \cdot I_1 \cdot I_2$ ), đối với dòng điện xoay chiều thì cần thêm góc lệch pha giữa hai dòng điện đi vào hai cuộn dây ( $\alpha = K_I \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$ ).

### 2.2.3.3 Đặc điểm và ứng dụng của cơ cấu điện động

- Ưu điểm:
    - Cấu tạo đơn giản, giá thành rẻ, công nghệ chế tạo không phức tạp. Đây cũng chính là ưu điểm nổi bật của cơ cấu này.
    - Cấp chính xác khá cao ( $k = 0,05 \div 0,1$ ) vì không sử dụng lõi sắt từ gây tổn hao sắt từ và hiện tượng từ trễ. Đây cũng chính là ưu điểm nổi bật của cơ cấu này.
    - Khả năng quá tải về dòng lớn hơn cơ cấu từ điện vì có tiết diện dây lớn.
    - Đo được cả dòng điện một chiều và xoay chiều mà không cần đến bộ chỉnh lưu như cơ cấu từ điện.
    - Được sử dụng để chế tạo dụng cụ đo dòng điện, điện áp, đặc biệt là dụng cụ đo công suất.
  - Khuyết điểm:
    - Góc quay của kim chỉ thị phụ thuộc phi tuyến vào dòng điện nên vạch chia của thang đo không đều.
    - Từ trường cuộn dây tĩnh yếu nên độ nhạy của cơ cấu kém dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường ngoài.
-

- Cơ cấu điện động tiêu hao năng lượng lớn hơn cơ cấu từ điện, công suất này khoảng  $18 \div 20W$ .
- Chỉ được dùng trong lĩnh vực điện công nghiệp, dụng cụ tự ghi.
- Ứng dụng:
  - Chế tạo các đồng hồ đo dòng, áp xoay chiều có tần số cao hoặc yêu cầu độ chính xác cao.
  - Chủ yếu chế tạo đồng hồ đo công suất tác dụng và phản kháng.



(a) Watt kế

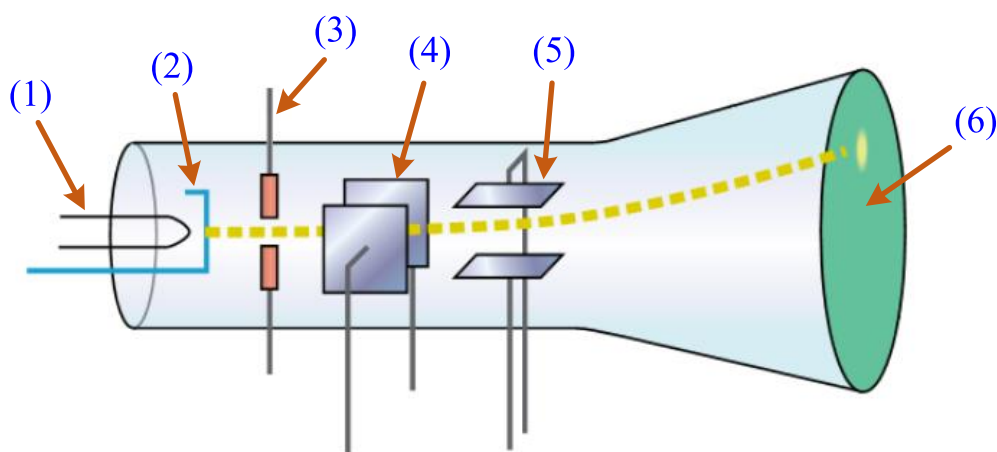


(b) Var kế

**Hình 2.9:** Thiết bị đo chỉ thị kim dùng cơ cấu điện động

### 2.3 Cơ cấu chỉ thị tự ghi

Cơ cấu chỉ thị tự ghi là cơ cấu sử dụng ống tia âm cực (CRT: Cathode Rays Tube) để ghi lại dạng tín hiệu cần đo. Ống tia âm cực có cấu tạo gồm súng phóng điện tử và màn phát quang, tất cả đặt trong một bầu thủy tinh đã được rút chân không. Anode và Cathode



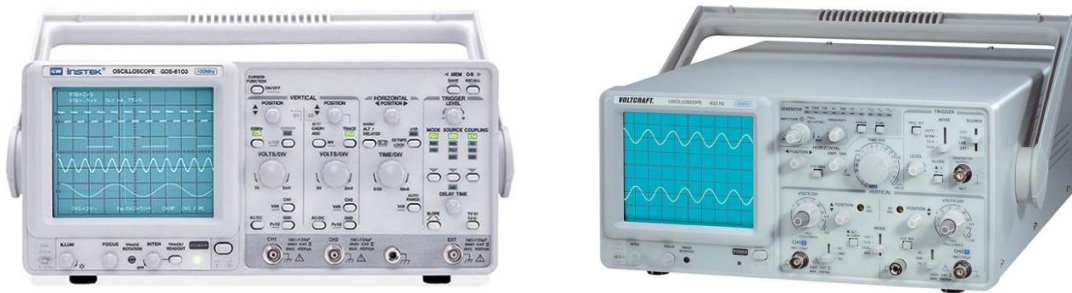
**Hình 2.10:** Nguyên lý cấu tạo của ống tia âm cực.

(1) Tim đèn; (2) Cathode; (3) Anode; (4) Tấm lệch ngang;

(5) Tấm lệch dọc; (6) Màn phát quang.

Điện áp xoay chiều khoảng 6,3V cấp cho tim đèn để nung nóng Cathode phát xạ ra điện tử (electron). Chùm tia điện tử xuất phát từ súng được gia tốc bởi cao áp dương đặt ở Anode, điện tử sẽ bay đến đập vào màn phát quang của đèn và tạo ra điểm sáng.

Điện trường quét được tạo ra bằng cách đặt điện áp răng cưa lên tấm lệch ngang (hai bản cực X), tín hiệu cần biểu diễn trên màn hình sẽ đặt vào tấm lệch dọc (hai bản cực Y) bằng kim loại ở bên trong đèn để lái chùm tia theo chiều dọc. Điện trường này sẽ tạo ra lực tác dụng tổng hợp lên chùm tia điện tử đi ngang qua nó quét lên màn phát quang tạo ra các điểm sáng trên màn hình. Phương pháp này được sử dụng trong hệ thống quét của dao động ký tương tự (CRO: Cathode Ray Oscilloscope).



Hình 2.11: Dao động ký tương tự

## 2.4 Cơ cấu chỉ thị số

### 2.4.1 Cơ cấu điện tử chỉ thị bằng diode phát quang (LED)

Ký hiệu LED:



Hình 2.12: Ký hiệu đèn LED

Điốt phát quang (LED: Light Emitting Diode) nghĩa là khi có dòng điện chạy qua linh kiện sẽ phát ra ánh sáng. Led là linh kiện điện tử được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như quang báo, hiển thị, thông tin quang...

Ánh sáng do Led phát ra phụ thuộc vào vật liệu chế tạo mà không cần đến kính lọc. Led chỉ có thể ở một trong hai trạng thái sáng hoặc tắt. Trong thực tế Led có vỏ bọc bên ngoài mang màu sắc giống với màu sắc do Led phát ra, điều này chỉ nhằm giúp cho người



sử dụng dễ dàng nhận biết các loại Led phát màu sắc khác nhau mà không cần đến nguồn điện để thử.

Led có ưu điểm nổi bật là tuổi thọ cao, công suất tiêu tán nhỏ, thích hợp với các mạch logic... Khi sử dụng Led cần chú ý đến yếu tố nhiệt độ môi trường xung quanh ảnh hưởng đến cường độ chiếu sáng, khi nhiệt độ môi trường tăng lên cường độ sáng của Led sẽ giảm đi.

Thực chất Led cũng là diode bán dẫn nên nó mang các đặc tính và giới hạn của diode tiếp xúc P-N thông thường. Điện áp phân cực thuận cho Led khoảng 1,2V đến 2,5V tùy vào vật liệu bán dẫn. Điện trở động khoảng từ vài Ohm đến vào chục Ohm. Điện áp đánh thủng khi phân cực ngược khá nhỏ khoảng 5V. Led được chế tạo với nhiều loại mang màu khác nhau như đỏ, xanh, vàng, cam... Khi sử dụng phải chú ý đến điện áp phân cực thuận cho từng loại Led để lựa chọn điện trở mắc nối tiếp với Led.

Điện áp phân cực cho LED	
Led màu đỏ	1,6V - 2V
Led màu cam	2,2V - 3V
Led màu xanh lá cây	2,7V - 3,2V
Led màu vàng	2,4V - 3,2V
Led màu xanh da trời	3V - 5V

**Bảng 2.2:** Điện áp phân cực cho LED

Thông thường khi tính toán phân cực cho Led, người ta chọn điện trở mắc nối tiếp với Led sao cho dòng điện chạy qua Led khoảng 10mA và điện áp rơi trên Led khoảng 2V. Led có hai chân Anode và Cathode, chân Cathode thường ngắn hơn, nằm ở phía vỏ bị vát phẳng góc, điện cực Cathode lớn hơn.

Để việc điều khiển và hiển thị được dễ dàng hơn, các Led thường ghép với nhau thành hình số 8 và đóng thành một khối gọi là Led 7 đoạn. Mỗi đoạn thẳng được tạo thành từ một hoặc nhiều Led đơn mắc song song. Khi cần hiển thị con số từ 0 đến 9, người ta điều khiển các đoạn tương ứng phát sáng để tạo thành hình con số mong muốn. Led 7 đoạn được sử dụng nhiều trong việc hiển thị, đặc biệt trong lĩnh vực đo lường điện tử. Đại lượng cần đo sau khi được mạch xử lý chuyển đổi thành tín hiệu số sẽ qua mạch giải mã kích các Led 7 đoạn phát sáng thành hình những con số để thể hiện kết quả đo được.



(a) Vôn kế điện tử



(b) Tần số kế điện tử

**Hình 2.13:** Thiết bị đo hiển thị LED

#### 2.4.2 Cơ cấu điện tử chỉ thị bằng tinh thể lỏng (LCD)

Màn hiển thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display) là loại thiết bị hiển thị cấu tạo bởi các tế bào (các điểm ảnh) chứa tinh thể lỏng có khả năng thay đổi tính phân cực của ánh sáng và do đó thay đổi cường độ ánh sáng truyền qua khi kết hợp với các kính lọc phân cực.

Màn hình LCD hiển thị màu sắc được là bởi những điểm ảnh chứa tinh thể lỏng có thể thay đổi màu sắc cũng như cường độ ánh sáng. Những điểm này hiển thị màu sắc theo quy tắc phối màu phát xạ từ 3 gam màu chính là đỏ, lục và lam. Nghĩa là những điểm ảnh sẽ tắt hoặc bật 3 màu này để tạo ra một điểm màu, khi tập hợp nhiều điểm màu thì cho ra một hình ảnh hiển thị trên màn hình LCD. Vì mật độ điểm ảnh trên LCD rất thấp nên khi đưa màn hình ra ngoài ánh sáng mặt trời thì màu sắc hiển thị rất kém cũng như dễ nhìn thấy các hoạt điểm ảnh trên màn hình, do vậy mà nó có giá khá rẻ. Từ màn hình LCD các nhà sản xuất đã phát triển thành các loại màn hình có chất lượng và cấu hình cao hơn như: TFT-LCD, IPS LCD, LED-backlit, IPS LCD...

Màn hình LCD mỏng hơn nhiều so với công nghệ ống tia âm cực (CRT) và tiêu thụ ít năng lượng hơn so với màn hình LED.



(a) Đồng hồ vạn năng



(b) Dao động ký

Hình 2.14: Thiết bị đo hiển thị LCD

## 2.5. Bài tập chương 2

### A – Phần trắc nghiệm

**Câu 1:** Cơ cấu chỉ thị từ điện hoạt động đối với dòng:

- A. Một chiều
- B. Xoay chiều
- C. Dạng bất kỳ
- D. Tất cả đều đúng

**Câu 2:** Cơ cấu chỉ thị điện từ hoạt động đối với dòng:

- A. Một chiều
- B. Xoay chiều
- C. Không đổi
- D. Cả một chiều và xoay chiều

**Câu 3:** Cơ cấu chỉ thị điện động hoạt động đối với dòng:

- A. Một chiều
- B. Xoay chiều
- C. Thay đổi
- D. Cả một chiều và xoay chiều

**Câu 4:** Cơ cấu chỉ thị nào hoạt động đối với dòng xoay chiều:

- A. Từ điện, điện từ
- B. Từ điện, điện động
- C. Điện từ, điện động
- D. Tất cả đều đúng

**Câu 5:** Đối với cơ cấu từ điện, khi dòng điện ngõ vào tăng gấp đôi thì góc quay:

- A. Giảm một nửa
- B. Tăng gấp đôi
- C. Tăng 4 lần
- D. Giảm 4 lần

**Câu 6:** Đối với cơ cấu điện từ, khi dòng điện ngõ vào tăng gấp đôi thì góc quay:

- A. Giảm một nửa
- B. Tăng gấp đôi
- C. Tăng 4 lần
- D. Giảm 4 lần

**Câu 7:** Bộ phận chính tạo ra từ trường ở cơ cấu đo từ điện là:

- A. Nam châm điện
- B. Nam châm vĩnh cửu
- C. Cuộn dây cố định
- D. Cuộn dây di động

**Câu 8:** Cấu tạo chính của cơ cấu đo điện động bao gồm:

- A. Nam châm vĩnh cửu và khung dây quay
- B. Cuộn dây cố định và cuộn dây di động
- C. Nam châm vĩnh cửu và cuộn dây động
- D. Cuộn dây cố định và nam châm vĩnh cửu

**Câu 9:** Quan hệ giữa đại lượng ngõ vào và đại lượng ngõ ra của cơ cấu đo điện từ có dạng:

- A.  $\alpha = K_I \cdot I$
- B.  $\alpha = K_I \cdot I^2$
- C.  $\alpha = K_I \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$
- D.  $\alpha = K_I \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

**Câu 10:** Quan hệ giữa đại lượng ngõ vào và đại lượng ngõ ra của cơ cấu đo điện động có dạng:

- A.  $\alpha = K_I \cdot I$
- B.  $\alpha = K_I \cdot I^2$
- C.  $\alpha = K_I \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$
- D.  $\alpha = K_I \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$

**Câu 11:** Đối với cơ cấu đo từ điện, khi diện tích khung quay tăng 1,5 lần thì momen quay:

- A. Không thay đổi
- B. Tăng 2,25 lần
- C. Giảm 1,5 lần
- D. Tăng 1,5 lần

**Câu 12:** Đối với cơ cấu đo từ điện, khi số vòng dây tăng gấp đôi thì momen quay:

- A. Không thay đổi
- B. Tăng gấp đôi
- C. Giảm một nửa
- D. Tăng gấp 4 lần

**Câu 13:** Ưu điểm của cơ cấu chỉ thị từ điện là:

- A. Khả năng chịu được quá tải tốt
- B. Sử dụng được với dòng một chiều và xoay chiều
- C. Thang đo chia đều
- D. Chịu được va đập

**Câu 14:** Ưu điểm của cơ cấu chỉ thị điện từ là:

- A. Chịu sự quá tải cao, dễ chế tạo
- B. Tiêu thụ công suất bé, độ chính xác cao
- C. Ảnh hưởng của từ trường bên ngoài bé
- D. Tất cả đều sai

**Câu 15:** Ưu điểm của cơ cấu chỉ thị điện động là:

- A. Có độ chính xác cao
- B. Ảnh hưởng của từ trường bên ngoài bé
- C. Độ nhạy cao
- D. Tiêu thụ công suất bé

**Câu 16:** Nhược điểm của cơ cấu chỉ thị từ điện là:

- A. Khả năng chịu quá tải kém
- B. Chỉ sử dụng dòng một chiều
- C. Dễ hư hỏng
- D. Tất cả đều đúng

**Câu 17:** Nhược điểm của cơ cấu chỉ thị điện từ là:

- A. Tiêu thụ công suất lớn
- B. Ảnh hưởng của từ trường bên ngoài lớn
- C. Kém chính xác, thang đo không đều
- D. Tất cả đều đúng

**Câu 18:** Nhược điểm của cơ cấu chỉ thị điện động là:

- A. Tiêu thụ công suất lớn, độ nhạy thấp
- B. Ảnh hưởng của từ trường bên ngoài lớn
- C. Thang đo không đều
- D. Tất cả đều đúng

### **B – Phần tự luận**

**Câu 1:** Vẽ hình và trình bày cấu tạo cơ cấu từ điện?

**Câu 2:** Trình bày nguyên lý hoạt động của cơ cấu từ điện? Phương trình đặc tính thang đo như thế nào, có nhận xét gì?

**Câu 3:** Trình bày những đặc điểm của cơ cấu từ điện?

**Câu 4:** Vẽ hình và trình bày cấu tạo cơ cấu điện từ?

**Câu 5:** Trình bày nguyên lý hoạt động của cơ cấu điện từ? Phương trình đặc tính thang đo như thế nào, có nhận xét gì?

**Câu 6:** Trình bày những đặc điểm của cơ cấu điện từ?

**Câu 7:** Vẽ hình và trình bày cấu tạo cơ cấu điện động?

**Câu 8:** Trình bày nguyên lý hoạt động của cơ cấu điện động? Phương trình đặc tính thang đo như thế nào, có nhận xét gì?

**Câu 9:** Trình bày những đặc điểm của cơ cấu điện động?

**Câu 10:** Hãy so sánh ưu điểm và khuyết điểm giữa cơ cấu từ điện và cơ cấu điện từ?

**Câu 11:** Hãy so sánh ưu điểm và khuyết điểm giữa cơ cấu từ điện và cơ cấu điện động?

**Câu 12:** Hãy so sánh ưu điểm, khuyết điểm giữa cơ cấu điện động và cơ cấu điện từ?

**Câu 13:** Trình bày ưu điểm và khuyết điểm của cơ cấu điện từ chỉ thị bằng tinh thể lỏng?



## CHƯƠNG 3

### ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP

---

---

Sau khi học xong chương 3, sinh viên đạt được kiến thức và kỹ năng sau:

Trình bày được nguyên lý đo dòng điện, điện áp một chiều và xoay chiều. Tính được sai số của phép đo khi sử dụng Ampe kế, Vôn kế. Tính được dòng điện, điện trở để mở rộng tầm đo.

#### 3.1 Đo dòng điện một chiều (DC) và xoay chiều (AC)

##### 3.1.1 Đặc điểm, yêu cầu đối với dụng cụ đo

Dụng cụ đo dòng điện gọi là Ampe kế hay Ampemet

*Phân loại:*

Theo kết cấu: Ampe kế từ điện, Ampe kế điện từ, Ampe kế điện động,...

Theo chỉ thị: Ampe kế chỉ thị kim, Ampe kế chỉ thị số.

Theo tính chất đại lượng đo: Ampe kế một chiều (DC), Ampe kế xoay chiều (AC).

*Ký hiệu:*

Ampe kế DC:

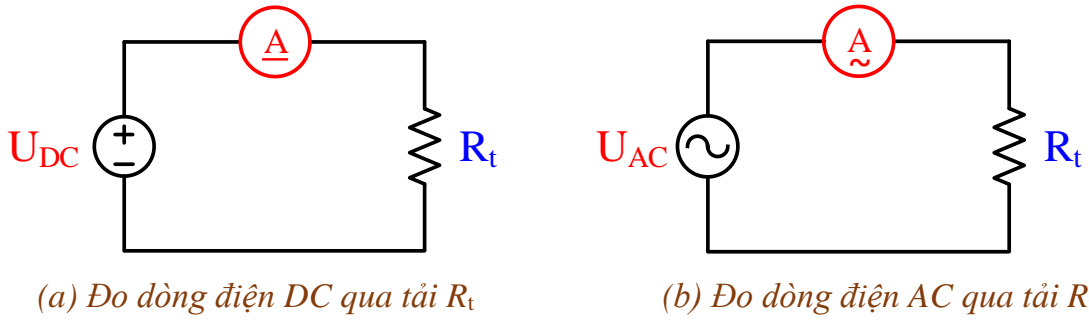


Ampe kế AC:



##### **Yêu cầu đối với dụng cụ đo dòng điện:**

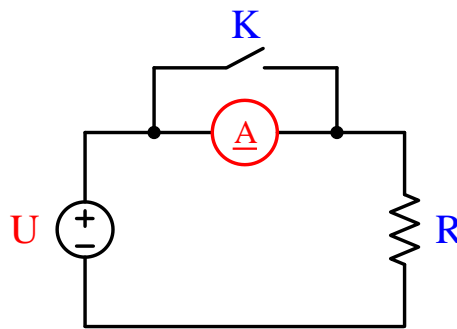
- + Mắc Ampe kế nối tiếp với nhánh cần đo dòng.
- + Điện trở nội của Ampe kế phải nhỏ, lý tưởng là bằng 0.
- + Làm việc trong một dải tần cho trước để đảm bảo cấp chính xác của dụng cụ đo.
- + Khi dòng điện cần đo lớn, ta phải mở rộng thang đo cho Ampe kế.



**Hình 3.1:** Đo dòng điện qua tải  $R_t$  bằng Ampe kế

### 3.1.2 Ảnh hưởng của Ampe kế trong mạch đo

Khi mắc Ampe kế vào mạch điện, Ampe kế sẽ tiêu thụ một phần điện năng nên gây ra sai số trong quá trình đo. Mạch điện kiểm tra ảnh hưởng của Ampe kế được mắc như hình 3.2.



**Hình 3.2:** Mạch kiểm tra ảnh hưởng của Ampe kế

Gọi:  $I$  là dòng điện qua phụ tải khi chưa mắc Ampe kế (khi khóa K đóng)

$I_A$  là dòng điện qua phụ tải khi mắc Ampe kế (khi khóa K mở)

$R_A$  là nội trở của Ampe kế

$R$  là điện trở của phụ tải

$U$  là điện áp nguồn cung cấp cho mạch điện

Khi chưa mắc Ampe kế vào mạch (K đóng), dòng điện qua tải là:

$$I = \frac{U}{R} \quad (3.1)$$

Khi mắc Ampe kế vào mạch (K mở), dòng điện qua tải là:

$$I_A = \frac{U}{R_A + R} \quad (3.2)$$

Sai số tương đối do Ampe kế gây ra là:



$$\delta_I = \frac{|I - I_A|}{I} \cdot 100 = \frac{R_A}{R_A + R} \cdot 100 \quad (3.3)$$

Công suất tiêu hao trên Ampe kế:

$$\Delta P = I_A^2 \cdot R_A \quad (3.4)$$

Để công suất tiêu hao trên Ampe kế nhỏ, thì nội trở của Ampe kế phải rất nhỏ (càng nhỏ càng tốt).

**Ví dụ 3.1:** Cho mạch điện kiểm tra ảnh hưởng của Ampe kế như hình 3.2. Biết điện áp nguồn là 12V, Ampe kế có nội trở là  $50\Omega$ , điện trở tải có giá trị  $R = 1k\Omega$ . Tính dòng điện qua tải khi khóa K mở và sai số của phép đo.

**Giải :**

Dòng điện qua điện trở tải khi khóa K đóng (không có Ampe kế trong mạch)

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{1000} = 0,012 = 12mA$$

Dòng điện qua tải khi khóa K mở (có Ampe kế trong mạch)

$$I_A = \frac{U}{R_A + R} = \frac{12}{1050} = 0,01143 = 11,43mA$$

Sai số tương đối của phép đo:

$$\delta_I = \frac{|I - I_A|}{I} \cdot 100 = \frac{|12 - 11,43|}{12} \cdot 100 = 4,75\%$$

**Ví dụ 3.2:** Cho mạch điện kiểm tra ảnh hưởng của Ampe kế như hình 3.2. Biết điện áp nguồn là 12V, Ampe kế có nội trở là  $10\Omega$ , điện trở tải có giá trị  $R = 5\Omega$ . Tính dòng điện qua tải khi khóa K mở và sai số của phép đo.

**Giải :**

Dòng điện qua điện trở tải khi khóa K đóng (không có Ampe kế trong mạch)

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{5} = 2,4A$$

Dòng điện qua tải khi khóa K mở (có Ampe kế trong mạch)

$$I_A = \frac{U}{R_A + R} = \frac{12}{15} = 0,8A$$

Sai số tương đối của phép đo:

$$\delta_I = \frac{|I - I_A|}{I} \cdot 100 = \frac{|2,4 - 0,8|}{2,4} \cdot 100 = 66,67\%$$

*Kết luận:*

Sai số phép đo chủ yếu do nội trở Ampe kế, nếu điện trở cần đo có giá trị nhỏ hơn nội trở của Ampe kế thì kết quả đo sẽ có sai số lớn.

### 3.1.3 Đo dòng điện một chiều (DC)

- **Ampe kế từ điện**

Trong các cơ cấu đo cơ điện đã đề cập (từ điện, điện từ, điện động), cơ cấu đo từ điện thường được dùng làm bộ chỉ thị trong Ampe kế DC vì độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng điện qua với độ chính xác cao và thang đo chia đều dễ quan sát.

Khung dây của cơ cấu đo từ điện được quấn bằng dây đồng có đường kính từ 0,03mm đến 0,2mm; số vòng dây khoảng 300 vòng nên dòng điện cho phép qua cơ cấu đo từ 50μA đến 20mA và điện trở của cơ cấu đo khoảng 20Ω đến 2kΩ.

- **Điện trở Shunt**

Trước đây, một điện trở được kết nối song song với Ampe kế để mở rộng phạm vi đo được gọi là điện trở Shunt. Nhưng trong những năm gần đây, các điện trở được sử dụng trong việc đo dòng điện (điện trở được mắc nối tiếp vào nhánh cần đo) được gọi chung là điện trở Shunt. Điện trở Shunt có tên quốc tế là Shunt Resistor hoặc Current Sensor Resistor.

Điện trở Shunt được thiết kế để sử dụng trong đo lường, vì vậy có độ chính xác cao và thường có giá trị thấp để không làm ảnh hưởng đến điện áp tải. Điện trở Shunt được chia thành hai loại:

Điện trở Shunt gắn trong: có hình dạng giống như điện trở thường hoặc có dạng lò xo và thường được nối sẵn bên trong cơ cấu đo (thường nhỏ hơn 30A).

Điện trở Shunt gắn ngoài: thường trông khác với điện trở bình thường, với bốn cực gồm hai đầu nối lớn và hai đầu nối bé. Đầu nối lớn được xem là ngõ vào, để cho dòng điện cần đo đi qua. Đầu nối bé được xem là ngõ ra, để nối với cơ cấu đo, nhằm lấy ra giá trị điện áp tương ứng với dòng điện qua điện trở. Các điện trở Shunt bốn cực cho phép đo dòng điện chính xác hơn.

---

**Ví dụ 3.3:** Điện trở Shunt 100A/100mV có nghĩa là dòng định mức 100A, và điện áp rơi trên Shunt khi có dòng 100A đi qua là 100mV. Từ đó, chúng ta có thể tính được điện trở của Shunt này là  $0,001\Omega$  và công suất tổn hao là 10W.



(a) 5A/100mV



(b) 10A/75mV



(c) 60A/60mV



(d) 500A/50mV

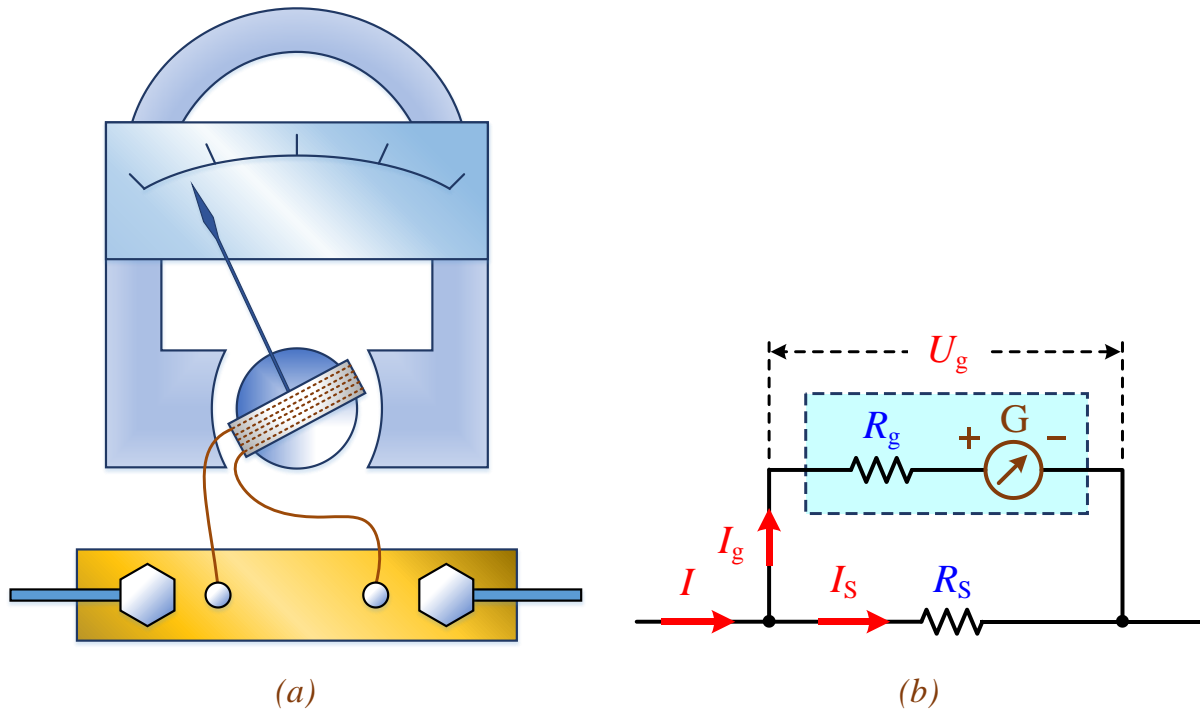
**Hình 3.3:** Một số loại điện trở Shunt

- **Mở rộng thang đo dòng dùng điện trở Shunt**

Trong quá trình đo dòng điện, đôi khi giá trị cần đo lớn hơn giới hạn cho phép của cơ cấu đo, khi đó ta phải mở rộng thang đo cho Ampe kế. Phương pháp phổ biến là dùng điện trở Shunt.

Điện trở Shunt được mắc song song với cơ cấu đo được dùng để bảo vệ cơ cấu khi mở rộng phạm vi đo. Nhờ có điện trở Shunt mà dòng điện cần đo chạy qua cơ cấu đo một phần nhỏ, còn hầu hết sẽ rẽ mạch qua điện trở Shunt. Do vậy, mặc dù dòng điện cho phép qua cơ cấu là nhỏ nhưng ta vẫn có thể dùng cơ cấu đo để đo dòng điện lớn tới vài nghìn Ampe bằng cách mắc thêm điện trở Shunt.

Để thay đổi giới hạn đo của cơ cấu đo từ điện, cần mắc điện trở Shunt ( $R_s$ ) song song với cơ cấu đo như hình 3.4.



**Hình 3.4:** Mở rộng thang đo dòng cho cơ cấu từ điện  
 (a) Cơ cấu đo từ điện mắc song song với điện trở Shunt;  
 (b) Sơ đồ mạch mở rộng thang đo

Trong đó:

- $G$  : cơ cấu chỉ thị kim
- $R_g$  : nội trở của cơ cấu chỉ thị ( $\Omega$ )
- $R_s$  : điện trở mắc nối tiếp vào nhánh cần đo ( $\Omega$ ),  $R_s \leq R_g$
- $I$  : dòng điện cần đo / dòng điện tải / dòng qua mạch đo (A)
- $I_g$  : dòng điện qua cơ cấu đo (A)
- $I_s$  : dòng điện chạy qua điện trở  $R_s$  (A)
- $U_g$  : điện áp của cơ cấu đo (V)
- $U_s$  : điện áp của điện trở  $R_s$  (V)

Từ hình 3.4(b), ta có dòng điện cần đo là:

$$I = I_g + I_s \quad (3.5)$$

Gọi  $I_{gm}$  là dòng điện lớn nhất cho phép chạy qua cơ cấu đo, cũng là dòng điện làm kim lệch hết thang đo (FSD: Full Scale Deviation) và  $U_{gm}$  là điện áp lớn nhất rơi trên cơ cấu chỉ thị (điện áp thang đo). Ta có:

$$U_{gm} = R_g \cdot I_{gm} \quad (3.6)$$

Vì điện trở Shunt mắc song song với cơ cấu đo, do đó điện áp rơi trên điện trở và cơ cấu đo là bằng nhau:

$$U_S = U_{gm} \quad (3.7)$$

$$\Leftrightarrow R_S = \frac{U_S}{I_S} = \frac{U_{gm}}{I_S} = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I - I_{gm}} \quad (3.8)$$

Gọi  $n = \frac{I}{I_{gm}}$  là hệ số mở rộng thang đo dòng (tỉ số giữa dòng điện tải và dòng điện qua

Ampe kế), ta có:

$$R_S = \frac{R_g}{n - 1} \quad (3.9)$$

Do vậy để mở rộng các thang đo dòng điện lên  $n$  lần thì điện trở Shunt cần có trị số nhỏ hơn điện trở nội của cơ cấu đo ( $n - 1$ ) lần.

**Ví dụ 3.4:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có giá trị giới hạn đo là  $10mA$ , nội trở của cơ cấu đo là  $200\Omega$ . Tính giá trị điện trở Shunt để có thang đo  $20A$ .

**Giải:**

$$R_S = \frac{U_S}{I_S} = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I - I_{gm}} = \frac{200\Omega \cdot 10mA}{20A - 10mA} = \frac{200 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{20 - 10 \cdot 10^{-3}} = 0,1\Omega$$

**Ví dụ 3.5:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có nội trở là  $99\Omega$  và dòng điện làm kim lệch tối đa là  $0,1mA$ . Dùng điện trở Shunt  $1\Omega$  để mở rộng thang đo. Tính giá trị dòng điện qua mạch đo trong các trường hợp:

- Khi kim lệch tối đa (FSD: Full Scale Deviation)
- Khi kim lệch 50% so với góc lệch cực đại (50%FSD)
- Khi kim lệch 25% so với góc lệch cực đại (25%FSD)

**Giải:**

- Dòng điện qua điện trở Shunt là:

$$I_S = \frac{U_S}{R_S} = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{R_S} = \frac{99\Omega \cdot 0,1mA}{1\Omega} = 9,9mA$$

Dòng điện qua mạch đo khi kim lệch tối đa là:

$$I = I_{gm} + I_S = 0,1 + 9,9 = 10mA$$

b. Vì độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng điện, nên khi kim lệch 50% so với góc lệch cực đại, dòng điện qua mạch đo là:

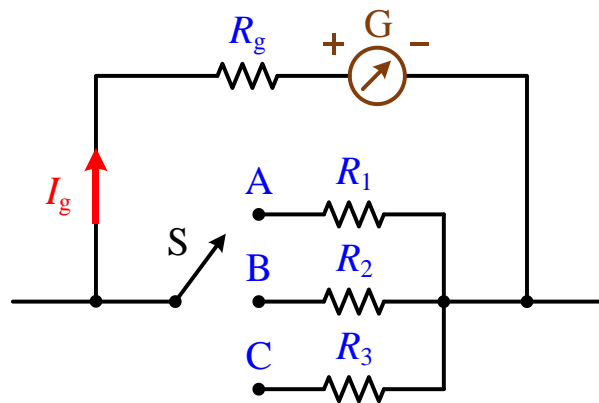
$$I' = 50\% I = \frac{I}{2} = 5mA$$

c. Vì độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng điện, nên khi kim lệch 25% so với góc lệch cực đại, dòng điện qua mạch đo là:

$$I'' = 25\% I = \frac{I}{4} = 2,5mA$$

Để có nhiều cấp đo khác nhau (nhiều thang đo), ta có thể mắc các điện trở Shunt độc lập hay nối tiếp. Điện trở Shunt mắc độc lập hay được gọi là mạch Shunt riêng rẽ như hình 3.5 và dạng điện trở Shunt mắc nối tiếp hay còn gọi là mạch Shunt vạn năng như hình 3.6.

• **Mạch Shunt riêng rẽ:**



**Hình 3.5:** Mạch Shunt riêng rẽ

Ứng với mỗi thang đo dòng đều có một điện trở Shunt riêng biệt không liên quan với nhau, khi chuyển thang đo là chuyển điện trở Shunt.

Xét sơ đồ mạch Shunt riêng rẽ như hình 3.5, mạch gồm 3 điện trở  $R_1, R_2, R_3$  nối riêng biệt tạo thành 3 thang đo A, B, C.

Gọi  $I_A, I_B, I_C$  lần lượt là dòng điện qua mạch đo làm kim chỉ thị lệch hết thang đo khi khóa chuyển mạch S ở vị trí A, B và C tương ứng. Ta có:

$$\text{Khi khóa S ở vị trí A: } \begin{cases} R_S = R_1 \\ I_S = I_A - I_{gm} \end{cases} \Rightarrow R_1 = \frac{U_S}{I_S} = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I_A - I_{gm}}$$

$$\text{Khi khóa S ở vị trí B: } \begin{cases} R_S = R_2 \\ I_S = I_B - I_{gm} \end{cases} \Rightarrow R_2 = \frac{U_S}{I_S} = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I_B - I_{gm}}$$

Khi khóa S ở vị trí C: 
$$\begin{cases} R_S = R_3 \\ I_S = I_C - I_{gm} \end{cases} \Rightarrow R_3 = \frac{U_S}{I_S} = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I_C - I_{gm}}$$

**Ví dụ 3.6:** Cho mạch Shunt riêng rẽ như hình 3.5. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $50\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1k\Omega$ . Tính các giá trị điện trở Shunt để có ba thang đo  $1mA$ ;  $10mA$  và  $100mA$  tương ứng với khóa chuyển mạch S ở vị trí A, B và C.

**Giải:**

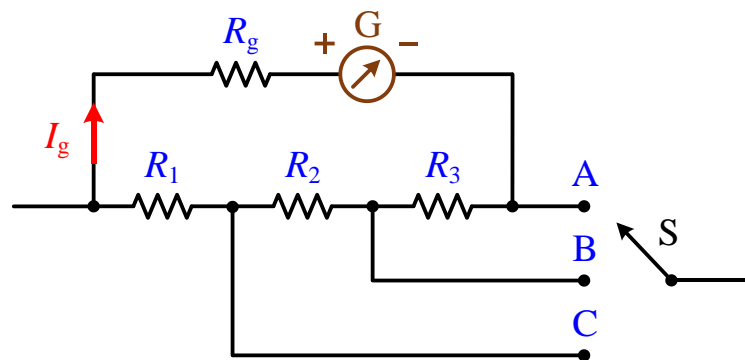
$$R_1 = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I_A - I_{gm}} = \frac{1k\Omega \cdot 50\mu A}{1mA - 50\mu A} = \frac{10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{10^{-3} - 50 \cdot 10^{-6}} = 52,63\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I_B - I_{gm}} = \frac{1k\Omega \cdot 50\mu A}{10mA - 50\mu A} = \frac{10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-6}} = 5,03\Omega$$

$$R_3 = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I_C - I_{gm}} = \frac{1k\Omega \cdot 50\mu A}{100mA - 50\mu A} = \frac{10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-6}} = 0,5\Omega$$

Do các điện trở Shunt tách biệt nhau nên kiểu mạch này thuận lợi cho việc sửa chữa, hiệu chỉnh giá trị các điện trở Shunt. Tuy nhiên, khi chuyển mạch tiếp xúc không tốt hoặc không tiếp xúc thì coi như điện trở Shunt bị loại khỏi mạch điện. Lúc này dòng điện cần đo chạy thẳng qua cơ cấu đo gây sự quá tải và đứt khung dây. Vì những khuyết điểm trên mà kiểu mạch đo dòng điện dùng điện trở Shunt riêng rẽ ít được sử dụng trong đồng hồ đo điện vạn năng.

- **Mạch Shunt vạn năng:**



**Hình 3.6:** Mạch Shunt vạn năng

Mạch Shunt vạn năng có đặc điểm là mỗi một thang đo sẽ là tổ hợp các điện trở, điện trở của thang đo trước là một phần của thang đo sau. Đặc biệt khi chuyển mạch thay đổi thang đo thì dù cho tiếp xúc không tốt hoặc không tiếp xúc thì cơ cấu đo cũng không bị

quá tải. Do đó các đồng hồ đo điện vạn năng hiện nay đều dùng mạch Shunt vạn năng để đo dòng điện. Tuy nhiên việc sửa chữa, hiệu chỉnh mạch đo dùng Shunt vạn năng gặp phức tạp hơn và phải theo đúng thứ tự các thang đo.

Xét sơ đồ mạch Shunt vạn năng như hình 3.6, gồm 3 điện trở  $R_1, R_2, R_3$  nối tiếp tạo thành 3 thang đo A, B, C.

Gọi  $I_A, I_B, I_C$  lần lượt là dòng điện qua mạch đo làm kim chỉ thị lệch hết thang khi khóa chuyển mạch S ở vị trí A, B và C tương ứng.

Khi khóa S ở vị trí A (thang đo nhỏ nhất), các điện trở  $R_1, R_2, R_3$  được mắc nối tiếp và song song với cơ cấu đo. Khi đó:

$$\begin{cases} R_S = R_1 + R_2 + R_3 \\ I_S = I_A - I_{gm} \end{cases} \Rightarrow R_1 + R_2 + R_3 = \frac{U_S}{I_S} = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I_A - I_{gm}}$$

Khi khóa S ở vị trí B, điện trở  $R_1, R_2$  song song với cơ cấu đo, còn điện trở  $R_3$  nối tiếp với cơ cấu đo.

$$\begin{cases} R_S = R_1 + R_2 \\ I_S = I_B - I_{gm} \end{cases} \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{U_S}{I_S} = \frac{(R_g + R_3) \cdot I_{gm}}{I_B - I_{gm}}$$

Tương tự, khi khóa S ở vị trí C, điện trở  $R_1$  song song với cơ cấu đo, còn điện trở  $R_2, R_3$  nối tiếp với cơ cấu đo.

$$\begin{cases} R_S = R_1 \\ I_S = I_C - I_{gm} \end{cases} \Rightarrow R_1 = \frac{U_S}{I_S} = \frac{(R_g + R_2 + R_3) \cdot I_{gm}}{I_C - I_{gm}}$$

Từ 3 phương trình với 3 ẩn số, giải tìm được  $R_1, R_2, R_3$ .

**Ví dụ 3.7:** Cho mạch Shunt vạn năng như hình 3.6. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $50\mu\text{A}$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1\text{k}\Omega$ . Tính các giá trị các điện trở để có ba thang đo  $1\text{mA}$ ;  $10\text{mA}$  và  $100\text{mA}$  tương ứng với khóa chuyển mạch S ở vị trí A, B và C.

**Giải:**

$$R_1 + R_2 + R_3 = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{I_A - I_{gm}} = \frac{10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{10^{-3} - 50 \cdot 10^{-6}} = 52,63$$

$$R_1 + R_2 = \frac{(R_g + R_3) \cdot I_{gm}}{I_B - I_{gm}} = \frac{(10^3 + R_3) \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-6}} = 5,025 + \frac{R_3}{199}$$



$$R_1 = \frac{(R_g + R_2 + R_3) \cdot I_{gm}}{I_C - I_{gm}} = \frac{(10^3 + R_2 + R_3) \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-6}} = 0,5 + \frac{R_2}{1999} + \frac{R_3}{1999}$$

Giải hệ 3 phương trình:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 + R_3 = 52,63 \\ R_1 + R_2 - \frac{R_3}{199} = 5,025 \\ R_1 - \frac{R_2}{1999} - \frac{R_3}{1999} = 0,5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = 0,526\Omega \\ R_2 = 4,737\Omega \\ R_3 = 47,367\Omega \end{cases}$$

**Ví dụ 3.8:** Cho mạch Shunt vạn năng có 3 thang đo như hình 3.6. Biết  $I_{gm} = 50\mu A$ ;  $R_g = 1k\Omega$ ;  $R_1 = 0,05\Omega$ ;  $R_2 = 0,45\Omega$ ;  $R_3 = 4,5\Omega$ . Tính giá trị dòng điện cho phép của mỗi thang đo.

**Giải:**

Khóa S ở vị trí A:

$$I_S = \frac{U_S}{R_S} = \frac{R_g \cdot I_{gm}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1k\Omega \cdot 50\mu A}{0,05\Omega + 0,45\Omega + 4,5\Omega} = 10mA$$

$$I_A = I_S + I_{gm} = 10mA + 50\mu A = 10,05mA$$

Khóa S ở vị trí B:

$$I_S = \frac{U_S}{R_S} = \frac{(R_g + R_3) \cdot I_{gm}}{R_1 + R_2} = \frac{(1k\Omega + 4,5\Omega) \cdot 50\mu A}{0,05\Omega + 0,45\Omega} = 100mA$$

$$I_B = I_S + I_{gm} = 100mA + 50\mu A = 100,05mA$$

Khóa S ở vị trí C:

$$I_S = \frac{U_S}{R_S} = \frac{(R_g + R_2 + R_3) \cdot I_{gm}}{R_1} = \frac{(1k\Omega + 4,5\Omega + 0,45\Omega) \cdot 50\mu A}{0,05\Omega} = 1A$$

$$I_C = I_S + I_{gm} = 1A + 50\mu A \approx 1A$$

### 3.1.4 Đo dòng điện xoay chiều (AC)

Các cơ cấu điện từ và điện động đều có thể đo trực tiếp dòng điện xoay chiều, trong khi cơ cấu từ điện không làm được việc này. Muốn sử dụng cơ cấu từ điện để đo dòng điện

xoay chiều ta phải kết hợp với mạch chỉnh lưu để biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều trước khi đưa vào mạch đo.

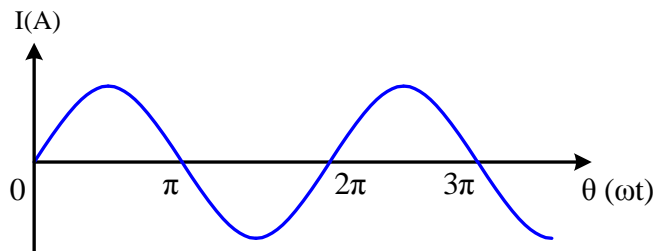
- **Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu bán kỳ:**

Chỉnh lưu là sử dụng một điốt hoặc một nhóm các điốt chuyển đổi dòng điện xoay chiều thành một chiều. Các bộ chỉnh lưu được phân loại thành các loại khác nhau dựa trên số lượng điốt được sử dụng trong mạch hoặc cách sắp xếp các điốt trong mạch. Các loại chỉnh lưu cơ bản là: chỉnh lưu bán kỳ và chỉnh lưu toàn kỳ.

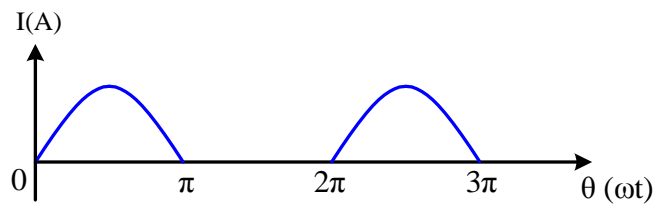
Chỉnh lưu bán kỳ là một loại chỉnh lưu chuyển đổi nửa chu kỳ dương của tín hiệu đầu vào thành tín hiệu đầu ra.



(a) Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu bán kỳ



(b) Dòng điện trước khi vào bộ chỉnh lưu



(c) Dòng điện sau khi qua bộ chỉnh lưu

**Hình 3.7:** Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu bán kỳ và dạng sóng dòng điện

Gọi  $i(t) = \sqrt{2}I_{hd} \sin(\omega t) = I_m \sin(\omega t)$  là dòng điện xoay chiều khi chưa chỉnh lưu.

Trong đó:

$I_{hd}$  và  $I_m$  lần lượt là trị hiệu dụng và biên độ (A).

$\theta = \omega t$ : góc pha (rad)

$\omega = 2\pi f$ : tần số góc (rad/s)

$f$ : tần số nguồn cấp (Hz)

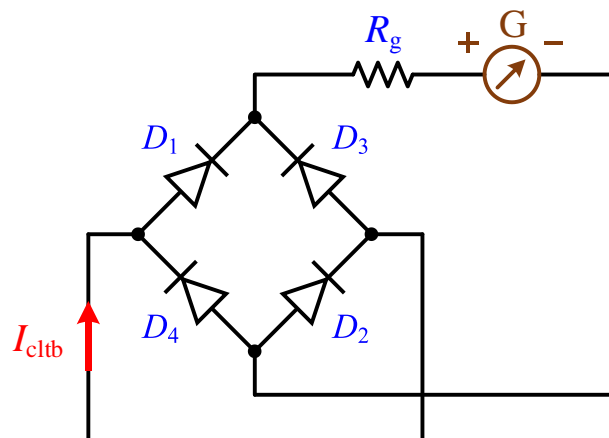
Dòng điện xoay chiều sau khi chỉnh lưu chính là dòng điện trung bình qua tải, được xác định theo biểu thức:

$$I_{cltb} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (3.10)$$

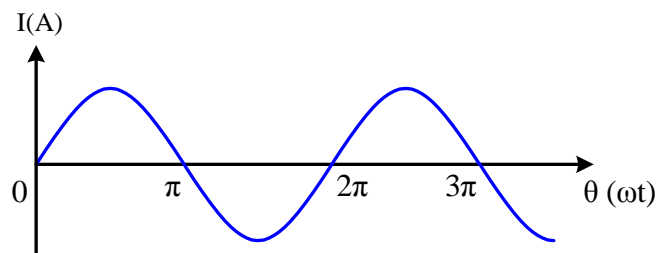
$$\Leftrightarrow I_{cltb} = \frac{I_m}{2\pi} [-\cos(\omega t)]_0^\pi = \frac{I_m}{\pi} = 0,318 \cdot I_m \quad (3.11)$$

$$\Rightarrow I_{cltb} = 0,318 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{hd} = 0,45 \cdot I_{hd} \quad (3.12)$$

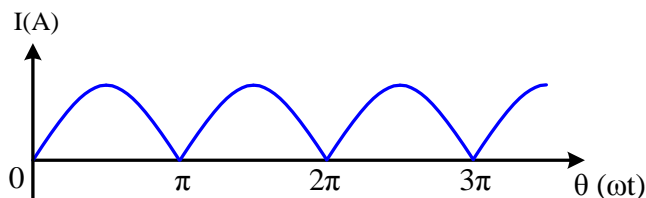
- Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu toàn kỳ:



(a) Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu toàn kỳ



(b) Dòng điện trước khi vào bộ chỉnh lưu



(c) Dòng điện sau khi qua bộ chỉnh lưu

**Hình 3.8:** Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu toàn kỳ và dạng sóng dòng điện

Dòng điện xoay chiều sau khi chỉnh lưu chính là dòng điện trung bình qua tải, được xác định theo biểu thức:

$$I_{ctb} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (3.13)$$

$$\Leftrightarrow I_{ctb} = \frac{I_m}{\pi} [-\cos(\omega t)] \Big|_0^{\pi} = \frac{2I_m}{\pi} = 0,637 \cdot I_m \quad (3.14)$$

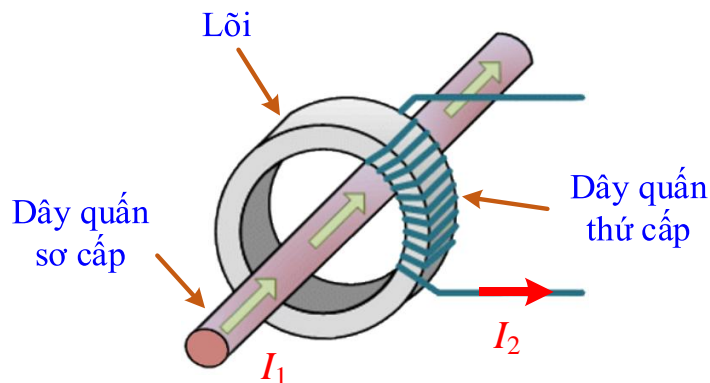
$$\Rightarrow I_{ctb} = 0,637 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{hd} = 0,9 \cdot I_{hd} \quad (3.15)$$

- **Mở rộng thang đo dùng máy biến dòng**

Máy biến dòng (BI) có tên gọi quốc tế là Current Transformer, được sử dụng trong mạch xoay chiều để biến đổi dòng điện trong phạm vi rộng. Máy biến dòng là một máy biến áp đặc biệt làm việc ở chế độ thứ cấp ngắn mạch.

Cấu tạo:

Máy biến dòng có nhiều hình dạng khác nhau, nhưng phổ biến là loại hình xuyên. Máy biến dòng hình xuyên có cấu tạo gồm 2 bộ phận chính là lõi thép và dây quấn.



**Hình 3.9:** Cấu tạo máy biến dòng

Lõi thép máy biến dòng: dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ những vật liệu dẫn từ tốt như thép kỹ thuật điện. Lõi thép được chế tạo thành hình tròn là nơi để đặt dây quấn thứ cấp.

Dây quấn của máy biến dòng: Dây sơ cấp là dây có dòng điện phụ tải chạy qua và số vòng dây  $N_1$  nhỏ hơn nhiều lần số vòng phía thứ cấp  $N_2$ . Dây thứ cấp có tiết diện nhỏ hơn rất nhiều so với dây sơ cấp nhưng có số vòng  $N_2$  lớn hơn nhiều lần số vòng  $N_1$  phía sơ cấp.

*Nguyên lý làm việc:*

Dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Khi có dòng điện xoay chiều chạy trong dây dẫn sơ cấp, xung quanh dây dẫn sẽ xuất hiện một điện trường, điện trường này cảm ứng lên cuộn dây thứ cấp và sẽ làm xuất hiện một dòng điện cảm ứng trong đó. Tỷ lệ dòng điện này được căn cứ vào số vòng dây được quấn trên lõi thép.

Điện áp thứ cấp của biến dòng từ 1÷6V. Dòng điện sơ cấp thay đổi theo tải, còn dòng thứ cấp của biến dòng được thiết lập ở chế độ định mức là 5A hoặc 1A.

*Tỉ số biến dòng:*

$$k_I = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (3.16)$$

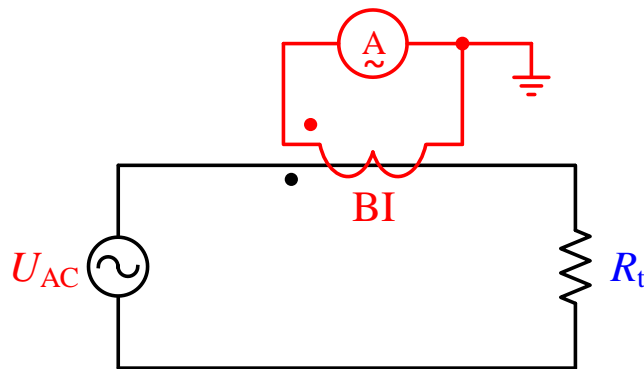
Trong đó:

$k_I$  là tỉ số biến dòng.

$I_1, I_2$  là dòng điện sơ cấp và thứ cấp.

$N_1, N_2$  là số vòng dây quấn của cuộn sơ cấp và thứ cấp.

Ký hiệu và cách mắc biến dòng vào mạch đo như trên hình 3.10. Cuộn sơ cấp  $N_1$  của BI mắc nối tiếp với tải  $R_t$ , cuộn thứ cấp  $N_2$  được khép kín bằng Ampe kế hoặc cuộn dòng của Watt kế điện động, hoặc cuộn dòng của công tơ điện.



**Hình 3.10:** Sơ đồ nối biến dòng vào mạch đo

*Chế độ hoạt động máy biến dòng:*

Biến dòng có hai chế độ làm việc cơ bản: chế độ ngắn mạch và chế độ hở mạch.

Chế độ ngắn mạch (chế độ làm việc định mức): là khi cuộn dây thứ cấp được nối ngắn mạch hoặc được nối với Ampe kế. Vì điện trở của Ampe kế là rất nhỏ nên có thể xem như thứ cấp ngắn mạch.

Chế độ hở mạch: là khi thứ cấp hở mạch, phía thứ cấp sẽ có điện áp cảm ứng với biên độ rất cao gây nguy hiểm cho người và các thiết bị thứ cấp. Vì vậy cuộn thứ cấp phải được nối đất.



800/5A



50/5A



30/5A



20A/10mA

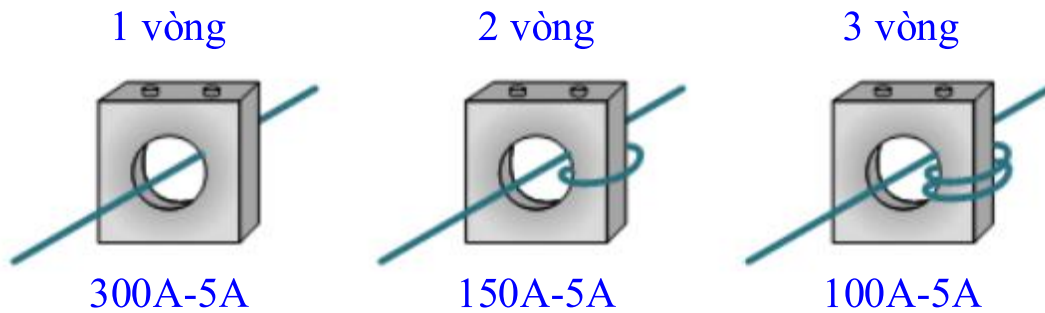
**Hình 3.11:** Một số loại máy biến dòng

Thông số của máy biến dòng được ghi dựa vào tỉ số giữa dòng đầu vào và dòng đầu ra, với số vòng sơ cấp được hiểu là 1 vòng (tức là luồn trực tiếp dây dẫn qua biến dòng).

**Ví dụ 3.9:** Một máy biến dòng có thông số 100/5A, có nghĩa là tỉ lệ giữa dòng sơ cấp và thứ cấp là 100A:5A, hoặc 20:1. Nói cách khác, dòng điện sơ cấp lớn hơn dòng thứ cấp 20 lần.

Tỉ số biến dòng có thể được thay đổi bằng cách luồn dây dẫn qua lỗ hổng (cửa sổ) giữa máy để tăng số vòng của cuộn sơ cấp. Ví dụ, một máy biến dòng có thông số: 300/5A (hoặc tỉ số 60:1). Nếu dây dẫn được đưa trực tiếp qua lỗ hổng, ta sẽ cần một dòng điện 300A để có đầu ra là 5A. Nếu dây dẫn được luồn qua lỗ hổng lần thứ hai, thì phía sơ cấp được hiểu là có hai vòng dây. Bây giờ, ta sẽ cần 150A để có đầu ra là 5A. Nếu dây dẫn được luồn qua lỗ hổng lần thứ 3, ta chỉ cần 100A để có đầu ra là 5A. Như vậy, cứ mỗi lần tăng số vòng

của cuộn sơ cấp thì tỉ số biến dòng lại giảm. Cách làm này (hình 3.12) cho phép máy biến dòng có thể đọc được giá trị dòng điện thấp hơn.



**Hình 3.12:** Thủ thuật đơn giản để thay đổi tỉ số biến dòng

**Ví dụ 3.10:** Cho một máy biến dòng, có thông số 100/5A.

a. Luôn trực tiếp dây dẫn qua biến dòng (chỉ 1 vòng). Biết dòng điện chạy trong dây dẫn là 50A. Tính dòng điện đầu ra?

b. Tính dòng điện đầu vào. Biết dòng điện đầu ra là 4A và sơ cấp được quấn 2 vòng.

c. Dòng điện đầu vào là 10A, muốn dòng điện đầu ra lớn hơn 2A thì phải quấn sơ cấp ít nhất bao nhiêu vòng?

**Giải:**

a. Tỉ số biến dòng là:

$$k_I = \frac{100}{5} = 20$$

Dòng điện đầu ra khi luôn trực tiếp dây dẫn qua biến dòng là:

$$I_2 = \frac{I_1}{k_I} = \frac{50}{20} = 2,5A$$

b. Khi số vòng phía sơ cấp tăng gấp đôi thì tỉ số biến dòng sẽ giảm một nửa, tỉ số biến dòng được thay đổi là:

$$k'_I = \frac{k_I}{2} = 10$$

Dòng điện đầu vào sơ cấp được quấn 2 vòng là:

$$I_1 = k'_I \cdot I_2 = 10 \cdot 4 = 40A$$

c. Khi số vòng dây quấn của cuộn sơ cấp là 1 vòng, dòng điện thứ cấp là:

$$I_2 = \frac{I_1}{k_I} = \frac{10}{20} = 0,5A$$

Vì dòng điện thứ cấp tỉ lệ thuận với số vòng của cuộn sơ cấp, nên theo quy tắc tam suất, ta có:

$$\begin{aligned} N_1 = 1 &\rightarrow I_2 = 0,5A \\ N_1 = ? &\rightarrow I_2 = 2A \end{aligned} \Rightarrow N_1 = \frac{2.1}{0,5} = 4(\text{vòng})$$

Vậy để dòng điện đầu ra lớn hơn 2A thì số vòng cuộn sơ cấp cần quấn là 5 vòng.

- **Ampe kìm**

Để thuận tiện cho việc đo cường độ dòng điện lớn và hạn chế thao tác khi đo, người ta sử dụng Ampe kìm. Đây là dạng kết hợp đặc biệt của cơ cấu đo với biến dòng.

Ampe kìm sử dụng máy biến dòng với lõi có thể tách ra được, vì vậy rất tiện lợi vì khi cần đo dòng điện chạy qua một dây dẫn nào đó, ta không cần ngắt mạch điện để mắc dụng cụ đo vào như các loại Ampe kế khác.



*Hình 3.13: Một số loại Ampe kìm*

## 3.2 Đo điện áp một chiều (DC) và xoay chiều (AC)

### 3.2.1 Đặc điểm, yêu cầu đối với dụng cụ đo

Dụng cụ đo điện áp gọi là Vôn kế hay Vôn met

*Phân loại:*

Theo kết cấu: Vôn kế từ điện, Vôn kế điện từ, Vôn kế điện động,...

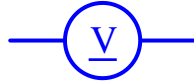
Theo chỉ thị: Vôn kế chỉ thị kim, Vôn kế chỉ thị số.

Theo tính chất đại lượng đo: Vôn kế một chiều (DC), Vôn kế xoay chiều (AC).

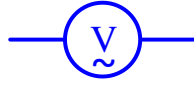
*Ký hiệu:*



Vôn kế DC:

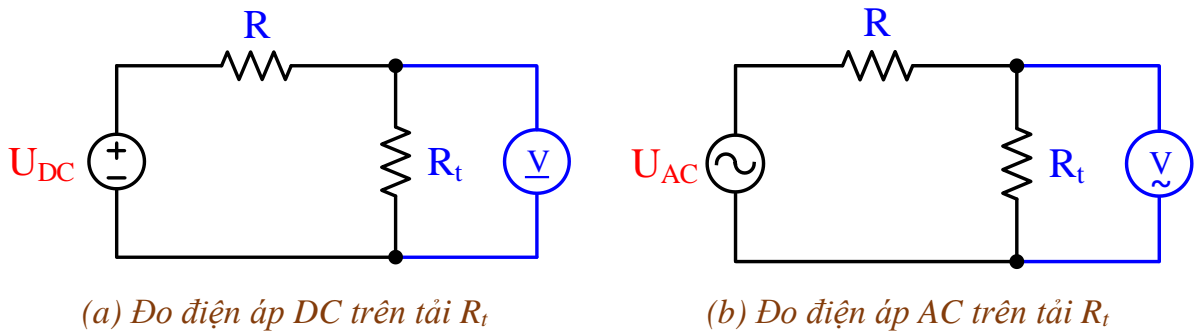


Vôn kế AC:



**Yêu cầu đối với dụng cụ đo điện áp:**

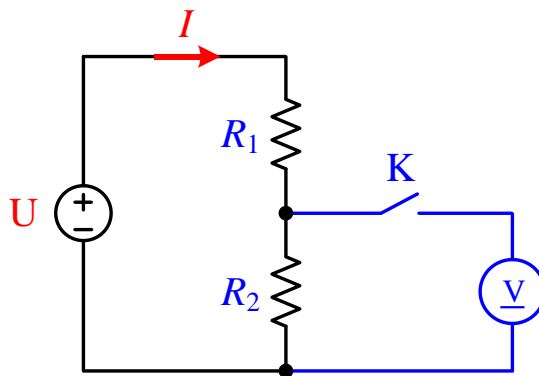
- + Mắc Vôn kế song song với hai điểm cần đo điện áp.
- + Điện trở nội của Vôn kế phải lớn.
- + Vôn kế phải đáp ứng được dải tần số điện áp cần đo.
- + Khi điện áp cần đo lớn, ta phải mở rộng thang đo cho Vôn kế.



**Hình 3.14:** Đo điện áp trên tải  $R_t$  bằng Vôn kế

**3.2.2 Ảnh hưởng của Vôn kế trong mạch đo**

Khi mắc Vôn kế vào mạch điện, Vôn kế sẽ tiêu thụ một phần điện năng nên gây ra sai số trong quá trình đo. Mạch điện kiểm tra ảnh hưởng của Vôn kế được mắc như hình 3.15.



**Hình 3.15:** Mạch kiểm tra ảnh hưởng của Vôn kế

- Gọi:  $I$  là dòng điện trong mạch khi chưa mắc Vôn kế (khi khóa K mở)
- $I'$  là dòng điện trong mạch khi mắc Vôn kế (khi khóa K đóng)
- $U_2$  là điện áp trên điện trở  $R_2$  khi chưa mắc Vôn kế (khi khóa K mở)

$U_V$  là điện áp trên điện trở  $R_2$  khi mắc Vôn kế (khi khóa K đóng)

$R_V$  là nội trở của Vôn kế

$U$  là điện áp nguồn cung cấp cho mạch điện

Khi chưa mắc Vôn kế vào mạch (K mở), điện áp rơi trên trở  $R_2$  là:

$$U_2 = R_2 I = R_2 \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (3.17)$$

Khi mắc Vôn kế vào mạch (K đóng), điện áp rơi trên trở  $R_2$  là:

$$U_V = (R_2 // R_V) \cdot I' = (R_2 // R_V) \cdot \frac{U}{R_1 + (R_2 // R_V)} \quad (3.18)$$

Sai số tương đối:

$$\delta_U = \frac{|U_2 - U_V|}{U_2} \cdot 100 \quad (3.19)$$

Công suất tiêu hao trên Vôn kế:

$$\Delta P = \frac{U_V^2}{R_V} \quad (3.20)$$

Để công suất tiêu hao trên Vôn kế nhỏ, thì nội trở của Vôn kế phải lớn (lớn hơn điện trở tải càng nhiều càng tốt).

**Ví dụ 3.11:** Cho mạch điện kiểm tra ảnh hưởng của Vôn kế như hình 3.15. Biết điện áp đặt vào mạch điện là 10V, Vôn kế có nội trở là  $200k\Omega$ , điện trở  $R_1 = R_2 = 10k\Omega$ . Tính điện áp trên điện trở  $R_2$  và sai số của phép đo.

**Giải :**

Điện áp trên điện trở  $R_2$  khi khóa K mở (không có Vôn kế trong mạch)

$$U_2 = R_2 \cdot \frac{U}{R_1 + R_2} = 10k\Omega \cdot \frac{10}{10k\Omega + 10k\Omega} = 5V$$

Điện áp trên điện trở  $R_2$  khi khóa K đóng (có Vôn kế trong mạch)

$$U_V = (R_2 // R_V) \cdot \frac{U}{R_1 + (R_2 // R_V)} = 9,52k\Omega \cdot \frac{10}{10k\Omega + 9,52k\Omega} = 4,877V$$

Sai số tương đối của phép đo:

$$\delta_U = \frac{|U_2 - U_V|}{U_2} \cdot 100 = \frac{|5 - 4,877|}{5} \cdot 100 = 2,46\%$$

**Ví dụ 3.12:** Cho mạch điện kiểm tra ảnh hưởng của Vôn kế như hình 3.15. Biết điện áp đặt vào mạch điện là 24V, Vôn kế có nội trở là  $10M\Omega$ , điện trở  $R_1 = R_2 = 250M\Omega$ . Tính điện áp trên điện trở  $R_2$  và sai số của phép đo.

**Giải :**

Điện áp trên điện trở  $R_2$  khi khóa K mở (không có Vôn kế trong mạch)

$$U_2 = R_2 \cdot \frac{U}{R_1 + R_2} = 250M\Omega \cdot \frac{24}{250M\Omega + 250M\Omega} = 12V$$

Điện áp trên điện trở  $R_2$  khi khóa K đóng (có Vôn kế trong mạch)

$$U_V = (R_2 // R_V) \cdot \frac{U}{R_1 + (R_2 // R_V)} = 9,62M\Omega \cdot \frac{24}{250M\Omega + 9,62M\Omega} = 0,89V$$

Sai số tương đối của phép đo:

$$\delta_U = \frac{|U_2 - U_V|}{U_2} \cdot 100 = \frac{|12 - 0,89|}{12} \cdot 100 = 92,58\%$$

*Kết luận:*

Sai số phép đo chủ yếu do nội trở Vôn kế, nếu điện trở cần đo có giá trị lớn hơn nội trở của Vôn kế thì kết quả đo sẽ có sai số lớn.

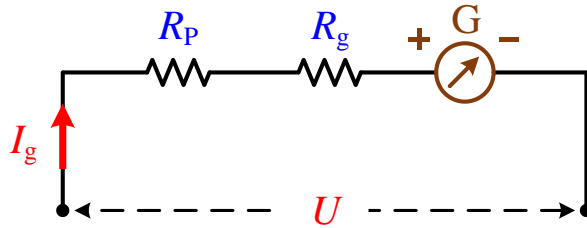
### 3.2.3 Đo điện áp một chiều (DC)

- **Vôn kế từ điện**

Điện áp cần đo được chuyển thành dòng điện đi qua cơ cấu chỉ thị, nghĩa là đo điện áp thông qua dòng điện chạy qua cơ cấu đo. Các cơ cấu đo từ điện, điện từ, điện động đều hoạt động với dòng một chiều, nên được dùng để chế tạo Vôn kế một chiều.

Trong các cơ cấu đo trên, cơ cấu đo kiểu từ điện được sử dụng nhiều hơn cả, vì có độ chính xác cao và tiêu tốn ít năng lượng, nhưng cơ cấu này có nhược điểm là điện áp định mức khoảng từ 50mV đến 70mV. Cho nên khi đo điện áp lớn hơn giá trị định mức, ta phải mắc thêm điện trở phụ, mắc nối tiếp với cơ cấu đo.

• Mở rộng thang đo điện áp dùng điện trở phụ



**Hình 3.16:** Mở rộng thang đo điện áp cho cơ cấu đo từ điện

Trong đó:

- G : cơ cấu chỉ thị kim
- $R_g$  : nội trở của cơ cấu chỉ thị ( $\Omega$ )
- $R_p$  : điện trở mắc nối tiếp với cơ cấu ( $\Omega$ )
- $I_g$  : dòng điện qua cơ cấu đo (A)

Từ hình 3.16, ta có điện áp cần đo được tính là:

$$U = (R_p + R_g) \cdot I_g \quad (3.21)$$

Gọi  $I_{gm}$  là dòng điện lớn nhất cho phép chạy qua cơ cấu đo, cũng là dòng điện làm kim lệch hết thang đo. Ta có:

$$R_p = \frac{U}{I_{gm}} - R_g \quad (3.22)$$

Tổng trở vào của Vôn kế:

$$Z_v = R_g + R_p \quad (3.23)$$

Tổng trở vào của Vôn kế không phải là một giá trị cố định mà sẽ thay đổi theo thang đo. Người ta thường dùng trị số độ nhạy để xác định tổng trở vào của mỗi tầm đo.

Độ nhạy được định nghĩa là tỷ số của tổng trở vào của Vôn kế trên điện áp thang đo.

$$S_v = \frac{Z_v}{U_{đo}} \quad (k\Omega/V) \quad (3.24)$$

Độ nhạy của cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo  $I_{gm}$  là:

$$S = \frac{1}{I_{gm}} \quad (k\Omega/V) \quad (3.25)$$

**Ví dụ 3.13:** Tính tổng trở vào của Vôn kế ở thang đo 2,5V. Biết độ nhạy của Vôn kế là  $20k\Omega/V$ .

**Giải:**

Tổng trở vào của Vôn kế ở thang đo 2,5V là:

$$Z_v = 2,5V \cdot \frac{20k\Omega}{1V} = 50k\Omega$$

**Ví dụ 3.14:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có giá trị giới hạn đo là  $50\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1200\Omega$  được sử dụng làm Vôn kế DC có tầm đo 50V. Tính giá trị điện trở phụ của Vôn kế.

**Giải:**

$$R_p = \frac{U}{I_{gm}} - R_g = \frac{50V}{50\mu A} - 1,2k\Omega = 998,8k\Omega$$

**Ví dụ 3.15:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có giá trị giới hạn đo là  $50\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1k\Omega$  được sử dụng làm Vôn kế DC.

- Tính điện trở phụ để Vôn kế có thang đo 120V .
- Với thang đo 120V, tính điện áp hai đầu Vôn kế khi kim lệch 60% so với góc lệch cực đại.

**Giải:**

- Để Vôn kế có thang đo 150V, điện trở phụ cần thêm vào là:

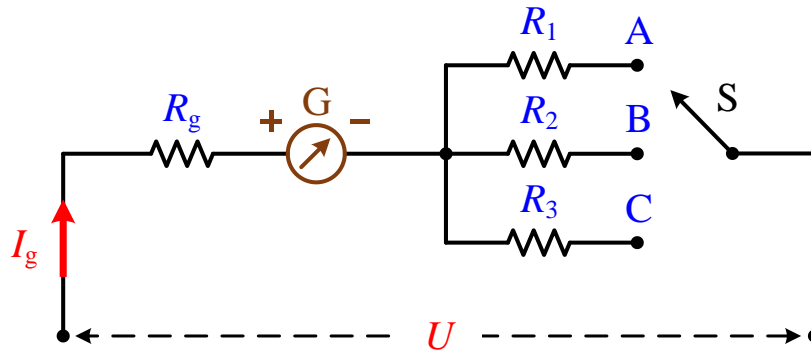
$$R_p = \frac{U}{I_{gm}} - R_g = \frac{120V}{50\mu A} - 1k\Omega = 2,399M\Omega$$

- Vì độ lệch của kim tỉ lệ thuận với điện áp, nên điện áp hai đầu Vôn kế khi kim lệch 60%FSD là:

$$U = 60\% \cdot 120V = 72V$$

Thang đo điện áp càng lớn thì điện trở phụ mắc nối tiếp vào cơ cấu đo sẽ càng lớn do vậy tổng trở vào sẽ càng lớn. Để có nhiều cấp đo khác nhau (nhiều thang đo), ta có thể mắc các điện trở phụ độc lập hay nối tiếp. Điện trở phụ mắc độc lập hay được gọi là mạch điện trở phụ riêng rẽ như hình 3.17 và dạng điện trở phụ mắc nối tiếp hay còn gọi là mạch điện trở phụ vạn năng như hình 3.18.

• Mạch điện trở phụ riêng rẽ



Hình 3.17: Mạch điện trở phụ riêng rẽ

Ứng với mỗi thang đo dòng đều có một điện trở phụ riêng biệt không liên quan với nhau, khi chuyển thang đo là chuyển điện trở. Điện áp càng lớn thì điện trở phụ mắc nối tiếp có giá trị càng lớn. Dạng mạch này thuận tiện cho việc sửa chữa, điều chỉnh song cũng có nhược điểm giống với mạch Shunt riêng rẽ là dễ bị hở mạch khi chuyển mạch tiếp xúc không tốt.

Xét sơ đồ mạch điện trở phụ riêng rẽ như hình 3.17; mạch gồm 3 điện trở  $R_1, R_2, R_3$  nối riêng biệt tạo thành 3 thang đo A, B, C.

Gọi  $U_A, U_B, U_C$  lần lượt là điện áp đặt vào mạch đo làm kim chỉ thị lệch hết thang đo, khi khóa chuyển mạch S ở vị trí A, B và C tương ứng. Ta có:

$$\text{Khi khóa S ở vị trí A: } R_p = R_1 = \frac{U_A}{I_{gm}} - R_g$$

$$\text{Khi khóa S ở vị trí B: } R_p = R_2 = \frac{U_B}{I_{gm}} - R_g$$

$$\text{Khi khóa S ở vị trí C: } R_p = R_3 = \frac{U_C}{I_{gm}} - R_g$$

**Ví dụ 3.16:** Cho mạch điện trở phụ riêng rẽ như hình 3.17. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $50\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1,7k\Omega$ . Tính các giá trị điện trở phụ để có ba thang đo 10V; 50V và 100V.

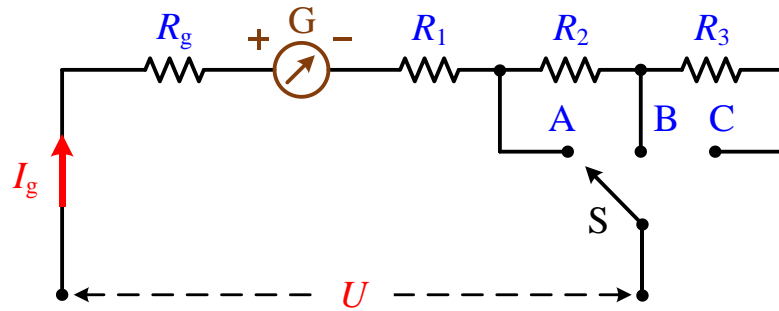
**Giải:**

$$R_1 = \frac{U_A}{I_{gm}} - R_g = \frac{10V}{50\mu A} - 1,7k\Omega = 198,3k\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_B}{I_{gm}} - R_g = \frac{50V}{50\mu A} - 1,7k\Omega = 998,3k\Omega$$

$$R_3 = \frac{U_C}{I_{gm}} - R_g = \frac{100V}{50\mu A} - 1,7k\Omega = 1,9983M\Omega$$

• Mạch điện trở phụ vạn năng



**Hình 3.18:** Mạch điện trở phụ vạn năng

Trong mạch đo điện áp dùng điện trở phụ vạn năng, điện trở của thang đo điện áp nhỏ là một phần trong điện trở của thang đo điện áp lớn hơn. Đây là dạng mạch được sử dụng nhiều hơn trong các đồng hồ đo điện vạn năng.

Xét sơ đồ mạch điện trở phụ vạn năng như hình 3.18, mạch gồm 3 điện trở  $R_1, R_2, R_3$  nối riêng biệt tạo thành 3 thang đo A, B, C.

Gọi  $U_A, U_B, U_C$  lần lượt là điện áp đặt vào mạch đo làm kim chỉ thị lệch hết thang đo khi khóa chuyển mạch S ở vị trí A, B và C tương ứng. Ta có:

$$\text{Khi khóa S ở vị trí A: } R_p = R_1 = \frac{U_A}{I_{gm}} - R_g$$

$$\text{Khi khóa S ở vị trí B: } R_p = R_1 + R_2 = \frac{U_B}{I_{gm}} - R_g \quad \Rightarrow R_2 = \frac{U_B}{I_{gm}} - R_g - R_1$$

$$\text{Khi khóa S ở vị trí C: } R_p = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{U_C}{I_{gm}} - R_g \quad \Rightarrow R_3 = \frac{U_C}{I_{gm}} - R_g - R_1 - R_2$$

**Ví dụ 3.17:** Cho mạch điện trở phụ vạn năng như hình 3.18. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $50\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1,7k\Omega$ . Tính các giá trị điện trở phụ để có ba thang đo 10V; 50V và 100V tương ứng với khóa S ở vị trí A, B và C.

**Giải:**

$$R_1 = \frac{U_A}{I_{gm}} - R_g = \frac{10V}{50\mu A} - 1,7k\Omega = 198,3k\Omega$$

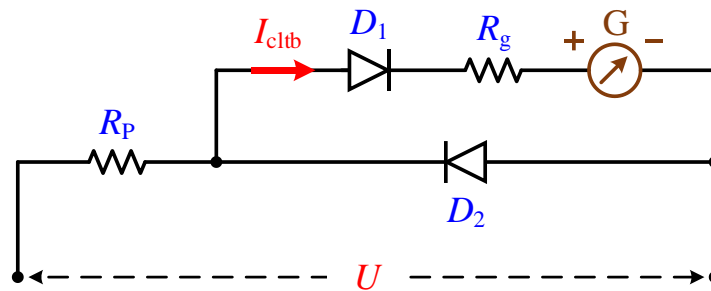
$$R_2 = \frac{U_B}{I_{gm}} - R_g - R_1 = \frac{50V}{50\mu A} - 1,7k\Omega - 198,3k\Omega = 800k\Omega$$

$$R_3 = \frac{U_C}{I_{gm}} - R_g - R_1 - R_2 = \frac{100V}{50\mu A} - 1,7k\Omega - 198,3k\Omega - 800k\Omega = 1M\Omega$$

### 3.2.4 Đo điện áp xoay chiều (AC)

Các cơ cấu đo kiểu điện từ, điện động đều có thể đo trực tiếp điện áp hiệu dụng AC. Riêng với cơ cấu từ điện khi cần đo điện áp AC thì phải sử dụng thêm bộ chỉnh lưu.

- Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu bán kỳ:



Hình 3.19: Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu bán kỳ.

Điốt  $D_1$  cho phép dòng điện dương đi qua cơ cấu. Điốt  $D_2$  bảo vệ điốt  $D_1$  trong trong bán kỳ âm tránh điện áp phân cực ngược gây hư hỏng khi đo điện áp xoay chiều có giá trị lớn.

Gọi  $i(t) = \sqrt{2}I_{hd} \sin(\omega t) = I_m \sin(\omega t)$  là dòng điện xoay chiều khi chưa chỉnh lưu.

Trong đó:

$I_{hd}$  và  $I_m$  lần lượt là trị hiệu dụng và biên độ (A).

$\theta = \omega t$ : Góc pha (rad)

$\omega = 2\pi f$ : Tần số góc (rad/s)

$f$ : Tần số nguồn cấp (Hz)

Dòng điện chỉnh lưu trung bình qua cơ cấu là:

$$I_{cltb} = 0,318.I_m = 0,318.\sqrt{2}.I_{hd} = 0,45.I_{hd} \quad (3.26)$$

Điện trở phụ nối tiếp với cơ cấu đo được tính theo biểu thức:



$$R_p = \frac{U - U_D}{I_{hd}} - R_g \quad (3.27)$$

với  $U_D$  là điện áp tiếp xúc của điốt.

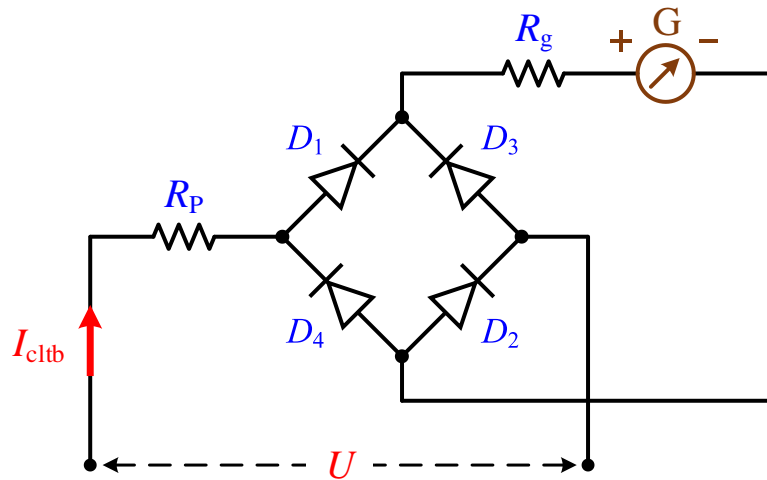
**Ví dụ 3.18:** Cho mạch đo điện áp xoay chiều như hình 3.19. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $50\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1k\Omega$ ,  $U_D = 0,6V$ . Xác định điện trở phụ  $R_p$  để cơ cấu có thang đo 10V.

**Giải:**

$$I_{hd} = \frac{I_{gm}}{0,45} = \frac{50\mu A}{0,45} = 111\mu A$$

$$R_p = \frac{U - U_D}{I_{hd}} - R_g = \frac{10 - 0,6}{111 \cdot 10^{-6}} - 10^3 = 83,68k\Omega$$

- Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu toàn kỳ:



**Hình 3.20:** Cơ cấu đo từ điện chỉnh lưu toàn kỳ.

Tương tự với mạch đo chỉnh lưu bán kỳ, điện trở phụ nối tiếp với cơ cấu đo được tính theo biểu thức:

$$R_p = \frac{U - 2U_D}{I_{hd}} - R_g \quad (3.28)$$

với  $U_D$  là điện áp tiếp xúc của điốt.

- **Mở rộng thang đo dùng máy biến điện áp**

Máy biến điện áp (BU) có tên quốc tế là Voltage Transformer hay Potential Transformer, là thiết bị được sử dụng để chuyển đổi điện áp từ giá trị cao hơn sang giá trị thấp hơn, an toàn hơn để có thể dễ dàng đo được bằng dụng cụ điện áp thấp.

*Cấu tạo:*

Máy biến điện áp có cấu tạo giống với máy biến áp - hạ áp, với số vòng của cuộn thứ cấp nhỏ hơn nhiều số vòng của cuộn sơ cấp. Nhờ đó, một Vôn kế có thể được kết nối qua cuộn thứ cấp để đo điện áp trên cuộn sơ cấp, mà không làm hỏng Vôn kế.

Tuy nhiên, vì mục đích sử dụng trong đo lường, nên máy biến điện áp sử dụng kích thước dây dẫn và lõi lớn hơn. Lõi của máy biến điện áp có chất lượng cao hơn, đặc biệt hoạt động với mật độ từ thông thấp hơn để có dòng từ hóa nhỏ, vì vậy máy biến điện áp có tổn hao rất thấp.

Với các loại biến điện áp sử dụng trong lưới điện cao thế. Giá trị điện áp định mức đối với cuộn sơ cấp từ 380V đến 500kV. Với các điện áp định mức nhỏ hơn 3kV áp dụng chất cách điện khô, còn khi điện áp cao hơn 3kV phải sử dụng chất cách điện dầu.

Giá trị điện áp thứ cấp  $U_2$  định mức với các máy biến điện áp là 100V,  $100\sqrt{3}$  V, 110V,  $110\sqrt{3}$  V. Tần số làm việc từ 5Hz đến 100Hz.

*Tỉ số biến áp:*

$$k_U = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.29)$$

Trong đó:

$k_U$  là tỉ số biến áp.

$U_1, U_2$  là điện áp hai đầu cuộn sơ cấp và thứ cấp.

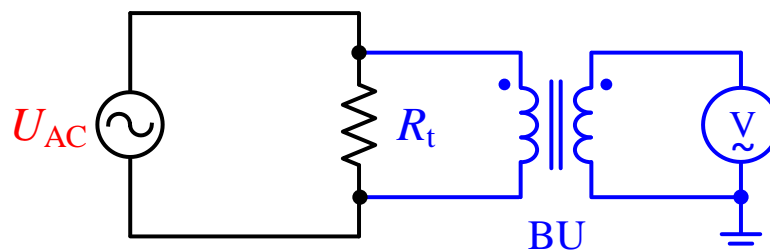
$N_1, N_2$  là số vòng dây quấn của cuộn sơ cấp và thứ cấp.

**Ví dụ 3.19:** Một máy biến điện áp có thông số 1000/110V, có nghĩa là tỉ lệ giữa điện áp sơ cấp và thứ cấp là 1kV-0,11kV, hoặc 9,09:1. Nói cách khác, điện áp sơ cấp lớn hơn điện áp thứ cấp 9,09 lần.

Máy biến điện áp được mắc song song với tải cần đo, cuộn sơ cấp  $N_1$  mắc vào lưới điện cần đo, cuộn thứ cấp  $N_2$  được mắc với đồng hồ đo Vôn kế. Ngoài việc giảm điện áp và dòng điện, máy biến điện áp này còn cách ly mạch đo hoặc bảo vệ mạch đo nếu mạch chính

---

gặp sự cố. Cuộn dây thứ cấp của máy biến điện áp và Vôn kế đều có trở kháng cao. Do đó, máy biến điện áp hoạt động như một máy biến áp thông thường ở chế độ không tải. Để đảm bảo an toàn cho mạch đo, một đầu cuộn thứ cấp được nối đất.



*Hình 3.21: Sơ đồ nối biến điện áp vào mạch đo*



*15kV/110V*



*1,15kV/110V*

*Hình 3.22: Một số loại máy biến điện áp*

### 3.3. Bài tập chương 3

#### A – Phần trắc nghiệm

**Câu 1:** Nguyên lý đo dòng điện là:

- A. Mắc cơ cấu chỉ thị nối tiếp với mạch
- B. Mắc Ampe kế nối tiếp với nhánh cần đo
- C. Dùng điện trở Shunt
- D. Tất cả đều sai

**Câu 2:** Nội trở của Ampe kế

- A. Thay đổi theo thang đo
- B. Thay đổi theo dạng tín hiệu
- C. Không thay đổi theo thang đo
- D. Thay đổi theo giá trị dòng điện cần đo

**Câu 3:** Khi đo điện áp, nội trở của Vôn kế:

- A. Không ảnh hưởng đến sai số phép đo
- B. Ảnh hưởng nhiều đến sai số phép đo
- C. Ảnh hưởng ít đến sai số phép đo
- D. Có ảnh hưởng đến sai số phép đo

**Câu 4:** Mở rộng tầm đo điện áp cho Vôn kế DC và AC dùng:

- A. Điện trở nối tiếp
- B. Biến áp đo lường (biến điện áp)
- C. Thay đổi số vòng dây (cơ cấu điện từ)
- D. Tất cả đều đúng

**Câu 5:** Khi đo điện áp, nếu nội trở của Vôn kế càng lớn thì sai số phép đo:

- A. Càng lớn
- B. Càng nhỏ
- C. Tùy thuộc vào giá trị điện áp cần đo
- D. Không thay đổi

**Câu 6:** Hai vôn kế A và B có cùng tầm đo, có độ nhạy  $S_A > S_B$ , nếu hai Vôn kế này đặt vào đo cùng một nguồn điện thì Vôn kế nào gây ra sai số phép đo lớn hơn:

- A. Vôn kế A
- B. Vôn kế B
- C. Cả hai vôn kế có sai số như nhau
- D. Cả hai vôn kế đều không gây ra sai số

**Câu 7:** Khi sử dụng Ampe kế để đo dòng điện trong mạch. Nếu điện trở cần đo khá nhỏ so với điện trở nội của Ampe kế thì:

- A. Dễ tính toán kết quả đo
- B. Sai số lớn hơn, không chính xác
- C. Sai số được giảm thiểu
- D. Độ nhạy của máy cao hơn

**Câu 8:** Khi sử dụng Vôn kế để đo điện áp trong mạch. Nếu điện trở cần đo khá nhỏ so với điện trở nội của Vôn kế thì:

- A. Dễ tính toán kết quả đo
- B. Sai số lớn hơn, không chính xác
- C. Sai số được giảm thiểu
- D. Độ nhạy của máy cao hơn

**Câu 9:** Để phép đo dòng điện được chính xác, điện trở cơ cấu đo so với điện trở tải phải:

- A. Nhỏ hơn nhiều lần
- B. Bằng nhau
- C. Lớn hơn nhiều lần
- D. Không so sánh được

**Câu 10:** Để mở rộng giới hạn đo dòng điện một chiều, cơ cấu đo phải dùng điện trở mắc:

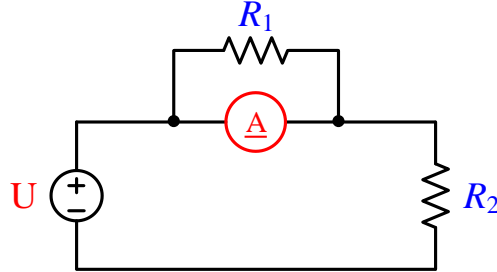
- A. Song song với phụ tải
- B. Song song với cơ cấu đo
- C. Nối tiếp với cơ cấu đo
- D. Nối tiếp với phụ tải

**Câu 11:** Giới hạn đo của Ampe kế từ điện càng được mở rộng khi

- A. Điện trở Shunt ( $R_S$ ) gắn trong lớn hơn nội trở của cơ cấu từ điện ( $R_g$ )
- B. Điện trở Shunt ( $R_S$ ) gắn trong nhỏ hơn nội trở của cơ cấu từ điện ( $R_g$ )

- C. Điện trở Shunt ( $R_S$ ) gắn trong lớn hơn điện trở tải cần đo
- D. Điện trở Shunt ( $R_S$ ) gắn trong nhỏ hơn điện trở tải cần đo

**Câu 12:** Cho mạch điện như hình vẽ. Điện trở  $R_1$  là



- A. Điện trở hạn dòng
- B. Điện trở phụ
- C. Điện trở Shunt
- D. Điện trở bảo vệ

**Câu 13:** Máy biến dòng điện (BI) có công dụng:

- A. Biến dòng điện nhỏ thành dòng điện lớn phù hợp với công suất tải
- B. Biến dòng điện lớn thành dòng điện nhỏ phù hợp với dụng cụ đo tiêu chuẩn
- C. Biến điện áp nhỏ thành điện áp lớn phù hợp với điện áp của thiết bị
- D. Biến điện áp lớn thành điện áp nhỏ phù hợp với dụng cụ đo tiêu chuẩn

**Câu 14:** Phát biểu nào sau đây sai khi nói về máy biến dòng điện?

- A. Dòng điện đầu vào và đầu ra tỉ lệ thuận với nhau
- B. Dòng điện đầu ra tỉ lệ nghịch với số vòng dây thứ cấp
- C. Khi số vòng dây sơ cấp tăng gấp đôi thì tỉ số biến dòng tăng gấp đôi
- D. Khi số vòng dây sơ cấp tăng gấp đôi thì tỉ số biến dòng giảm một nửa

**Câu 15:** Máy biến điện áp (BU) có công dụng:

- A. Mở rộng thang đo cho cơ cấu khi đo điện áp AC
- B. Giảm điện áp cho tải
- C. Mở rộng thang đo cho cơ cấu khi đo điện áp DC
- D. Tăng điện áp cho tải

**Câu 16:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có giá trị giới hạn đo là  $I_{gm}$ , nội trở của cơ cấu đo là  $R_g$ . Để cơ cấu đo trở thành Ampe kế DC có thang đo  $I$ , cần mắc một điện trở Shunt  $R_S$  song song với cơ cấu đo. Giá trị của điện trở Shunt là

A.  $R_S = \frac{I - I_{gm}}{R_g}$

B.  $R_S = \frac{I_{gm} \cdot R_g}{I - I_{gm}}$

C.  $R_S = \frac{I \cdot R_g}{I - I_{gm}}$

D.  $R_S = \frac{I_{gm}}{I - I_{gm}}$

**Câu 17:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có giá trị giới hạn đo là  $I_{gm}$ , nội trở của cơ cấu đo là  $R_g$ . Để cơ cấu đo trở thành Vôn kế DC có thang đo  $U$ , cần mắc một điện trở phụ  $R_p$  nối tiếp với cơ cấu đo. Giá trị của điện trở phụ là

A.  $R_p = \frac{U}{I_{gm}} + R_g$

B.  $R_p = \frac{I_{gm} \cdot R_g}{U - I_{gm}}$

C.  $R_p = \frac{U}{I_{gm}} - R_g$

D.  $R_p = U - R_g I_{gm}$

**Câu 18:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có  $I_{gm} = 75\mu A$ ,  $R_g = 1k\Omega$ . Để cơ cấu này trở thành Ampe kế có thang đo  $2,5mA$ . Giá trị điện trở Shunt là

A.  $428,57 \Omega$

B.  $30,93 \Omega$

C.  $3 \Omega$

D.  $0,3 k\Omega$

**Câu 19:** Cơ cấu từ điện có độ nhạy  $20k\Omega/V$ , khi kim lệch 25% độ lệch tối đa thì dòng điện đi qua cơ cấu là

A.  $25 \mu A$

B.  $12,5 \mu A$

C.  $50 \mu A$

D.  $100 \mu A$

**Câu 20:** Một Ampe kế từ điện có  $I_{gm} = 50\mu A$ ;  $R_g = 500\Omega$ ;  $R_s = 0,2\Omega$ . Dòng điện lớn nhất mà Ampe kế này có thể đo được là

A.  $125,05 A$

B.  $1,25 A$

C.  $125,05 mA$

D.  $2,5 mA$

**Câu 21:** Một Vôn kế có độ nhạy là  $15k\Omega/V$ , thì tổng trở vào của Vôn kế ở thang đo  $50V$  là:

A.  $750 k\Omega$

B.  $65 k\Omega$

C.  $3,3 k\Omega$

D.  $75 k\Omega$

**Câu 22:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có  $I_{gm} = 100\mu A$ ,  $R_g = 1k\Omega$ , khi trở thành Vôn kế DC có thang đo  $100V$  thì độ nhạy của Vôn kế là:

A.  $1 k\Omega/V$

B.  $10 k\Omega/V$

C.  $100 k\Omega/V$

D.  $1000 k\Omega/V$

**Câu 23:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có  $I_{gm} = 100\mu A$ ,  $R_g = 1k\Omega$ . Điện áp hai đầu cơ cấu từ điện khi kim lệch 50% độ lệch tối đa là

A.  $300 mV$

B.  $100 mV$

C.  $200 mV$

D.  $50 mV$

**Câu 24:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có  $I_{gm} = 50\mu A$ ,  $R_g = 1,2k\Omega$ . Để cơ cấu này trở thành Vôn kế có thang đo  $250V$ . Giá trị điện trở phụ là

A.  $4,99 M\Omega$

B.  $498,8 k\Omega$

C.  $499 k\Omega$

D.  $399 k\Omega$

**Câu 25:** Một Vôn kế từ điện có  $I_{gm} = 75\mu A$ ;  $R_g = 800\Omega$ ;  $R_P = 20k\Omega$ . Điện áp lớn nhất mà Vôn kế này có thể đo được là

- A. 210 V  
B. 1,56 V  
C. 2,08 V  
D. 156 mV

**Câu 26:** Một máy biến dòng điện có tỉ số biến dòng là 25; giá trị dòng điện thứ cấp đọc được là 2,5A thì giá trị thực tế của dòng điện trong mạch là:

- A. 75A  
B. 50 A  
C. 0,1A  
D. 62,5 A

**Câu 27:** Một máy biến dòng điện có thông số 100/5A, được dùng để đo dòng điện trong mạch. Biết khi luôn trực tiếp dây dẫn qua biến dòng thì dòng điện đầu ra đo được là 1,2A. Cường độ dòng điện trong dây dẫn cần đo là

- A. 6 A  
B. 24 A  
C. 20 A  
D. 40 A

**Câu 28:** Một máy biến dòng điện có thông số 150/5A, được dùng để đo dòng điện 45A trong mạch. Biết phía sơ cấp được quấn 2 vòng. Dòng điện đầu ra là

- A. 3 A  
B. 1,5 A  
C. 9 A  
D. 15 A

**Câu 29:** Một máy biến dòng điện có thông số 250/5A, được dùng để đo dòng điện trong mạch. Biết phía sơ cấp được quấn 5 vòng thì dòng điện thứ cấp đo được là 4A. Dòng điện trong mạch là

- A. 200 A  
B. 50 A  
C. 40 A  
D. 20 A

**Câu 30:** Một máy biến dòng điện có thông số 75/5A, được dùng để đo dòng điện 8A trong mạch. Muốn dòng điện đầu ra lớn hơn 2A thì phải quấn sơ cấp ít nhất bao nhiêu vòng?

- A. 2 vòng  
B. 5 vòng  
C. 3 vòng  
D. 4 vòng

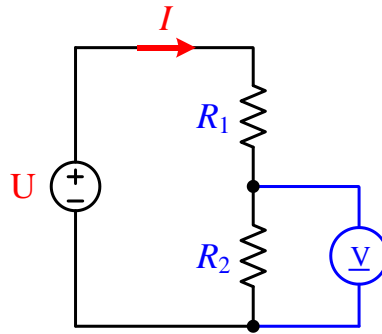
### B – Phần tự luận

**Câu 1:** Trình bày nhiệm vụ của điện trở Shunt trong mạch đo dòng điện? Tìm biểu thức liên hệ giữa điện trở Shunt và giá trị dòng điện cần đo?

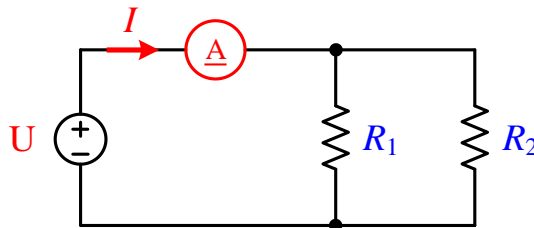
**Câu 2:** Trình bày nhiệm vụ của điện trở phụ trong mạch đo điện áp? Tìm biểu thức liên hệ giữa điện trở phụ và giá trị điện áp cần đo?

**Câu 3:** Cho mạch điện như hình vẽ. Biết  $U = 12V$ ,  $R_1 = 70k\Omega$ ,  $R_2 = 50k\Omega$ , Vôn kế có độ nhạy  $10k\Omega/V$  được dùng để đo điện áp trên điện trở  $R_2$ . Tính sai số của phép đo.

---



**Câu 4:** Cho mạch điện như hình vẽ. Biết  $U = 15V$ ,  $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 2k\Omega$ , Ampe kế có nội trở là  $80\Omega$  được dùng để đo dòng điện trong mạch. Tính sai số của phép đo.



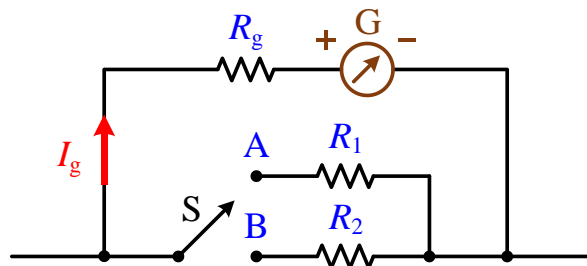
**Câu 5:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có nội trở là  $1,1k\Omega$  và dòng điện làm kim lệch tối đa là  $0,1mA$ . Dùng điện trở Shunt  $0,22\Omega$  để mở rộng thang đo. Tính giá trị dòng điện qua mạch đo trong các trường hợp:

- Khi kim lệch tối đa
- Khi kim ở giữa thang đo
- Khi kim ở vị trí  $1/4$  thang đo

**Câu 6:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có nội trở  $1,2k\Omega$ . Biết khi kim lệch  $60\%FSD$  thì dòng điện qua cơ cấu đo là  $30\mu A$ . Tính điện trở Shunt để cơ cấu đo được dòng điện  $1,5A$ .

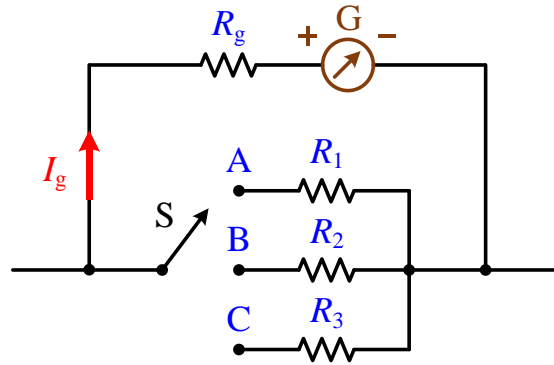
**Câu 7:** Cho mạch đo như hình vẽ. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $100\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1,5k\Omega$ .

- Tính các giá trị điện trở Shunt để có thang đo A là  $1mA$
- Tính các giá trị điện trở Shunt để có thang đo B là  $25mA$

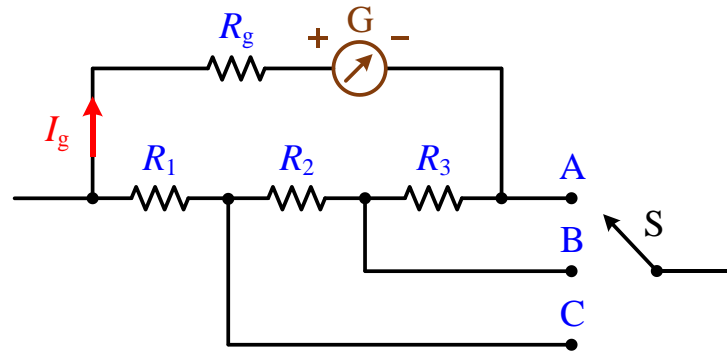


**Câu 8:** Cho mạch đo như hình vẽ. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $1mA$ , nội trở của cơ cấu đo là  $100\Omega$ . Các điện trở tương ứng với mỗi thang đo A, B và C lần lượt có giá trị là  $R_1 = 0,01$ ;  $R_2 = 0,05$ ;  $R_3 = 0,2\Omega$ . Xác định trị số của mỗi thang đo.

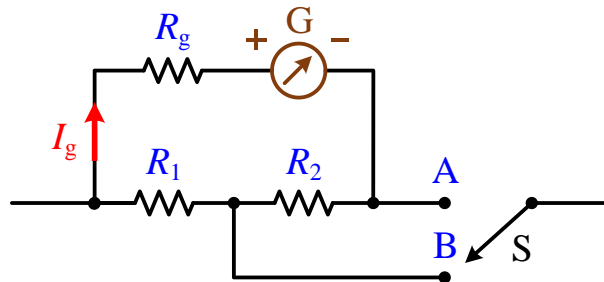




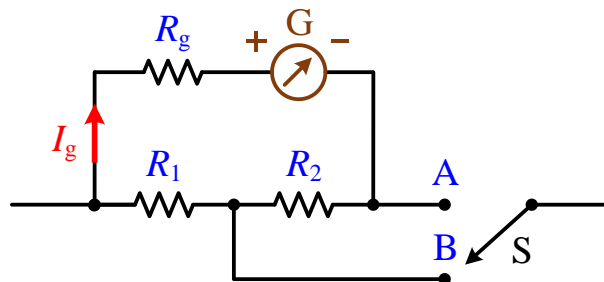
**Câu 9:** Cho mạch Shunt vạn năng như hình vẽ. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $50\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1,2k\Omega$ . Tính giá trị các điện trở để có ba thang đo A, B và C tương ứng với dòng điện  $0,1mA$ ;  $1mA$  và  $10mA$ .



**Câu 10:** Cho mạch Shunt vạn năng hình vẽ. Biết  $I_{gm} = 50\mu A$ ;  $R_g = 1k\Omega$ ;  $R_1 = 0,3\Omega$ ;  $R_2 = 4,7\Omega$ . Xác định trị số của mỗi thang đo.



**Câu 11:** Cho mạch Shunt vạn năng hình vẽ. Biết cơ cấu đo từ điện có nội trở là  $500\Omega$  và khi kim ở giữa thang đo thì dòng điện qua cơ cấu đo là  $60\mu A$ . Tính giá trị các điện trở để có hai thang đo A, B tương ứng với dòng điện  $10mA$ ;  $25mA$ .



**Câu 12:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có giá trị giới hạn đo là  $1mA$ , nội trở của cơ cấu đo là  $70\Omega$  được sử dụng làm Vôn kế DC có tầm đo  $200V$ . Tính giá trị điện trở phụ của Vôn kế.

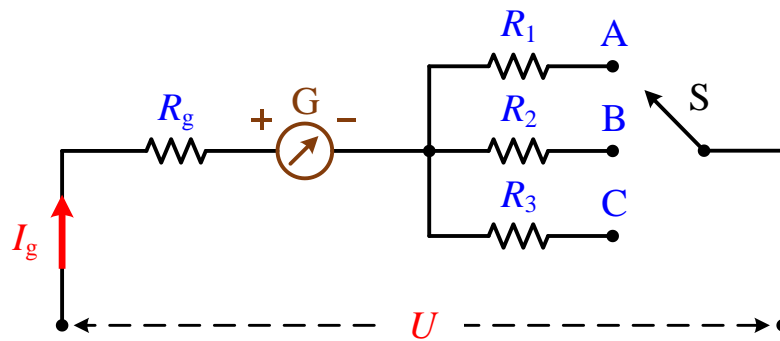
**Câu 13:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có giá trị giới hạn đo là  $75\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $1k\Omega$  được sử dụng làm Vôn kế DC.

a. Tính điện trở phụ để Vôn kế có thang đo  $200V$ .

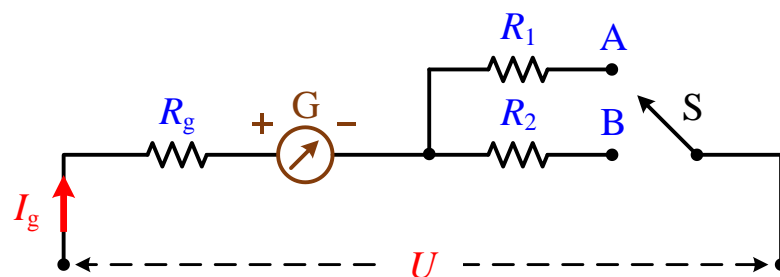
b. Với thang đo  $200V$ , tính điện áp hai đầu Vôn kế khi kim lệch  $40\%$  so với góc lệch cực đại.

**Câu 14:** Một cơ cấu đo kiểu từ điện có nội trở  $250\Omega$ . Biết khi kim lệch  $70\%FSD$  thì dòng điện qua cơ cấu đo là  $140\mu A$ . Tính điện trở phụ để cơ cấu đo được điện áp  $250V$ .

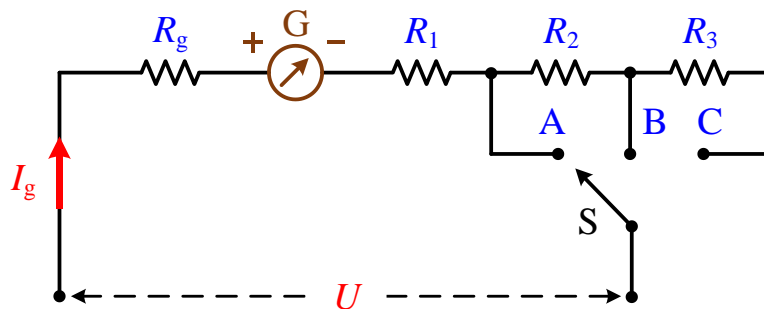
**Câu 15:** Cho mạch điện trở phụ riêng rẽ như hình vẽ. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $250\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $200\Omega$ . Tính các giá trị điện trở phụ để có ba thang đo A, B và C tương ứng với điện áp  $10V$ ;  $50V$  và  $100V$ .



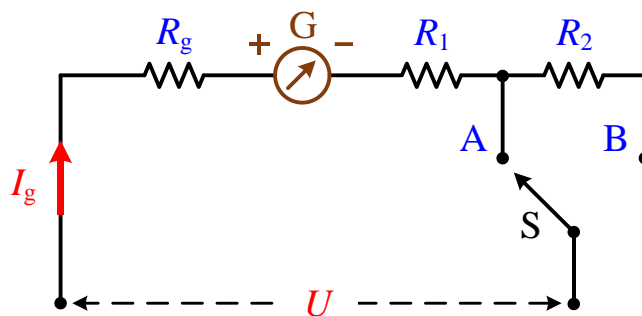
**Câu 16:** Cho mạch điện trở phụ riêng rẽ như hình vẽ. Biết  $I_{gm} = 75\mu A$ ;  $R_g = 660\Omega$ ;  $R_1 = 670k\Omega$ ;  $R_2 = 20M\Omega$ . Xác định trị số của mỗi thang đo.



**Câu 17:** Cho mạch điện trở phụ vạn năng như hình vẽ. Biết cơ cấu đo từ điện có giá trị giới hạn đo là  $150\mu A$ , nội trở của cơ cấu đo là  $350\Omega$ . Tính các giá trị điện trở phụ để có ba thang đo A, B và C tương ứng với điện áp  $10V$ ;  $50V$  và  $150V$ .



**Câu 18:** Cho mạch điện trở phụ riêng rẽ như hình vẽ. Biết  $I_{gm} = 200\mu A$ ;  $R_g = 250\Omega$ ;  $R_1 = 25k\Omega$ ;  $R_2 = 225k\Omega$ . Xác định trị số của mỗi thang đo.





## CHƯƠNG 4

### ĐO ĐIỆN TRỞ

---

---

Sau khi học xong chương 4, sinh viên đạt được kiến thức và kỹ năng sau:

Trình bày được khái niệm, nguyên lý đo điện trở. Đo được điện trở bằng các phương pháp như: sử dụng Vôn kế kết hợp Ampe kế, mạch so sánh, cầu đo. Trình bày được khái niệm, nguyên lý đo điện trở cách điện, điện trở đất.

#### 4.1 Điện trở

##### 4.1.1 Khái quát chung

Điện trở (Resistor) là một linh kiện điện tử giúp cản trở dòng điện trong mạch điện. Nếu một vật dẫn điện tốt thì điện trở nhỏ, vật dẫn điện kém thì điện trở lớn, vật cách điện thì điện trở là vô cùng lớn. Đơn vị của điện trở là Ohm ( $\Omega$ ).

Một Ohm là giá trị điện trở của vật khi đặt giữa hiệu điện thế 1 Vôn thì có dòng điện với cường độ 1 Ampe chạy qua, các ước số - bội số của đơn vị đo Ohm là:

Đơn vị	Giá trị	Tên đơn vị
T $\Omega$	$1 \cdot 10^{12} \Omega$	Teraohm
G $\Omega$	$1 \cdot 10^9 \Omega$	Gigaohm
M $\Omega$	$1 \cdot 10^6 \Omega$	Megaohm
k $\Omega$	$1 \cdot 10^3 \Omega$	kiloohm
m $\Omega$	$1 \cdot 10^{-3} \Omega$	miliohm
$\mu\Omega$	$1 \cdot 10^{-6} \Omega$	microohm
n $\Omega$	$1 \cdot 10^{-9} \Omega$	nanoohm
p $\Omega$	$1 \cdot 10^{-12} \Omega$	picoohm

**Bảng 4.1:** Các ước số và bội số của đơn vị đo Ohm.

• **Điện trở của dây dẫn:**

Điện trở của dây dẫn phụ thuộc vào bốn yếu tố sau:

- + Tiết diện của dây dẫn
- + Chiều dài của dây dẫn
- + Vật liệu để chế tạo dây dẫn
- + Nhiệt độ của dây dẫn

Ở nhiệt độ nhất định, điện trở của dây dẫn được tính theo công thức:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (4.1)$$

Trong đó:

$R$  : điện trở của vật dẫn ( $\Omega$ )

$l$  : chiều dài của vật dẫn (m)

$S$  : tiết diện của vật dẫn ( $m^2$ )

$\rho$  : đại lượng đặc trưng khả năng cản trở dòng điện của mỗi chất, gọi là điện trở suất của vật dẫn ( $\Omega.m$ )

Vật liệu	Điện trở suất
Bạc	$1,59 \times 10^{-8}$
Đồng	$1,72 \times 10^{-8}$
Vàng	$2,44 \times 10^{-8}$
Nhôm	$2,82 \times 10^{-8}$
Kẽm	$0,8 \times 10^{-7}$
Sắt	$1,0 \times 10^{-7}$
Chì	$2,2 \times 10^{-7}$

**Bảng 4.2:** Điện trở suất của một số vật liệu ở nhiệt độ  $20^\circ C$

Khi nhiệt độ thay đổi thì điện trở suất của dây dẫn cũng thay đổi theo công thức:

$$\rho = \rho_0 (1 + a.t) \quad (4.2)$$

Trong đó:

$\rho$  : điện trở suất ở  $0^\circ C$  ( $\Omega.m$ )

$a$  : hệ số nhiệt

$t$  : nhiệt độ ( $^{\circ}\text{C}$ )

**Ví dụ 4.1:** Một cuộn dây dẫn bằng đồng dài 120m, có tiết diện  $1\text{mm}^2$ . Biết điện trở suất của đồng là  $1,72 \cdot 10^{-8} (\Omega \cdot \text{m})$ . Tính điện trở của cuộn dây.

**Giải:**

Điện trở của cuộn dây đồng là:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 1,72 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{120}{1 \cdot 10^{-6}} = 2,06 \Omega$$

• **Điện trở trong các thiết bị, mạch điện:**

Ký hiệu của điện trở trong mạch điện:

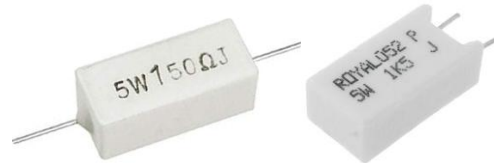


**Hình 4.1:** Ký hiệu điện trở

Hình ảnh thực tế một số điện trở:



(a) Điện trở 0.5W



(b) Điện trở 5W



(c) Điện trở 50W



(d) Điện trở 200W

**Hình 4.2:** Hình dạng một số điện trở

Hai thông số cơ bản của điện trở là giá trị và công suất tiêu tán cho phép của điện trở.

**Ví dụ 4.2:** Một điện trở có thông số:  $5\Omega/20\text{W}$ , nghĩa là điện trở có giá trị là  $5\Omega$  và công suất cho phép của điện trở là  $20\text{W}$ . Từ công suất  $20\text{W}$ , có thể tính được điện áp tối đa đặt lên hai đầu điện trở là  $10\text{V}$ . Như vậy, nếu điện áp đặt lên điện trở quá  $10\text{V}$  sẽ làm hỏng điện trở.

Một số giá trị điện trở thông dụng:

0,1 $\Omega$ ; 0,12 $\Omega$ ; 0,15 $\Omega$ ; 0,18 $\Omega$ ; 0,22 $\Omega$ ; 0,27 $\Omega$ ; 0,33 $\Omega$ ; 0,39 $\Omega$ ; 0,47 $\Omega$ ; 0,56 $\Omega$ ; 0,68 $\Omega$ ;  
0,82 $\Omega$ ; 1 $\Omega$ ; 1,2 $\Omega$ ; 1,5 $\Omega$ ; 1,8 $\Omega$ ; 2,2 $\Omega$ ; ... 1k $\Omega$ ; 1,2k $\Omega$ ; 1,5k $\Omega$ ; 1,8k $\Omega$ ; 2,2k $\Omega$ ; ... 10k $\Omega$ ;  
12k $\Omega$ ; 15k $\Omega$ ; 18k $\Omega$ ; 22k $\Omega$ ; ...

- **Cách đọc giá trị điện trở:**

- + *Giá trị điện trở được ghi trực tiếp:*

Một số điện trở, thường là điện trở công suất lớn, được nhà sản xuất ghi giá trị điện trở và công suất cho phép trực tiếp lên thân điện trở.

- + *Giá trị điện trở được sơn bằng mã màu:*

Phần lớn các điện trở sử dụng trong mạch điện đều được ghi giá trị theo mã màu. Theo tiêu chuẩn quốc tế, vòng màu trên điện trở được quy ước thành các chữ số theo bảng sau:

Màu trên thân điện trở	Giá trị tương ứng	Sai số
Đen	0	
Nâu	1	$\pm 1\%$
Đỏ	2	$\pm 2\%$
Cam	3	
Vàng	4	
Xanh lá	5	
Xanh lơ	6	
Tím	7	
Xám	8	
Trắng	9	
Vàng ánh		$\pm 5\%$
Bạc		$\pm 10\%$

**Bảng 4.3:** Tiêu chuẩn quốc tế về vòng màu trên điện trở



- Cách đọc điện trở theo màu:

+ Đối với điện trở 4 vòng màu:

Vòng 1: chỉ giá trị hàng chục trong giá trị điện trở

Vòng 2: chỉ giá trị hàng đơn vị trong giá trị điện trở

Vòng 3: chỉ số các số không theo sau giá trị điện trở

Vòng 4: chỉ giá trị sai số của điện trở

+ Đối với điện trở 5 vòng màu:

Vòng 1: chỉ giá trị hàng trăm trong giá trị điện trở

Vòng 2: chỉ giá trị hàng chục trong giá trị điện trở

Vòng 3: chỉ giá trị hàng đơn vị trong giá trị điện trở

Vòng 4: chỉ số các số không theo sau giá trị điện trở

Vòng 5: chỉ giá trị sai số của điện trở

**Ví dụ 4.3:** Một điện trở 4 vòng màu có các màu theo thứ tự là nâu, đen, cam, vàng ánh.

Giá trị điện trở được tính như sau:

nâu	đen	cam	vàng ánh
1	0	000	$\pm 5\%$

Kết quả:  $10000\Omega \pm 5\%$  hay  $10k\Omega \pm 5\%$

**Ví dụ 4.4:** Một điện trở 5 vòng màu có các màu theo thứ tự là đỏ, vàng, cam, đen, nâu. Giá trị điện trở được tính như sau:

đỏ	vàng	cam	đen	nâu
2	4	3	-	$\pm 1\%$

Kết quả:  $243\Omega \pm 1\%$

+ Giá trị điện trở được ghi bằng mã số:

Giá trị điện trở ghi theo mã số thường chỉ dùng cho các điện trở có kích thước nhỏ. Giá trị điện trở được ghi dưới dạng mã số, được định nghĩa lần lượt như sau:

Giá trị thứ 1 là số hàng chục. Giá trị thứ 2 là số hàng đơn vị. Giá trị thứ 3 là số các số không theo sau số được tạo từ giá trị 1 và 2.

**Ví dụ 4.5:**

$$+ 472 = 4700 \Omega = 4,7 k\Omega$$

$$+ 332 = 3300 \Omega = 3,3 k\Omega$$

### 4.1.2 Phân loại điện trở

Tùy theo mục đích sử dụng mà người ta sản xuất ra các loại điện trở với tính chất khác nhau.

- **Phân loại theo tính chất dẫn điện của điện trở**

Điện trở tuyến tính: là điện trở có trở kháng không đổi khi gia tăng sự chênh lệch điện áp trên nó.

Điện trở phi tuyến tính: là điện trở thay đổi khi có dòng điện đi qua, cụ thể nó sẽ tỷ lệ thuận với sự chênh lệch điện áp trên nó

- **Phân loại theo giá trị của điện trở**

Giá trị của điện trở được phân theo 3 cấp:

- + Điện trở có trở kháng thấp: là tất cả các điện trở có trở kháng thấp hơn  $1\Omega$ .
- + Điện trở có trở kháng trung bình: là tất cả các điện trở có trở kháng từ  $1\Omega$  đến  $100k\Omega$ .
- + Điện trở có trở kháng cao: là tất cả các điện trở có trở kháng từ  $100k\Omega$  trở lên.

- **Phân loại theo chức năng của điện trở**

Biến trở: là loại điện trở có giá trị thay đổi, dùng để thay đổi giá trị điện trở trong quá trình sử dụng.



(a) Hình dạng biến trở

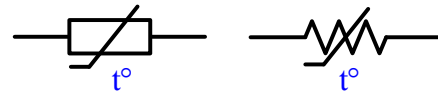
(b) Ký hiệu

**Hình 4.3:** Hình dạng và ký hiệu của biến trở

Nhiệt điện trở (Thermistor): là loại điện trở có giá trị điện trở thay đổi theo nhiệt độ. Do hiệu ứng tự làm nóng của dòng điện trong một điện trở nhiệt, các thiết bị tự thay đổi trở kháng với những thay đổi của dòng điện. Có 2 loại nhiệt trở: Nhiệt trở có hệ số nhiệt dương (điện trở tăng khi nhiệt độ tăng) và nhiệt trở có hệ số nhiệt âm (điện trở giảm khi nhiệt độ tăng).



(a) Hình dạng nhiệt điện trở



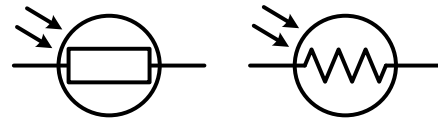
(b) Ký hiệu

**Hình 4.4:** Hình dạng và ký hiệu của nhiệt điện trở

Quang trở (Photoresistor / LDR: Light Dependent Resistor): là loại điện trở nhạy cảm với bức xạ điện từ quanh phổ ánh sáng nhìn thấy. Quang trở có giá trị điện trở thay đổi phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu vào nó. Cường độ ánh sáng càng mạnh thì giá trị điện trở càng giảm và ngược lại.



(a) Hình dạng quang trở



(b) Ký hiệu

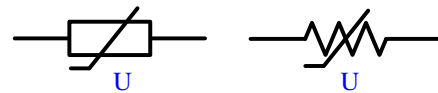
**Hình 4.5:** Hình dạng và ký hiệu quang trở

Điện trở phụ thuộc áp (Varistor / VDR: Voltage Dependent Resistor): là loại điện trở có giá trị thay đổi theo điện áp đặt vào hai cực. Khi điện áp giữa hai cực của VDR nhỏ hơn điện áp quy định thì VDR có giá trị rất lớn, xem như hở mạch. Khi điện áp giữa hai cực của VDR tăng cao quá mức quy định thì VDR có điện trở rất nhỏ, xem như nối tắt.

VDR có hình dạng giống như nhiệt điện trở.



(a) Hình dạng VDR



(b) Ký hiệu

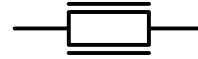
**Hình 4.6:** Hình dạng và ký hiệu VDR

Điện trở cầu chì (Fusistor): là loại điện trở có trị số rất nhỏ, được thiết kế để nóng chảy khi dòng điện vượt mức cho phép. Lúc này, điện trở cầu chì vừa là điện trở vừa là cầu chì. Khi công suất không bị vượt quá nó hoạt động như một điện trở. Khi công suất vượt quá

mức cho phép nó có chức năng như một cầu chì, nó nóng chảy và làm hở mạch để bảo vệ các thành phần khác trong mạch không bị dòng điện quá mức chạy qua.



(a) Hình dạng điện trở cầu chì

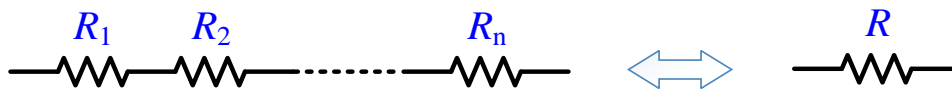


(b) Ký hiệu

**Hình 4.7:** Hình dạng và ký hiệu của điện trở cầu chì

### 4.1.3 Ghép điện trở

- Ghép điện trở nối tiếp



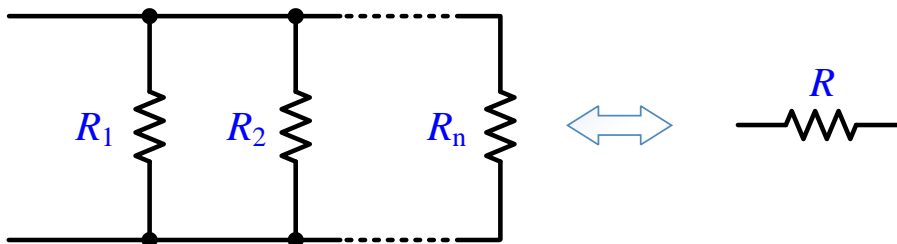
**Hình 4.8:** Ghép các điện trở nối tiếp

Điện trở ghép nối tiếp có điện trở tương đương được tính theo công thức:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (4.3)$$

Khi các điện trở mắc nối tiếp nhau thì điện trở tương đương có trị số bằng tổng trị số các điện trở thành phần.

- Ghép điện trở song song



**Hình 4.9:** Ghép các điện trở song song

Điện trở ghép song song có điện trở tương đương được tính theo công thức:

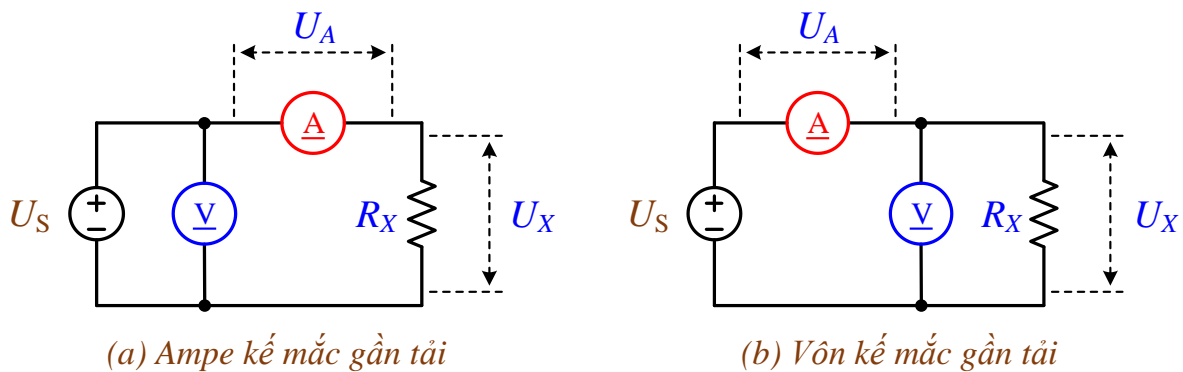
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4.4)$$

Khi các điện trở mắc song song nhau, nghịch đảo hệ số điện trở tương đương bằng tổng nghịch đảo của các hệ số điện trở thành phần.

## 4.2 Phương pháp đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế

Điện trở có thể được đo bằng phương pháp trực tiếp hoặc gián tiếp. Khi ta dùng Vôn kế và Ampe kế để đo điện áp và dòng điện chạy qua điện trở sau đó dùng công thức để tính ra điện trở được gọi là phép đo gián tiếp, cách đo này thực hiện khi điện trở đang có điện áp và dòng điện chạy qua nên còn gọi là cách đo nóng.

Sơ đồ mạch đo:



**Hình 4.10:** Mạch đo điện trở  $R_x$  dùng Vôn kế và Ampe kế

- **Mạch đo điện trở - Ampe kế mắc gần tải**

Xét mạch đo hình 4.10a.

Gọi:  $U$  : số chỉ của Vôn kế (V)

$I$  : số chỉ của Ampe kế (A)

$U_X$  : điện áp rơi trên điện trở (V)

$U_A$  : điện áp rơi trên Ampe kế (V)

$R_A$  : nội trở của Ampe kế ( $\Omega$ )

Điện trở cần đo  $R_x$  được tính theo công thức:

$$R_x = \frac{U}{I} \quad (4.5)$$

Tuy nhiên, giá trị thực của điện trở cần đo được tính như sau:

$$R_x = \frac{U_X}{I} = \frac{U - U_A}{I} = \frac{U}{I} - R_A \quad (4.6)$$

Sai số của phép đo :

$$\delta_R = \frac{|R_x - (R_A + R_x)|}{R_x} \cdot 100 = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100 \quad (4.7)$$

Để giảm thiểu sai số phép đo, thì điện trở cần đo  $R_X$  phải lớn hơn nhiều lần nội trở của Ampe kế  $R_A$ .

**Ví dụ 4.6:** Cho mạch đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế, với Ampe kế mắc gần tải như hình 4.10a. Biết điện áp nguồn  $U_S$  là 36V, nội trở của Ampe kế là  $4\Omega$ , dòng điện đo được từ Ampe kế là 0,3A.

- Tính giá trị điện trở  $R_X$ .
- Tính sai số phép đo.

**Giải:**

- Giá trị điện trở  $R_X$  là:

$$R_A + R_X = \frac{U}{I} \Rightarrow R_X = \frac{U}{I} - R_A = \frac{36}{0,3} - 4 = 116\Omega$$

- Sai số phép đo là:

$$\delta_R = \frac{R_A}{R_X} \cdot 100 = \frac{4}{116} \cdot 100 = 3,45\%$$

• **Mạch đo điện trở - Vôn kế mắc gần tải**

Xét mạch đo hình 4.10b.

Gọi:  $U$  : số chỉ của Vôn kế (V)

$I$  : số chỉ của Ampe kế (A)

$I_X$  : dòng điện chạy qua điện trở (A)

$I_V$  : dòng điện chạy qua Vôn kế (A)

$R_V$  : nội trở của Vôn kế ( $\Omega$ )

Giá trị thực của điện trở cần đo được tính như sau:

$$R_X = \frac{U}{I_X} = \frac{U}{I - I_V} \quad (4.8)$$

Sai số của phép đo :

$$\delta_R = \frac{|R_X - (R_X // R_V)|}{R_X} \cdot 100 = \left(1 - \frac{R_V}{R_V + R_X}\right) \cdot 100 \quad (4.9)$$

Để giảm thiểu sai số phép đo, thì điện trở cần đo  $R_X$  phải nhỏ hơn nhiều lần nội trở của Vôn kế  $R_V$ .

---

**Ví dụ 4.7:** Cho mạch đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế, với Ampe kế mắc gần tải như hình 4.10b. Biết điện áp nguồn  $U_s$  là 36V, độ nhạy của Vôn kế là  $10k\Omega/V$ , chỉ số từ Ampe kế và Vôn kế lần lượt là 0,3A; 34,8V.

- Tính giá trị điện trở nội của Ampe kế.
- Tính giá trị điện trở  $R_x$ .
- Tính sai số phép đo.

**Giải:**

- Giá trị điện trở nội của Ampe kế là:

$$R_A = \frac{U_s - U}{I} \Rightarrow R_A = \frac{36 - 34,8}{0,3} = 4\Omega$$

- Nội trở của Vôn kế là:

$$R_V = 34,8 \cdot 10 = 348k\Omega$$

Dòng điện qua Vôn kế là:

$$I_V = \frac{U}{R_V} = \frac{34,8V}{348k\Omega} = 34,8 \cdot 10^{-6} = 0,1mA$$

Giá trị điện trở  $R_x$  là:

$$R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - I_V} = \frac{34,8V}{0,3A - 0,1mA} \approx 116\Omega$$

- Sai số phép đo là:

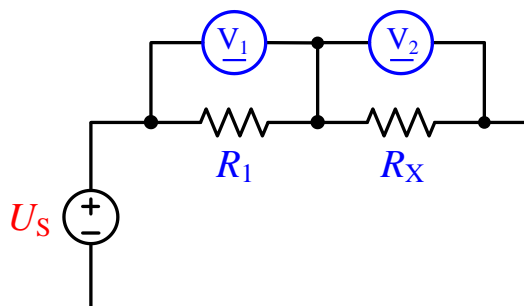
$$\delta_R = \left(1 - \frac{R_V}{R_V + R_x}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{348 \cdot 10^3}{348 \cdot 10^3 + 116}\right) \cdot 100 = 0,033\%$$

**Kết luận:**

Trong trường hợp tải có trở kháng khá nhỏ so với Vôn kế, cách mắc Vôn kế gần tải cho kết quả tốt hơn.

### 4.3 Phương pháp đo điện trở dùng cầu phân áp, cầu chia dòng

#### 4.3.1 Đo điện trở dùng cầu phân áp (so sánh áp)



*Hình 4.11: Mạch đo điện trở  $R_x$  dùng cầu phân áp*

Gọi:  $U_1$  : số chỉ của Vôn kế  $V_1$  (V)

$U_2$  : số chỉ của Vôn kế  $V_2$  (V)

$I$  : dòng điện chạy trong mạch (A)

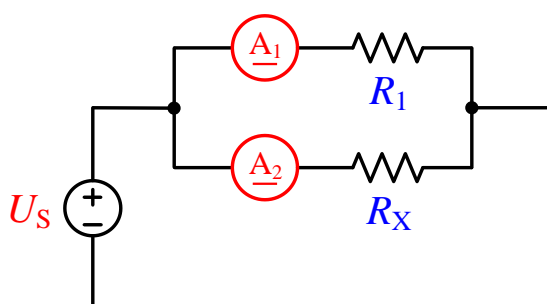
Ta có:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I \cdot R_1}{I \cdot R_x} = \frac{R_1}{R_x} \quad (4.10)$$

$$\Rightarrow R_x = R_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} \quad (4.11)$$

Sai số của phép đo chủ yếu do nội trở của Vôn kế.

#### 4.3.2 Đo điện trở dùng cầu chia dòng (so sánh dòng)



*Hình 4.12: Mạch đo điện trở  $R_x$  dùng cầu chia dòng*

Gọi:  $I_1$  : số chỉ của Ampe kế  $A_1$  (A)

$I_2$  : số chỉ của Ampe kế  $A_2$  (A)

Ta có:



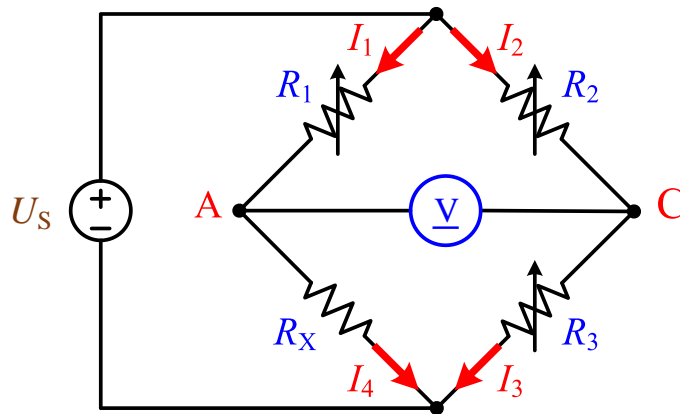
$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_x \quad (4.12)$$

$$\Rightarrow R_x = R_1 \cdot \frac{I_1}{I_2} \quad (4.13)$$

Sai số của phép đo chủ yếu do nội trở của Ampe kế.

#### 4.4 Phương pháp đo điện trở dùng cầu Wheatstone

Cầu đo Wheatstone hay còn gọi là cầu điện trở ban đầu được phát triển bởi Charles Wheatstone để đo giá trị điện trở chưa biết. Mặc dù ngày nay, rất đơn giản để đo được giá trị điện trở bằng đồng hồ vạn năng, tuy nhiên cầu điện trở không chỉ được ứng dụng để đo điện trở, mà được dụng nhiều trong các loại cảm biến sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp.



**Hình 4.13:** Mạch cầu Wheatstone

Xét mạch cầu Wheatstone được mắc như hình 4.13.

Trong đó:

$R_1, R_2, R_3$  là các điện trở mẫu có thể thay đổi trị số

$R_x$  là điện trở cần đo

Điều chỉnh các giá trị điện trở  $R_1, R_2, R_3$  cho đến khi điện áp trên Vôn kế chỉ 0, nghĩa là cầu đo cân bằng. Khi đó:

$$U_A = U_C \quad \text{và} \quad \begin{cases} I_1 = I_4 \\ I_2 = I_3 \end{cases} \quad (4.14)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} U_{R1} = U_{R2} \\ U_{RX} = U_{R3} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 \\ I_4 \cdot R_x = I_3 \cdot R_3 \end{cases} \quad (4.15)$$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3} \text{ hay } R_x = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2} \quad (4.16)$$

Điều kiện để cầu Wheatstone cân bằng là:

$$R_1 R_3 = R_2 R_x \quad (4.17)$$

*Nhận xét:*

Phương trình cân bằng của cầu Wheatstone rất thuận tiện để tính toán giá trị điện trở chưa biết khi cầu đạt trạng thái cân bằng.

Kết quả đo không phụ thuộc vào nguồn cung cấp.

Độ chính xác của kết quả phụ thuộc vào các điện trở thành phần trong mạch cầu và độ chính xác của thiết bị đo.

**Ví dụ 4.8:** Cho mạch cầu đo điện trở như hình 4.13. Giả sử cầu đo cân bằng. Biết  $R_1 = 12k\Omega$ ,  $R_2 = 15k\Omega$ ,  $R_3 = 40k\Omega$ . Xác định điện trở  $R_x$  trong mạch.

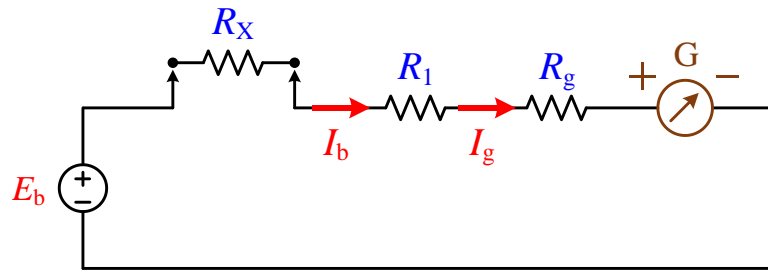
**Giải:**

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2} = \frac{12 \cdot 40}{15} = 32k\Omega$$

## 4.5 Phương pháp đo điện trở dùng Ohm 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 người ta chế tạo dụng cụ đo trực tiếp giá trị của điện trở gọi là Ohm kế hay Ohmmet. Ohm kế được hiểu là bất cứ thiết bị đo có thang đo điện trở. Trong đồng hồ đo vạn năng (Multimeter VOM) có phần đo điện trở (Ohm kế). Khi cần đo điện trở, bắt buộc đồng hồ đo phải có pin (nguồn năng lượng riêng) do phần tử điện trở không mang năng. Phép đo sử dụng Ohm kế được gọi là phép trực tiếp, điện trở khi đo được loại khỏi mạch điện nên được gọi là phép đo ngược.

Sơ đồ nguyên lý của Ohm kế từ điện:



Hình 4.14: Sơ đồ nguyên lý Ohm kế dùng cơ cấu đo từ điện

Điện trở cần đo  $R_X$  được mắc nối tiếp với cơ cấu chỉ thị nên cách đo này gọi là đo nối tiếp. Dòng điện qua cơ cấu đo là:

$$I_b = I_g = \frac{E_b}{R_X + R_1 + R_g} \quad (4.18)$$

Trong đó:

- $I_g$  : dòng điện qua cơ cấu đo (A)
- $I_b$  : dòng điện qua điện trở  $R_X$  (A)
- $E_b$  : điện áp của nguồn pin (V)
- $R_X$  : điện trở cần đo ( $\Omega$ )
- $R_1$  : điện trở cân bằng thang đo ( $\Omega$ )
- $R_g$  : điện trở nội của cơ cấu đo ( $\Omega$ )

Cơ cấu có nội trở  $R_g$ , được mắc vào mạch có nguồn  $E_b$ . Khi đo điện trở  $R_X$ , dòng điện đi qua cơ cấu sẽ đạt giá trị cực đại khi  $R_X = 0$ , nếu dòng điện này vượt quá giới hạn cơ cấu sẽ gây hư hỏng. Để tránh sự cố này người ta dùng thêm điện trở cân bằng thang đo  $R_1$  để giới hạn dòng điện chạy qua cơ cấu, khi  $I_g = I_{gm}$  thì  $R_X = 0$  như vậy  $R_1$  có tác dụng bảo vệ cơ cấu đo.

Khi  $R_X = 0$  (ngắn mạch  $R_X$ ), dòng  $I_g = I_{gm}$ , góc lệch kim chỉ thị là lớn nhất.

Khi  $R_X = \infty$  (hở mạch  $R_X$ ), dòng  $I_g = 0$ , góc lệch kim chỉ thị bằng 0.

Như vậy, khi đo điện trở càng nhỏ thì góc quay của kim càng lớn. Thang đo điện trở được sắp xếp theo giá trị ngược với thang đo điện áp, dòng điện. Trong công thức tính dòng điện  $I_g$  qua cơ cấu đo, ta thấy dòng điện chạy qua cơ cấu không tỉ lệ bậc nhất với điện trở cho nên thang đo điện trở có độ chia không đều.



**Hình 4.15:** Thang đo không tuyến tính của Ohm kế từ điện

**Ví dụ 4.9:** Cho mạch đo điện trở như hình 4.14. Biết điện áp nguồn pin là 1,5V;  $R_1 + R_g = 15k\Omega$ , cơ cấu từ điện có  $I_{gm} = 100\mu A$ .

- Tính dòng điện qua cơ cấu đo khi  $R_X = 0\Omega$
- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 25\% \cdot I_{gm}$
- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 50\% \cdot I_{gm}$
- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 75\% \cdot I_{gm}$

**Giải:**

- Khi  $R_X = 0\Omega$ , dòng điện qua cơ cấu đo là:

$$I_g = \frac{E_b}{R_X + R_1 + R_g} = \frac{1,5V}{0\Omega + 15k\Omega} = 100\mu A$$

$\Rightarrow I_g = I_{gm}$ , góc lệch kim chỉ thị là lớn nhất.

- Khi  $I_g = 25\% \cdot I_{gm} = 25\mu A$ , giá trị của điện trở  $R_X$  là:

$$R_X = \frac{E_b}{I_g} - R_g - R_1 = \frac{1,5V}{25\mu A} - 15k\Omega = 45k\Omega$$

- Khi  $I_g = 50\% \cdot I_{gm} = 50\mu A$ , giá trị của điện trở  $R_X$  là:

$$R_X = \frac{E_b}{I_g} - R_g - R_1 = \frac{1,5V}{50\mu A} - 15k\Omega = 15k\Omega$$

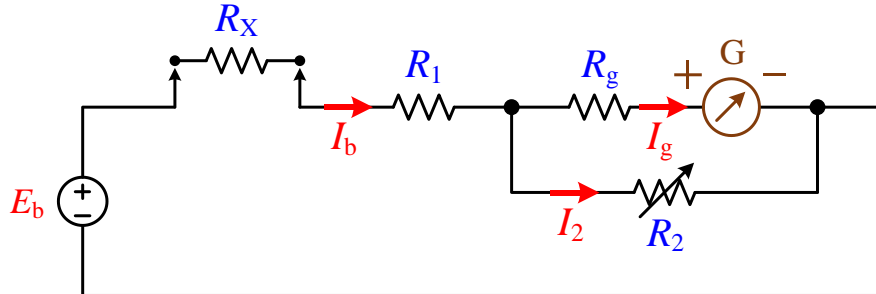
- Khi  $I_g = 75\% \cdot I_{gm} = 75\mu A$ , giá trị của điện trở  $R_X$  là:

$$R_X = \frac{E_b}{I_g} - R_g - R_1 = \frac{1,5V}{75\mu A} - 15k\Omega = 5k\Omega$$

Trong thực tế nguồn pin  $E_b$  sẽ giảm dần theo thời gian. Do vậy khi  $R_X = 0$  thì dòng điện chạy qua cơ cấu sẽ không đạt giá trị  $I_{gm}$ . Để có thể điều chỉnh dòng điện chạy qua cơ cấu

trở lại giá trị  $I_{gm}$ , một biến trở  $R_2$  được mắc song song với cơ cấu như mô tả trong hình 4.16.

Sơ đồ nguyên lý của Ohm kế từ điện có cân chỉnh “0Ω”:



**Hình 4.16:** Sơ đồ nguyên lý của Ohm kế có cân chỉnh “0Ω”

Trước mỗi lần đo điện trở, ta phải ngắt mạch 2 que đo ( $R_X$  được nối tắt), sau đó điều chỉnh biến trở  $R_2$  sao cho kim chỉ thị của Ohm kế chỉ đúng 0Ω. Núm điều chỉnh biến trở  $R_2$  được đưa ra trước mặt máy và thường ký hiệu là “Ω”.

Dòng điện qua điện trở cần đo  $R_X$  trong trường hợp có biến trở cân chỉnh  $R_2$  là:

$$I_b = \frac{E_b}{R_X + R_1 + (R_2 // R_g)} \quad (4.19)$$

Trong đó:

$I_b$  : dòng điện qua điện trở  $R_X$  (A)

$E_b$  : điện áp của nguồn pin (V)

$R_X$  : điện trở cần đo (Ω)

$R_g$  : điện trở nội của cơ cấu đo (Ω)

$R_1$  : điện trở cân bằng thang đo (Ω)

$R_2$  : điện trở cân chỉnh 0Ω (Ω)

Dòng điện qua cơ cấu đo trong trường hợp có biến trở cân chỉnh  $R_2$  là:

$$I_g = \frac{U_g}{R_g} = \frac{I_b \cdot (R_2 // R_g)}{R_g} \quad (4.20)$$

Trong đó:

$I_g$  : dòng điện qua cơ cấu đo (A)

$U_g$  : điện áp của cơ cấu đo (V)

Từ phương trình (4.19) và (4.20), ta có:

$$I_g = \frac{E_b}{R_X + R_1 + \frac{R_2 \cdot R_g}{R_2 + R_g}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_g} \quad (4.21)$$

Trước khi đo,  $R_X$  được nối tắt ( $R_X = 0$ ), điều chỉnh  $R_2$  để dòng điện qua cơ cấu đo là cực đại ( $I_g = I_{gm}$ ), giá trị dòng điện cực đại là:

$$I_g = I_{gm} = \frac{E_b}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_g}{R_2 + R_g}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_g} \quad (4.22)$$

Nếu  $(R_2 // R_g) \ll R_1$  thì:

$$I_b \approx \frac{E_b}{R_X + R_1} \quad (4.23)$$

$$\Rightarrow I_g \approx \frac{E_b}{R_X + R_1} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_g} \quad (4.24)$$

**Ví dụ 4.10:** Cho mạch đo điện trở như sơ đồ hình 4.16. Biết  $E_b = 1,5V$ ;  $R_1 = 15k\Omega$ ;  $I_{gm} = 50\mu A$  và  $R_g = R_2 = 1k\Omega$ .

- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 50\% \cdot I_{gm}$
- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 75\% \cdot I_{gm}$
- Tính dòng điện qua cơ cấu đo khi  $R_X = 0\Omega$  và sai số do phép toán gần đúng gây ra?
- Giả sử sau một thời gian hoạt động, nguồn  $E_b$  giảm xuống còn 1,3V. Biết rằng biến trở đã được điều chỉnh để khi  $R_X = 0$  thì  $I_g = I_{gm}$ . Tính giá trị của biến trở  $R_2$  lúc này?
- Với  $E_b = 1,3V$  và  $R_2$  vừa tìm được, tính lại giá trị của  $R_X$  khi  $I_g = 50\% \cdot I_{gm}$

**Giải:**

Vì  $(R_2 // R_g) \ll R_1$ , nên bài toán giải theo cách tính gần đúng.

- Dòng điện qua cơ cấu đo khi  $I_g = 50\% \cdot I_{gm}$  là:

$$I_g = 50\% \cdot I_{gm} = \frac{1}{2} \cdot 50\mu A = 25\mu A$$

Dòng điện qua  $R_X$  là:

$$I_b = I_g + I_2 = I_g + \frac{I_g \cdot R_g}{R_2} = 25\mu A + \frac{25\mu A \cdot 1k\Omega}{1k\Omega} = 50\mu A$$

$$\text{Vi: } I_b \approx \frac{E_b}{R_X + R_1} \quad \Rightarrow R_X + R_1 \approx \frac{E_b}{I_b}$$

$$\Rightarrow R_x \approx 15k\Omega$$

b. Dòng điện qua cơ cấu đo khi  $I_g = 75\% \cdot I_{gm}$  là

$$I_g = 70\% \cdot I_{gm} = \frac{3}{4} \cdot 50 = 37,5\mu A$$

Dòng điện qua  $R_x$  là:

$$I_b = I_g + I_2 = I_g + \frac{I_g \cdot R_g}{R_2} = 37,5\mu A + \frac{37,5\mu A \cdot 1k\Omega}{1k\Omega} = 75\mu A$$

$$R_x \approx \frac{E_b}{I_b} - R_1 \Rightarrow R_x \approx 5k\Omega$$

c. Theo cách tính chính xác, khi  $R_x = 0\Omega$ , dòng điện qua cơ cấu đo là:

$$I_g = \frac{E_b}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_g}{R_2 + R_g}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_g} = \frac{1,5V}{15k\Omega + \frac{1k\Omega \cdot 1k\Omega}{1k\Omega + 1k\Omega}} \cdot \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 1k\Omega} = 48,39\mu A$$

Theo cách tính gần đúng, khi  $R_x = 0\Omega$ , dòng điện qua cơ cấu đo là:

$$I'_g \approx \frac{E_b}{R_1} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_g} = \frac{1,5V}{15k\Omega} \cdot \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 1k\Omega} = 50\mu A$$

Sai số do phép toán gần đúng gây ra là:

$$\delta_I = \frac{|I_g - I'_g|}{I_g} \cdot 100 = \frac{|48,39 - 50|}{48,39} \cdot 100 = 3,33\%$$

d. Khi  $E_b = 1,3V$ . Dòng điện qua  $R_x$  là:

$$I_b \approx \frac{E_b}{R_x + R_1} = \frac{1,3V}{0 + 15k\Omega} = 86,67\mu A$$

Giá trị của biến trở  $R_2$  được điều chỉnh cho phù hợp với nguồn 1,3V là:

$$R_2 = \frac{I_g \cdot R_g}{I_2} = \frac{I_{gm} \cdot R_g}{I_b - I_g} = \frac{50\mu A \cdot 1k\Omega}{86,67\mu A - 50\mu A} = 1,36k\Omega$$

e. Khi  $I_g = 25\mu A$ , dòng điện qua  $R_x$  là:

$$I_b = I_g + I_2 = I_g + \frac{I_g \cdot R_g}{R_2} = 25\mu A + \frac{25\mu A \cdot 1k\Omega}{1,36k\Omega} = 43,38\mu A$$

$$R_x \approx \frac{E_b}{I_b} - R_1 \Rightarrow R_x \approx 14,96k\Omega$$


---

## 4.6 Phương pháp đo điện trở có trị số lớn

Trong phần này chúng ta đề cập đến phương pháp đo điện trở có giá trị lớn (vào khoảng vài Megaohm trở lên) dùng Vôn kế, Ampe kế, Megohm kế chuyên dụng.

### 4.6.1 Đo điện trở cách điện dùng Vôn kế và Micro Ampe kế

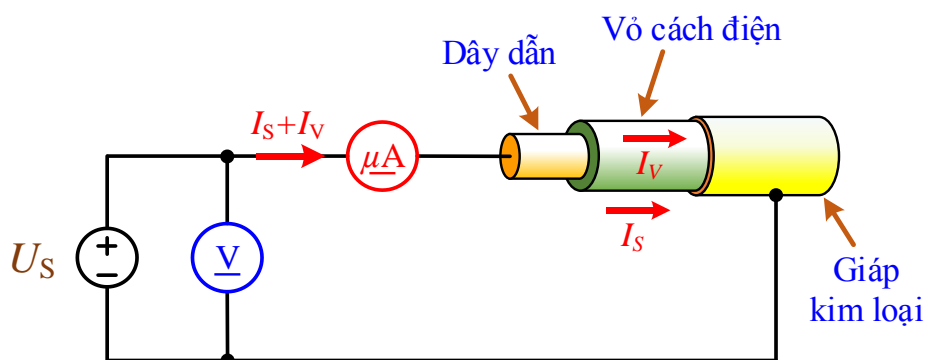
Khi đo điện trở có trị số rất lớn như đo điện trở cách điện của vật liệu thông thường sẽ có hai phần tử điện trở.

- + Điện trở khối (volume resistance).
- + Điện trở rỉ bề mặt (surface leakage resistance).

Hai phần tử điện trở này xem như song song với nhau, như vậy hai điện trở có trị số có thể so sánh được sẽ ảnh hưởng đáng kể đến điện trở khối cần đo của vật liệu cách điện.

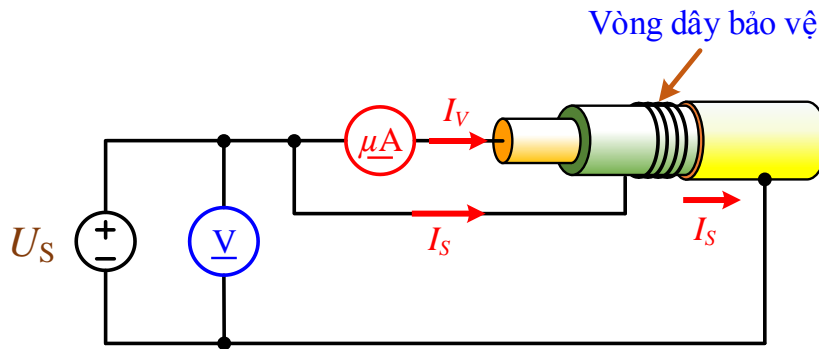
Cần đo điện trở cách điện của vỏ bọc giữa dây dẫn trong và dây dẫn bên ngoài (vỏ giáp bằng kim loại) của dây dẫn điện đồng trục có vỏ bọc giáp (H.4.17a). Khi dòng điện đi vào dây dẫn thì sẽ có hai dòng điện đi qua Micro Ampe kế, đó là dòng  $I_V$  đi qua lớp cách điện của vỏ bọc, dòng  $I_S$  đi qua bề mặt của dây dẫn và lớp cách điện. Cho nên điện trở song song giữa lớp cách điện và bề mặt  $[R_V // R_S]$  được xác định bởi Vôn kế và Micro Ampe kế.

Vì  $R_S$  song song với  $R_V$  nên  $R_S$  sẽ ảnh hưởng rất lớn đến  $R_V$  cần đo. Để tránh ảnh hưởng của  $R_S$  bằng cách loại bỏ dòng  $I_S$  qua Micro Ampe kế, người ta thường dùng dây dẫn điện trần (không có vỏ bọc cách điện) quấn quanh lớp vỏ cách điện và nối trước Micro Ampe kế. Như vậy dòng điện  $I_S$  đi qua  $R_S$  lúc trước sẽ đi qua dây dẫn này (H.4.17b) do đó ảnh hưởng của  $R_S$  vào  $R_V$  bị loại bỏ. Vòng dây dẫn trần này được gọi là vòng dây bảo vệ tránh điện trở rỉ bề mặt  $R_S$ .



(a) Không có vòng dây bảo vệ





(b) Có vòng dây bảo vệ

**Hình 4.17:** Đo cách điện lớp vỏ dây dẫn

**Ví dụ 4.11:** Một cáp dây dẫn điện loại đồng trục lớp giáp bằng kim loại bên ngoài cùng, ngăn cách dây dẫn điện bên trong bằng lớp cách điện. Nếu mạch được mắc nối như hình 4.17a thì dòng điện qua Micro Ampe kế là  $5\mu A$  khi điện áp thử nghiệm là  $10kV$ . Nếu mạch được mắc như hình 4.17b thì dòng điện đo được là  $1,5\mu A$ . Xác định điện trở khối cách điện của lớp cách điện. Sau đó xác định điện trở rỉ bề mặt ở hình 4.17a.

**Giải:**

Điện trở khối cách điện là:

$$R_V = \frac{U_S}{I_V} = \frac{10 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^{-6}} = 6,7 \cdot 10^9 \Omega$$

Dòng điện qua điện trở rỉ bề mặt:

$$I_S = 5\mu A - I_V = 5\mu A - 1,5\mu A = 3,5\mu A \text{ vì } I_S + I_V = 5\mu A$$

$$R_S = \frac{U_S}{I_S} = \frac{10 \cdot 10^3}{3,5 \cdot 10^{-6}} = 2,9 \cdot 10^9 \Omega$$

Như vậy nếu chúng ta không loại bỏ dòng  $I_S$  bằng vòng dây bảo vệ thì sẽ đo được điện trở:  $R_S // R_V = (2,9 // 6,7) \cdot 10^9 = 2,02 \cdot 10^9 \Omega$

Nhỏ hơn ba lần điện trở khối cách điện thật.

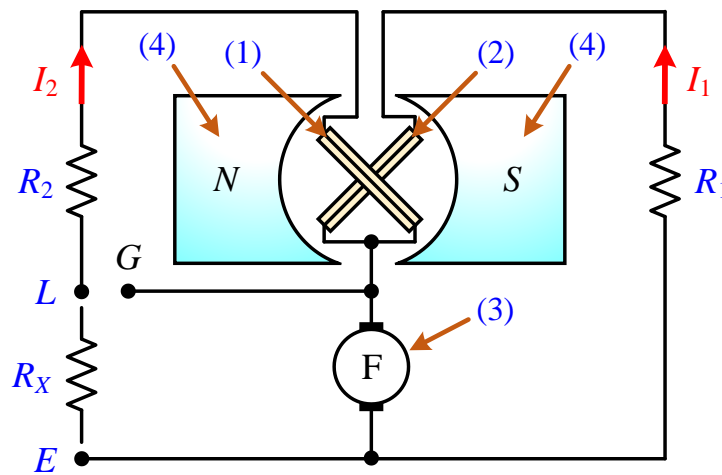
#### 4.6.2 Đo điện trở cách điện dùng Megohm kế

Megohm kế (Megomet / Megger / Insulation Tester) là loại dụng cụ chuyên dùng để đo điện trở lớn như điện trở cách điện của máy điện, khí cụ điện và đường dây mà Ohm kế bình thường không đo được. Bộ phận chủ yếu của Megohm kế là một tỉ số kế từ điện và một Manhêto (máy phát điện một chiều quay tay) dùng làm nguồn điện cung cấp. Tỉ số kế

là một dụng cụ đo kiểu từ điện đặc biệt, cơ cấu đo của nó là nam châm vĩnh cửu và hai cuộn dây:

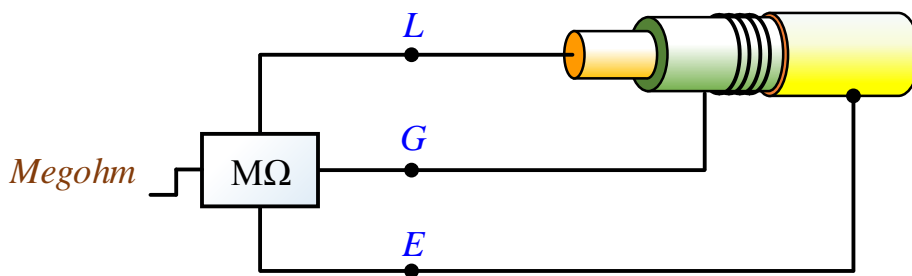
- + Cuộn dây lệch (deflecting coil)
- + Cuộn dây kiểm soát (control coil)

Hai cuộn dây xếp vuông góc với nhau và được lắp trên cùng một trục quay có gắn kim chỉ thị và có thể quay được cùng với trục. Dòng điện cấp cho hai cuộn dây nhờ dây dẫn mềm mà không dùng lò xo xoắn vì vậy trên trục không có lò xo tạo Momen cản, do đó khi không dùng thì kim có thể dừng lại ở một vị trí bất kì. Nguyên lí đo điện trở cách điện của Megohm kế được trình bày như sau:



(1) Cuộn dây lệch; (2) Cuộn dây kiểm soát; (3) Máy phát; (4) Nam châm

**Hình 4.18:** Cấu tạo của Megohm kế



**Hình 4.19:** Cách nối Megohm kế để đo cách điện lớp vỏ dây dẫn

Hai cuộn dây của tỉ số kế gồm một cuộn đấu nối tiếp với điện trở phụ  $R_1$ , cuộn còn lại đấu nối tiếp với điện trở phụ  $R_2$  và điện trở cần đo  $R_X$ , cả hai cuộn dây đều đấu vào Máy phát điện một chiều kích từ bằng nam châm vĩnh cửu.

Khi quay đều Manhê-tô, hai cuộn dây có dòng điện đi qua, sự tác dụng lẫn nhau giữa dòng điện và từ trường khiến hai cuộn dây sản sinh ra Momen quay ngược chiều nhau, kim đồng hồ quay theo một góc nhất định tùy theo độ lớn của Momen tổng hợp của hai Momen ngược chiều nhau đó. Vì từ trường trong khe hở được chế tạo không đều nên khi phần động quay thì hai Momen sẽ thay đổi trị số. Nếu chúng bằng nhau thì phần động sẽ cân bằng và lúc đó ta đọc được góc quay  $\alpha$  của kim. Góc quay của kim phụ thuộc vào tỉ số của hai dòng điện, vì các điện trở phụ  $R_1$ , và  $R_2$  không đổi, nên tỉ số giữa hai dòng điện phụ thuộc vào  $R_x$ , tức là phụ thuộc vào độ lớn của điện trở cần đo. Như vậy khi biết được góc quay  $\alpha$  ta biết được giá trị điện trở cần đo và rõ ràng điện áp của máy phát không ảnh hưởng đến kết quả đo. Việc sử dụng Manhê-tô có thể tạo ra điện áp lên đến 1kV.

Tốc độ quay của máy phát khoảng 80 đến 120 (vòng/phút), khi quay càng nhanh điện áp phát ra càng lớn. Sự không đều của điện áp sẽ ảnh hưởng đến sai số kết quả đo. Để hạn chế điều này, người ta chế thêm bộ phận điều tốc gắn trong máy phát. Vị trí của phần ứng so với phần cảm sẽ được điều chỉnh dựa theo độ lớn lực li tâm tạo ra bởi chuyển động quay. Khi tốc độ thấp, phần ứng được đưa lại gần phần cảm giúp tăng từ thông gửi qua phần cảm khiến cho điện áp không giảm, khi vận tốc tăng lên quá trình sẽ xảy ra ngược lại.

Megohm kế có nhiều kiểu khác nhau, nhưng thường có đặc điểm chung như sau:

+ Điện áp định mức: 100V, 500V, 1000V và 2500V.

+ Phạm vi đo: gồm hai cỡ  $k\Omega$  ( $0 \div 500k\Omega \div 1000k\Omega$ ) và  $M\Omega$  ( $0 \div 500M\Omega \div 1000M\Omega$ ).

Trên Megohm kế thường có ba cọc đấu dây là cọc “đường dây”, cọc “nối đất”, và cọc “bảo vệ”. Tác dụng của cọc bảo vệ là trừ bỏ hiện tượng rò điện giữa cọc đường dây và cọc nối đất và mặt ngoài của vật cách điện được đo. Khi đấu dây phải hiểu rõ công dụng của các cọc này, không được đấu nhầm.

*Sử dụng Megohm kế cần chú ý các điểm sau:*

Khi chọn Megohm kế cần căn cứ theo cấp điện áp của thiết bị điện (thường dùng là loại 500V, trường hợp cá biệt cũng dùng loại 1kV. Nếu dùng Megohm kế có điện áp định mức cao để đo thiết bị có điện áp thấp, thì nó có thể đánh thủng cách điện của thiết bị.

Trước khi đo điện trở cách điện, cần phải ngắt nguồn điện của thiết bị được đo. Sau đó phải thử hở mạch và ngắn mạch.

Thử hở mạch: cho hai dây đo hở mạch, quay Manhê-tô, kim phải chỉ ở trị số  $\infty$ .

Thử ngắn mạch: cho ngắn mạch hai dây, quay manhê-tô, kim phải chỉ ở trị số 0.

---

Nếu khi thử mà kim không chỉ đúng như vậy thì chúng tỏ Megohm kế đã bị hỏng, cần phải kiểm tra và sửa chữa.

Khi đo phải đặt Megohm kế thật bằng phẳng, ổn định, để tránh cho khi quay Manhê tô kim bị dao động, số đọc không chính xác.

Các dây đầu với Megohm kế phải dùng loại một sợi và cách điện tốt, không được để dây tiếp xúc với thiết bị điện hoặc mặt đất, làm cho kết quả đo không chính xác. Khi đầu dây cần phân biệt rõ cọc “nối đất” phải đầu vào vỏ thiết bị cần đo hoặc đầu vào dây đất. Khi đo điện trở cách điện của cáp cần phải đầu lớp cách điện của cáp vào vòng bảo vệ của Megohm kế. Khi quay Manhê tô phải quay từ chậm tăng nhanh dần, rồi giữ ở tốc độ xác định, thường là 120 (vòng/phút), cho phép có sự biến động trong khoảng 20%, chờ cho kim chỉ ở trị số ổn định thì đọc kết quả đo.

Khi đo điện trở cách điện của thiết bị điện có điện dung lớn (như tụ điện, cáp điện...) thì sau khi đo xong cắt dây đầu ở cọc “đường dây” ra, giảm tốc độ và giảm tay quay, để tránh hiện tượng nạp điện ngược trở lại từ thiết bị đo làm hỏng Megohm kế. Sau khi đo xong cần phóng điện bằng cách cho ngắn mạch thiết bị được đo xuống đất.



*Megger CA6503 [1 - 5000MΩ]*



*Megger ZC25-4 [1 - 1000MΩ]*

**Hình 4.20:** Máy đo điện trở cách điện quay tay



*Kyoritsu 3165 [1 - 1000 MΩ]*



*Hioki 3454 [1 - 4000 MΩ]*

*Hình 4.21: Đồng hồ đo điện trở cách điện*

## 4.7 Phương pháp đo điện trở đất

### 4.7.1 Giới thiệu chung về nối đất

Hệ thống cung cấp điện làm nhiệm vụ truyền tải và phân phối điện năng đến các hộ sử dụng điện. Do vậy, lưới điện thường phân bố trên diện tích rộng và gần với người sử dụng. Trong quá trình sử dụng, do vận hành quá nhiệt độ hoặc điện áp cao, dòng điện lớn làm lão hóa cách điện khiến cho cách điện của thiết bị điện có thể bị hư hỏng dẫn đến rò điện ra phần vỏ gây nguy hiểm cho người vận hành. Ngoài ra, đường dây điện đi ngoài trời dễ bị sét đánh vào hoặc cảm ứng sét truyền đến các thiết bị sử dụng điện gây hư hỏng.

Vấn đề đặt ra là phải có biện pháp an toàn chống điện giật và chống sét đánh trên đường dây điện ảnh hưởng đến người sử dụng và thiết bị điện. Một trong những biện pháp có hiệu quả, an toàn và tương đối đơn giản là nối đất. Trang bị nối đất bao gồm các điện cực và dây dẫn nối đất. Khi thiết bị được nối đất, dòng điện do chạm vỏ hoặc hư hỏng cách điện sẽ chạy qua vỏ thiết bị theo dây nối đất xuống các điện cực và tản vào đất do vậy sẽ không gây nguy hiểm cho người sử dụng thiết bị điện. Để có tiếp địa tốt và hiệu quả, hệ thống tiếp địa nên được kiểm tra thường xuyên và có thể tăng độ ẩm trong đất bằng cách thêm nước. Điện trở đất phải nhỏ hơn  $1\Omega$  đối với các nhà máy điện và đối với các trạm phụ, nó phải nhỏ hơn  $5\Omega$ . Cần lưu ý rằng điện trở đất phải càng nhỏ càng tốt.

Có hai loại nối đất tự nhiên và nối đất nhân tạo:

Nối đất tự nhiên: sử dụng các phương tiện sẵn có như ống dẫn nước, ống kim loại đặt trong đất (trừ các ống dẫn nhiên liệu lỏng và khí dễ cháy), các kết cấu bằng kim loại của công trình nhà cửa có nối đất, các vỏ bọc kim loại của cáp đặt trong đất.

Nối đất nhân tạo: thực hiện bằng cách đóng các cọc thép, thanh thép dẹt hình chữ nhật hay hình tròn có chiều dài khoảng 2m đến 3m xuống đất sao cho đầu trên cách mặt đất khoảng 0,5m đến 0,8m. Các ống thép và các thanh thép dẹt nên chọn có bề dày lớn hơn 4mm để hạn chế hiện tượng ăn mòn kim loại.

Dây nối đất cần có tiết diện thỏa mãn độ bền cơ khí và ổn định nhiệt, chịu được dòng điện cho phép lâu dài. Dây nối đất không được bé hơn 1/3 tiết diện dây dẫn pha, thường dùng thép có tiết diện 120mm<sup>2</sup>, nhôm 35mm<sup>2</sup>, hoặc đồng 25mm<sup>2</sup>.

Điện trở nối đất của thiết bị nối đất không được lớn hơn các trị số đã quy định. Theo nguyên tắc vận hành an toàn thiết bị điện, điện trở của kết cấu tiếp đất nối vào trung tính máy phát điện hoặc máy biến áp có điện áp đến 1000V và công suất bé hơn 100kVA thì điện trở tiếp đất phải nhỏ hơn 10Ω, nếu công suất lớn hơn 100kVA thì điện trở đất phải nhỏ hơn 4Ω.

Các khái niệm cơ bản:

*Cọc đo điện trở đất (điện cực):*

Các điện cực nối đất bao gồm điện cực thẳng đứng được đóng sâu vào trong đất và điện cực ngang được chôn ngầm dưới đất ở một độ sâu nhất định. Các điện cực này được liên kết với nhau bằng các dây nối đất trên đầu điện cực. Điện cực được làm từ vật liệu kim loại như đồng, thép ...

Trong thực tế khi cần xây dựng một hệ thống tiếp đất, người ta không dùng một cọc đất mà sử dụng nhiều cọc đất nối song song chúng lại để tạo thành một cụm cọc đất, điều này giúp giảm nhỏ điện trở tiếp đất. Ngoài ra người ta còn dùng biện pháp cải tạo vùng đất đóng cọc bằng cách đổ muối, than, các chất hóa học... để tăng khả năng tiếp xúc của vùng đất đóng cọc với cọc đất.

*Điện trở đất (điện trở tiếp đất):*

Tổng điện trở kết cấu nối đất nằm trong đất, điện trở dây dẫn tiếp đất và điện trở xuất hiện trên bề mặt tiếp xúc của cọc đất với vùng đất đóng cọc được gọi là điện trở đất. Điện trở đất được xác định bằng tỉ số giữa điện áp đặt vào kết cấu tiếp đất so với đất và dòng

---

điện đi qua kết cấu nối đất vào đất. Điện trở tiếp đất không ổn định mà biến đổi theo thời gian, nhiệt độ, độ ẩm, tính chất, thành phần đất. Vì vậy, ta nên tiến hành đo điện trở đất vào mùa hanh (khô ráo) khi đó điện trở đất là lớn nhất trong năm. Sau khi thi công nối đất cho cọc tiếp đất (lưới tiếp đất) hoặc khi cần kiểm tra điện trở tiếp đất của một hệ thống nối đất có đạt yêu cầu hay không người ta phải tiến hành đo điện trở đất.

*Khoảng cách giữa các cọc đất:*

Theo thực tế khi đo điện trở đất người ta nhận thấy các cọc đất có sự ảnh hưởng lẫn nhau gây ra sai số trong kết quả đo. Khi khoảng cách giữa hai cọc đất lớn hơn 20m thì sự ảnh hưởng này trở nên không đáng kể.

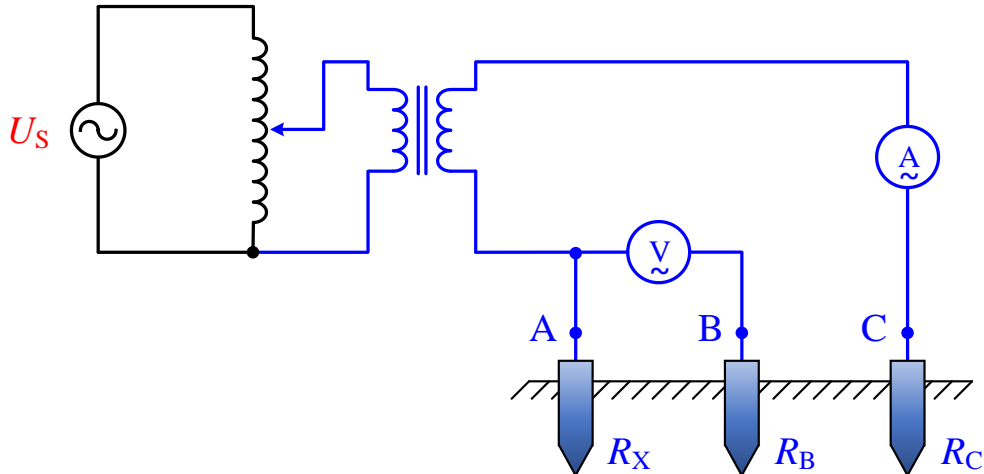
*Nguồn điện áp cung cấp cho mạch đo:*

Trong mọi trường hợp đo điện trở đất, nguồn điện áp cung cấp cho mạch đo phải là nguồn tín hiệu xoay chiều dạng sin hoặc dạng xung vuông, không dùng nguồn điện một chiều cung cấp cho mạch đo vì trong đất luôn tồn tại các Ion dẫn điện, lúc đó hai cọc đất sẽ trở thành hai điện cực điện giải đất, các Ion (+) bám vào cọc âm, các Ion (-) bám vào cọc dương tạo nên điện thế lớn ở lớp tiếp xúc. Điện thế này ngăn cản dòng điện của mạch đo điện trở đất và gây ra sai số trong kết quả đo. Khi ta dùng nguồn xoay chiều thì do cực tính nguồn điện thay đổi liên tục nên các Ion (+) và Ion (-) không thể bám vào các điện cực để hình thành nên các điện áp tiếp xúc. Đôi khi người ta không dùng nguồn điện từ máy đo mà sử dụng ngay nguồn điện lưới để cấp cho mạch đo, nhưng phải có thêm một máy biến áp cách li để hạ điện áp lưới xuống cho phù hợp, đồng thời máy biến áp cách li còn tăng độ an toàn và giúp cho mạch đo điện trở đất không bị ảnh hưởng bởi dòng điện trung tính chạy trong đất khi lưới điện mất đối xứng cũng như ảnh hưởng của điện trở cọc tiếp đất trung tính lưới điện. Ta không thể dùng Ohm kế để đo điện trở tiếp đất vì điện áp và dòng điện do Ohm kế tạo ra quá nhỏ không đủ làm cho dòng điện chạy trong đất đạt đến một giá trị ổn định để có thể tiến hành đo, tối thiểu dòng điện này phải từ 10mA đến 20mA.

### 4.7.2 Đo điện trở đất dùng Vôn kế và Ampe kế

- **Phương pháp đo 3 điểm**

Sơ đồ mạch đo điện trở đất dùng Vôn kế và Ampe kế:



**Hình 4.22:** Sơ đồ mạch đo điện trở đất dùng Vôn kế và Ampe kế

Trong đó:

Cọc A: cọc cần đo điện trở tiếp đất  $R_X$

Cọc B: cọc phụ giữa, đo điện áp

Cọc C: cọc phụ cuối, đo dòng điện

$R_X$ : điện trở tiếp đất của cọc A cần đo

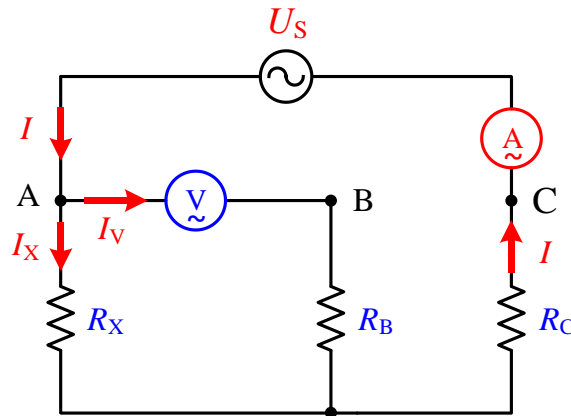
$R_B$ : điện trở tiếp đất của cọc phụ B

$R_C$ : điện trở tiếp đất của cọc phụ C

Nguồn cấp gồm một máy biến áp tự ngẫu và một máy biến áp cách ly để cho ra một điện áp xoay chiều có thể điều chỉnh được cung cấp cho mạch đo. Máy biến áp tự ngẫu có khả năng thay đổi dễ dàng mức điện áp ra, còn máy biến áp cách ly sẽ giúp ngăn cách ảnh hưởng của lưới điện đến mạch đo điện trở đất, sơ cấp máy biến áp cách ly được nối vào hai cọc A và C. Cọc phụ B được cắm xuống đất cách cọc A một khoảng lớn hơn 20m (nằm trong vùng đất có điện thế không). Vôn kế được dùng để đo điện áp giữa hai điểm A và B, Ampe kế dùng để đo dòng điện toàn mạch.



Sơ đồ mạch tương đương:



Hình 4.23: Sơ đồ mạch tương đương của 3 cọc A, B, C

Gọi:

$U$  : điện áp đọc được trên Vôn kế ( $U = U_{AB}$ )

$U_B$  : điện áp trên điện trở  $R_B$

$U_X$  : điện áp trên điện trở  $R_X$

$I$  : dòng điện đọc được trên Ampe kế ( $I = I_X + I_V$ )

$I_X$  : dòng điện qua điện trở cần đo  $R_X$

$I_V$  : dòng điện qua Vôn kế

Điện trở tiếp đất ở cọc A được xác định bằng công thức:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U + U_B}{I - I_V} \approx \frac{U}{I} \quad (4.25)$$

Từ công thức trên ta nhận thấy để giảm nhỏ sai số trong kết quả đo thì Vôn kế phải có điện trở lớn để dòng điện  $I_V$  chạy qua Vôn kế có giá trị nhỏ. Ngoài ra, điện trở Vôn kế phải lớn hơn nhiều lần so với điện trở của cọc phụ B để điện áp rơi trên cọc phụ B trở nên không đáng kể. Vôn kế có điện trở vào lớn thường được sử dụng như Vôn kế điện tử, Vôn kế tĩnh điện... Phương pháp trên dùng để đo điện trở tiếp đất có trị số nhỏ.

• **Phương pháp đo 2 điểm**

Nguyên tắc của phương pháp này là đo lần lượt ba cặp điện trở. Vôn kế và Ampe kế sẽ cho giá trị điện trở của từng cặp cọc:

$$R_A + R_B = \frac{U_1}{I_1} \quad (4.26)$$

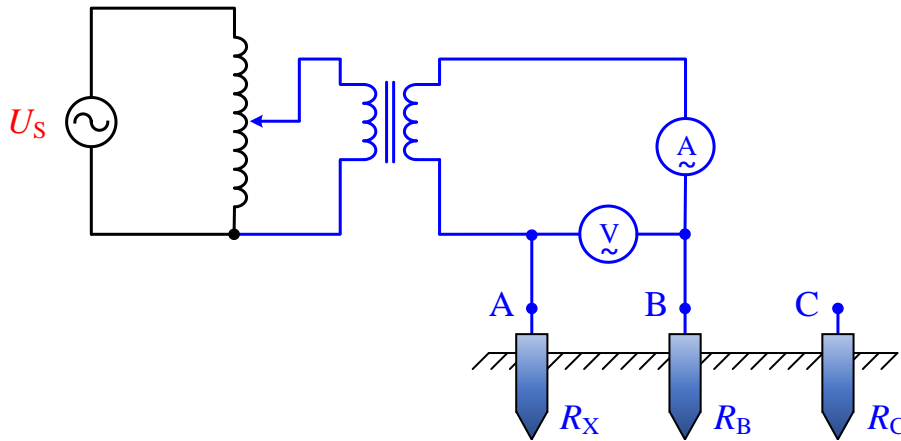
Sau đó, lần lượt đo cọc A-C và B-C:

$$R_A + R_C = \frac{U_2}{I_2} \quad (4.27)$$

$$R_B + R_C = \frac{U_3}{I_3} \quad (4.28)$$

Giải hệ 3 phương trình trên, tìm điện trở  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ .

Sơ đồ mạch đo dùng phương pháp đo 2 điểm như sau:

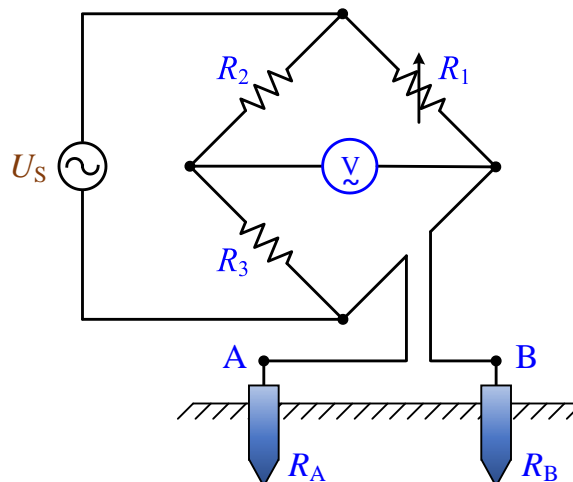


**Hình 4.24:** Sơ đồ mạch đo điện trở đất cọc AB dùng Vôn kế và Ampe kế

### 4.7.3 Đo điện trở đất dùng cầu đo Kohlrausch

Đây là dạng cầu Wheatstone được ứng dụng để đo điện trở đất (H.4.25) điện trở  $R_A + R_B$  được xác định khi cầu cân bằng.

$$R_A + R_B = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3 \quad (4.29)$$



**Hình 4.25:** Đo điện trở đất dùng cầu đo Kohlrausch

#### 4.7.4 Đo điện trở đất dùng thiết bị đo chuyên dụng

Hiện nay, để đơn giản cho quá trình đo điện trở đất, ta sử dụng phương pháp đo 3 điểm bằng đồng hồ đo điện trở đất. Đồng hồ có dạng như sau:



Digital Earth Resistance Meter

VC4105A [0 - 2kΩ]



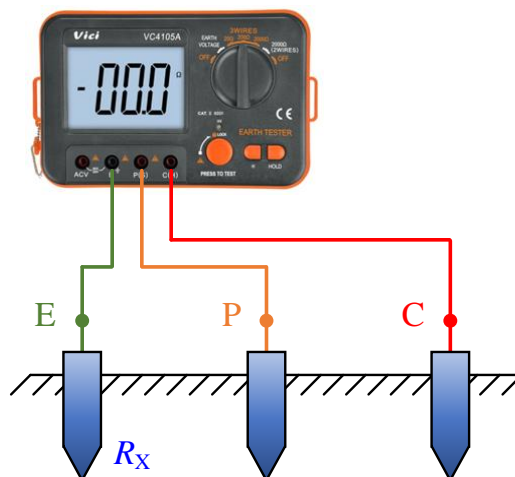
Digital Earth Resistance Meter

EM480D [0 - 2kΩ]

**Hình 4.26:** Đồng hồ đo điện trở đất

Đồng hồ đo điện trở đất chuyên dụng thường có 4 đầu đo là:

- (1) Đầu E (Earth): dùng để nối với cọc đất cần đo
- (2) Đầu P (Potential): dùng để nối với cọc phụ giữa, đo điện áp
- (3) Đầu C (Current): dùng để nối với cọc phụ cuối, đo dòng điện
- (4) Đầu V (Voltage): kết hợp với cọc đất để đo điện áp giữa 2 cọc bất kỳ



**Hình 4.27:** Sơ đồ nối đồng hồ đo điện trở đất với hệ thống tiếp địa

Khoảng cách giữa các cọc từ 5m đến 10m, vị trí các cọc tạo ra một góc lớn hơn 100°.

Nếu các cọc đóng thẳng hàng thì khoảng cách các cọc EC, EP phải lớn hơn 10m (thường là 15m).

Trước khi đo, cần xác định điện áp trên các cọc, nếu điện áp giữa giữa hai cọc đất thấp hơn 10V thì tính an toàn chấp nhận được, khi đó ta tiến đo điện trở đất. Nếu điện áp trên các cọc lớn hơn 10V thì việc đo điện trở đất và khả năng an toàn về điện cần phải lưu ý, do có sự xuất hiện của dòng điện rò và dòng điện trung tính (do lưới điện bị mất cân bằng).

## 4.8 Bài tập chương 4

### A – Phần trắc nghiệm

**Câu 1:** Khi đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế dạng Ampe kế mắc gần tải thì sai số phép đo chủ yếu do

- A. Nội trở Ampe kế
- B. Nội trở Vôn kế
- C. Nguồn cung cấp
- D. Tất cả đều đúng

**Câu 2:** Khi đo điện trở dùng Vôn kế và Ampere kế dạng Vôn kế mắc gần tải thì sai số phép đo chủ yếu do

- A. Nội trở Ampe kế
- B. Nội trở Vôn kế
- C. Nguồn cung cấp
- D. Tất cả đều đúng

**Câu 3:** Thang đo của Ohm kế thường chia không đều là do:

- A. Nguồn cung cấp giảm khi sử dụng
- B. Quan hệ giữa điện trở cần đo và góc quay là hàm tuyến tính
- C. Quan hệ giữa điện trở cần đo và góc quay là hàm phi tuyến
- D. Tất cả đều sai

**Câu 4:** Khi đo điện trở phụ tải bằng Ohm kế, ta phải đo lúc:

- A. Mạch đang mang điện
- B. Mạch đã được ngắt nguồn
- C. Mạch đang làm việc
- D. Mạch đã được ngắt 1 pha

**Câu 5:** Khi đo điện trở, góc quay của kim càng lớn thì kết luận:

- A. Dòng điện qua trở nhỏ
- B. Điện trở càng lớn
- C. Điện trở càng nhỏ
- D. Tùy loại máy đo

**Câu 6:** Khi điện trở cần đo có giá trị lớn, Ohm kế để ở thang đo quá nhỏ thì kim chỉ thị sẽ:

- A. Quay nhiều vượt khỏi thang đo
- B. Kim dao động quanh vị trí  $0\Omega$
- C. Kim quay rất ít gần như chỉ ở vô cùng
- D. Đọc bình thường, rất chính xác

**Câu 7:** Trong Ohm kế, biến trở điều chỉnh  $0\Omega$  nhằm mục đích:

- A. Hiệu chỉnh lại phần cơ khí của cơ cấu đo
- B. Hiệu chỉnh nguồn cung cấp cho mỗi mạch đo

- C. Tăng điện trở nội của máy đo
- D. Giảm sai số cá nhân

**Câu 8:** Dùng Ohm kế, loại có biến trở để điều chỉnh, đặt ở thang đo thấp, điều chỉnh kim chỉ  $0\Omega$ ; khi chuyển sang thang đo lớn hơn kim không còn ở vị trí cũ, là do:

- A. Nguồn pin bị yếu nhiều
- B. Biến trở điều chỉnh bị hỏng
- C. Nội trở của mỗi thang đo khác nhau
- D. Điện trở que đo có giá trị âm

**Câu 9:** Khi đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế, với sơ đồ Ampe mắc gần tải, nếu điện trở cần đo khá nhỏ so với điện trở nội của Vôn kế thì:

- A. Dễ tính toán kết quả đo
- B. Sai số lớn hơn, không chính xác
- C. Sai số được giảm thiểu
- D. Độ nhạy của máy cao hơn

**Câu 10:** Khi sử dụng Ampe kế và Vôn kế để đo gián tiếp điện trở. Nếu điện trở cần đo khá lớn so với điện trở nội của Vôn kế thì:

- A. Dễ tính toán kết quả đo
- B. Sai số lớn hơn, không chính xác
- C. Sai số được giảm thiểu
- D. Độ nhạy của máy cao hơn

**Câu 11:** Khi sử dụng Vôn kế và Ampe kế để đo gián tiếp điện trở. Nếu điện trở cần đo khá nhỏ so với điện trở nội của Ampe kế thì:

- A. Sai số được giảm thiểu
- B. Độ nhạy của máy cao hơn
- C. Dễ tính toán kết quả đo
- D. Sai số lớn hơn, không chính xác

**Câu 12:** Sử dụng Ohm kế loại nối tiếp để đo điện trở  $R_X$ , nếu điện trở  $R_X$  rất lớn so với thang đo thì góc quay của kim sẽ:

- A. Rất lớn
- B. Rất nhỏ
- C. Trung bình
- D. Nhỏ nhất

**Câu 13:** Máy đo Megohm thường dùng để:

- A. Đo điện trở cách điện của thiết bị
- B. Đo các điện trở lớn hàng trăm kilohm
- C. Đo điện trở tiếp đất của thiết bị
- D. Đo điện trở và điện áp

**Câu 14:** Về nguyên lý, Manhêto chính là:

- A. Máy phát điện AC
- B. Máy phát điện DC
- C. Máy phát xung vuông
- D. Máy đo điện trở

**Câu 15:** Trong Megohm kế, phải sử dụng nguồn cung cấp có giá trị lớn là do:

- A. Lò xo phản kháng có độ cứng lớn
- B. Điện trở của tỉ số kế rất lớn
- C. Phải có dòng điện lớn qua cơ cấu
- D. Điện trở cần đo có giá trị lớn

**Câu 16:** Khi đo điện trở lớn, vòng bảo vệ được dùng với mục đích:

- A. Loại bỏ dòng điện rò rỉ bề mặt
- B. Loại bỏ điện cảm rò rỉ bề mặt

C. Loại bỏ điện áp rò rỉ bề mặt

D. Tất cả đều sai

**Câu 17:** Một cuộn dây dẫn bằng đồng dài 250m, có tiết diện  $1\text{mm}^2$ . Biết điện trở suất của đồng là  $1,72 \cdot 10^{-8} (\Omega \cdot \text{m})$ . Điện trở của cuộn dây đồng là

A.  $R = 3,4 \Omega$

B.  $R = 4,3 \Omega$

C.  $R = 43 \Omega$

D.  $R = 34 \Omega$

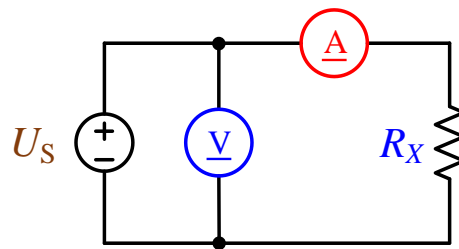
**Câu 18:** Cho mạch đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế, với Ampe kế mắc gần tải như hình vẽ. Biết điện áp nguồn  $U_S$  là 120V, nội trở của Ampe kế là  $10\Omega$ , dòng điện đo được từ Ampe kế là 2A. Sai số của phép đo là

A.  $\delta_R = 12 \%$

B.  $\delta_R = 1,2 \%$

C.  $\delta_R = 20 \%$

D.  $\delta_R = 2 \%$



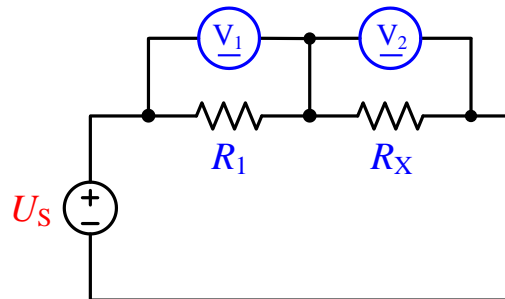
**Câu 19:** Cho mạch đo điện trở dùng cầu phân áp như hình vẽ, chỉ số trên Vôn kế  $V_1$ ,  $V_2$  lần lượt là 12,5V và 8,6V. Biết điện trở  $R_1 = 68\text{k}\Omega$ . Giá trị điện trở  $R_X$  là

A.  $R_X = 98,84 \text{k}\Omega$

B.  $R_X = 46,78 \text{k}\Omega$

C.  $R_X = 1,58 \text{k}\Omega$

D.  $R_X = 9,8 \text{k}\Omega$



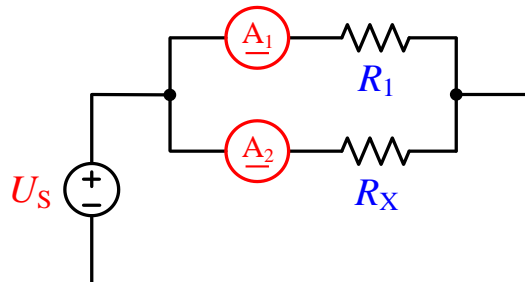
**Câu 20:** Cho mạch đo điện trở dùng cầu chia dòng như hình vẽ, chỉ số trên Ampe kế  $A_1$ ,  $A_2$  lần lượt là 8mA và 12,5mA. Biết điện trở  $R_1 = 18\text{k}\Omega$ . Giá trị điện trở  $R_X$  là

A.  $R_X = 1,15 \text{k}\Omega$

B.  $R_X = 28,13 \text{k}\Omega$

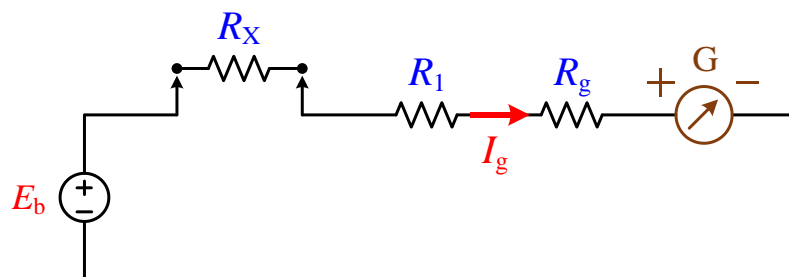
C.  $R_X = 2,81 \text{k}\Omega$

D.  $R_X = 11,52 \text{k}\Omega$



**Câu 21:** Cho mạch đo điện trở dạng nối tiếp như hình vẽ. Biết  $E_b = 1,5V$ ;  $I_{gm} = 100\mu A$ ,  $R_1 = 10 k\Omega$  và  $R_g = 5 k\Omega$ . Giá trị của điện trở  $R_X$  khi kim lệch 1/4 độ lệch tối đa là

- A.  $R_X = 15 k\Omega$
- B.  $R_X = 45 k\Omega$
- C.  $R_X = 30 k\Omega$
- D.  $R_X = 30 \Omega$



**Câu 22:** Cho mạch đo điện trở dạng nối tiếp có hình vẽ như câu 21. Biết  $E_b = 1,5V$ ;  $I_{gm} = 75\mu A$ ,  $R_1 + R_g = 20 k\Omega$ . Giá trị dòng điện qua cơ cấu đo khi  $R_X = 47 k\Omega$  là

- A.  $I_g = 3,2 \mu A$
- B.  $I_g = 60,73 \mu A$
- C.  $I_g = 30,61 \mu A$
- D.  $I_g = 22,39 \mu A$

**Câu 23:** Cho mạch đo điện trở dạng nối tiếp có hình vẽ như câu 21. Biết  $I_{gm} = 50\mu A$ ,  $R_g = 1k\Omega$ ,  $E_b = 3V$ . Giá trị của điện trở  $R_1$  cần mắc thêm vào mạch để khi  $R_X = 0\Omega$  thì Ohm kế chỉ  $0\Omega$  là

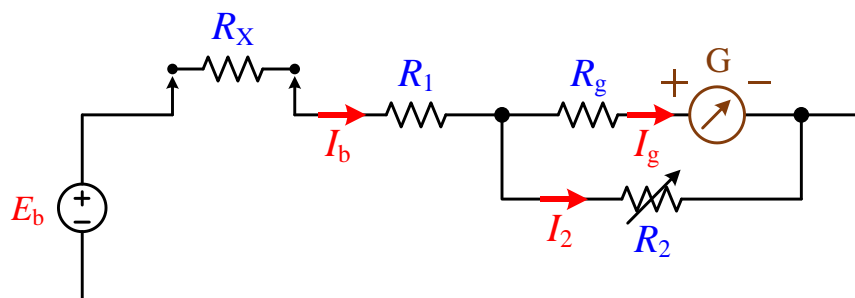
- A.  $R_1 = 5,9 k\Omega$
- B.  $R_1 = 59 k\Omega$
- C.  $R_1 = 29 k\Omega$
- D.  $R_1 = 60 k\Omega$

**Câu 24:** Cho mạch đo điện trở dạng nối tiếp có hình vẽ như câu 21. Biết  $I_{gm} = 100\mu A$ ,  $R_1 + R_g = 25k\Omega$ ,  $E_b = 3V$ . Nếu dòng điện qua mạch đo bằng  $50\% \cdot I_{gm}$  thì giá trị của điện trở  $R_X$  sẽ là

- A.  $R_X = 40 k\Omega$
- B.  $R_X = 35 k\Omega$
- C.  $R_X = 45 k\Omega$
- D.  $R_X = 50 k\Omega$

**Câu 25:** Cho mạch đo điện trở có điện trở điều chỉnh  $0\Omega$  như hình vẽ. Biết  $E_b = 3V$ ,  $I_{gm} = 100\mu A$ ,  $R_1 = 15k\Omega$ ;  $R_g = R_2 = 3k\Omega$ . Nếu dòng điện qua mạch đo bằng  $75\% \cdot I_{gm}$  thì giá trị của điện trở  $R_X$  sẽ là

- A.  $R_X \approx 3,5 k\Omega$
- B.  $R_X \approx 16,5 k\Omega$
- C.  $R_X \approx 22,5 k\Omega$
- D.  $R_X \approx 24,5 k\Omega$



**Câu 26:** Cho mạch đo điện trở có điện trở điều chỉnh  $0\Omega$  có hình vẽ như câu 25. Biết  $E_b = 1,5V$ ,  $I_{gm} = 50\mu A$ ,  $R_1 = 15k\Omega$ ;  $R_g = R_2 = 50\Omega$ . Nếu dòng điện qua mạch đo bằng  $50\% \cdot I_{gm}$  thì giá trị của điện trở  $R_X$  sẽ là

A.  $R_X \approx 5 k\Omega$

B.  $R_X \approx 15 k\Omega$

C.  $R_X \approx 30 k\Omega$

D.  $R_X \approx 45 k\Omega$

### B – Phần tự luận

**Câu 1:** Trình bày phương pháp đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế trong mạch Ampe kế mắc gần tải?

**Câu 2:** Trình bày phương pháp đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế trong mạch Vôn kế mắc gần tải?

**Câu 3:** Mô tả cách đo điện trở bằng cầu Wheatstone?

**Câu 4:** Trình bày nguyên lý đo điện trở của Ohm kế?

**Câu 5:** Giải thích tại sao thang đo Ohm kế không tuyến tính?

**Câu 6:** Trình bày cách đo điện trở đất dùng Vôn kế và Ampe kế?

**Câu 7:** Đo điện trở đất dùng Vôn kế và Ampe kế, nguồn điện sử dụng cho mạch là nguồn như thế nào? Tại sao?

**Câu 8:** Trình bày cấu tạo và nguyên lý hoạt động của Megohm kế?

**Câu 9:** Khi sử dụng Megohm kế cần chú ý những điều gì?

**Câu 10:** Nối đất là gì? Tại sao phải nối đất?

**Câu 11:** Điện trở đất là gì? Thực hiện đo điện trở đất phải chú ý điều gì?

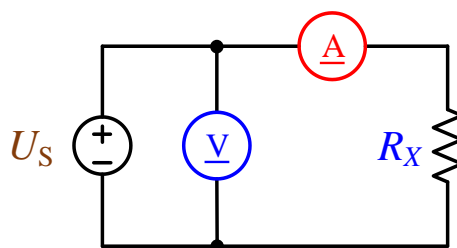
**Câu 12:** Trình bày phương pháp đo điện trở đất 2 điểm dùng Volt kế và Ampe kế?

**Câu 13:** Trình bày phương pháp đo điện trở đất 3 điểm dùng Volt kế và Ampe kế?

**Câu 14:** Cho mạch đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế, với Ampe kế mắc gần tải như hình vẽ. Biết điện áp nguồn  $U_S$  là  $24V$ , nội trở của Ampe kế là  $2\Omega$ , dòng điện đo được từ Ampe kế là  $0,2A$ .

a. Xác định giá trị điện trở  $R_X$ .

b. Tính sai số phép đo.



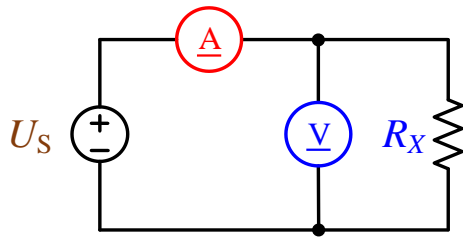


**Câu 15:** Cho mạch đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế, với Ampe kế mắc gần tải. Biết Vôn kế chỉ 500V và Ampe kế chỉ 0,5A, nội trở của Ampe kế là  $10\Omega$ .

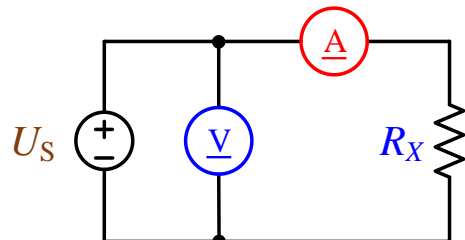
- Xác định giá trị điện trở  $R_X$ .
- Tính sai số phép đo.

**Câu 16:** Cho mạch đo điện trở dùng Vôn kế và Ampe kế như hình vẽ. Biết nội trở của Vôn kế và Ampe kế lần lượt là  $600\Omega$  và  $0,8\Omega$ . Khi Vôn kế chỉ 40V và Ampe kế 120mA.

- Xác định giá trị điện trở  $R_X$  trong mạch đo hình (a) và tính sai số phép đo.
- Xác định giá trị điện trở  $R_X$  trong mạch đo hình (b) và tính sai số phép đo.



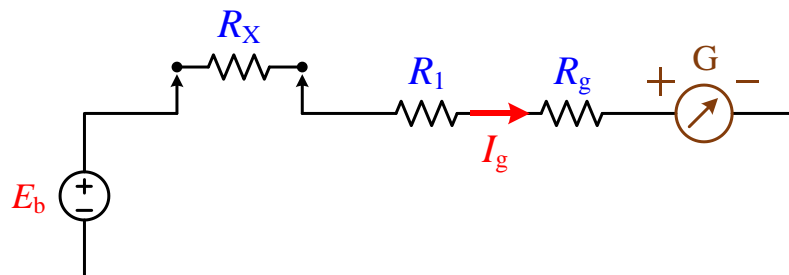
(a)



(b)

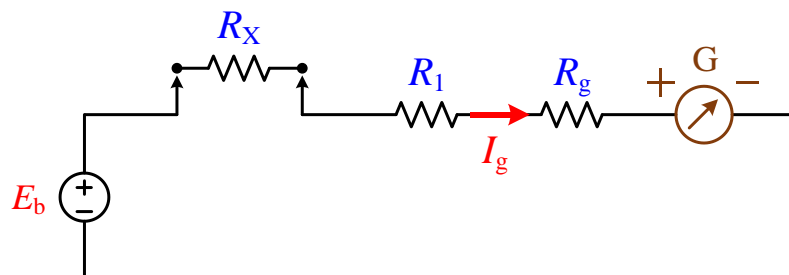
**Câu 17:** Cho mạch đo điện trở như hình vẽ. Biết điện áp nguồn  $E_b = 1,5V$ , cơ cấu đo có  $I_{gm} = 75\mu A$ , điện trở  $R_1 + R_g = 20k\Omega$ .

- Tính dòng điện chạy qua cơ cấu đo khi  $R_X = 0\Omega$  và  $R_X = 5k\Omega$ .
- Tính giá trị  $R_X$  để cho kim chỉ thị có độ lệch bằng 25%.FSD; 50%.FSD và 75%.FSD.



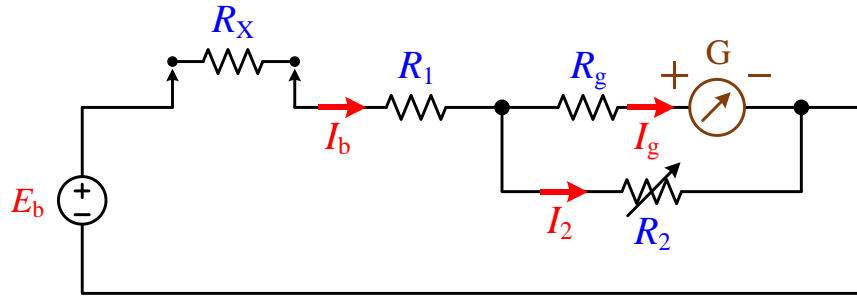
**Câu 18:** Cho mạch đo điện trở như hình vẽ. Biết điện áp nguồn  $E_b = 3V$ , cơ cấu đo có  $I_{gm} = 50\mu A$ , điện trở  $R_1 + R_g = 60k\Omega$ .

- Xác định điện trở  $R_X$  khi dòng điện qua cơ cấu đo là  $40\mu A$ .
- Tính giá trị  $R_X$  để cho kim chỉ thị có độ lệch bằng 25%.FSD; 50%.FSD và 75%.FSD.
- Xác định độ lệch kim chỉ thị nếu điện trở  $R_X$  có giá trị là  $1k\Omega$ .



**Câu 19:** Cho mạch đo điện trở như hình vẽ. Biết  $E_b = 1,5V$ ;  $I_{gm} = 75\mu A$ ;  $R_g = 1k\Omega$ ;  $R_1 = 14k\Omega$  và  $R_2 = 2,8k\Omega$ .

- Tính giá trị  $R_X$  để cho kim chỉ thị có độ lệch bằng 25%.FSD; 50%.FSD và 75%.FSD.
- Xác định điện trở  $R_X$  khi dòng điện qua mạch đo là  $76\mu A$  ( $I_b = 76\mu A$ ).
- Xác định độ lệch kim chỉ thị nếu điện trở  $R_X$  có giá trị là  $2,2k\Omega$ .



**Câu 20:** Cho mạch đo điện trở có hình vẽ như câu 19. Biết  $E_b = 2,75V$ ;  $I_{gm} = 100\mu A$ ;  $R_g = 1,1k\Omega$ ;  $R_1 = 2,2k\Omega$  và  $R_2 = 100\Omega$ .

- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 50\%.I_{gm}$
- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 75\%.I_{gm}$

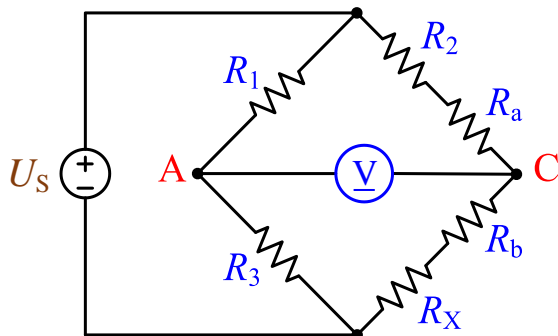
**Câu 21:** Cho mạch đo điện trở có hình vẽ như câu 19. Biết  $E_b = 1,4V$ ;  $I_{gm} = 100\mu A$ ;  $R_g = 1,4k\Omega$ ;  $R_1 = 12k\Omega$  và  $R_2 = 28k\Omega$ .

- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 50\%.I_{gm}$
- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 75\%.I_{gm}$
- Tính dòng điện qua cơ cấu đo khi  $R_X = 0\Omega$  và sai số do phép toán gần đúng gây ra?

**Câu 22:** Cho mạch đo điện trở có hình vẽ như câu 19. Biết  $E_b = 3V$ ;  $I_{gm} = 150\mu A$ ;  $R_g = 2k\Omega$ ;  $R_1 = 15k\Omega$  và  $R_2 = 10k\Omega$ .

- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 50\%.I_{gm}$
- Xác định giá trị của điện trở  $R_X$  khi  $I_g = 75\%.I_{gm}$
- Tính dòng điện qua cơ cấu đo khi  $R_X = 0\Omega$  và sai số do phép toán gần đúng gây ra?
- Giả sử sau một thời gian hoạt động, nguồn  $E_b$  giảm xuống còn  $2,8V$ . Biết rằng biến trở đã được điều chỉnh để khi  $R_X = 0$  thì  $I_g = I_{gm}$ . Tính giá trị của biến trở  $R_2$  lúc này?
- Với  $E_b = 2,8V$  và  $R_2$  vừa tìm được, tính lại giá trị của  $R_X$  khi  $I_g = 50\%.I_{gm}$

**Câu 23:** Cho mạch cầu đo điện trở như hình vẽ. Khi cầu cân bằng, ta có:  $R_a=1200\Omega$ ;  $R_b=2.R_a$ ;  $R_1=2.R_b$ ;  $R_1=1,25.R_2$ ;  $U_S=7,5V$ .



- Tính giá trị điện trở  $R_b$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ .
- Tính giá trị điện trở  $R_X$  khi dòng điện qua điện trở  $R_3$  là  $1mA$ .

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

---

---

- [1] *Kỹ thuật đo*, Nguyễn Ngọc Tân, Ngô Văn Kỳ, NXB Khoa Học Kỹ Thuật, 2005
- [2] *Kỹ thuật đo lường Điện - Điện tử*, TS. Lưu Thế Vinh, Trường Đại học Đà Lạt, 2002
- [3] *Giáo trình Kỹ thuật đo*, Dương Hữu Phước, Trường Đại Học Công Nghiệp TP. HCM, 2007
- [4] *Giáo trình Đo lường điện*, Trần Đại Nghĩa, Trường Cao Đẳng Nghề Dầu Khí, 2009
- [5] *Giáo trình Đo lường điện tử*, Vũ Xuân Giáp, NXB Hà Nội, 2005
- [6] *Giáo trình Đo lường điện và cảm biến đo lường*, Nguyễn Văn Hòa, Bùi Đăng Thành, Hoàng Sỹ Hồng, NXB Giáo Dục, 2005
- [7] *Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation 1st Edition*, Prithwiraj Purkait Budhaditya Biswas Santanu Das, McGraw Hill Education India, 2013
- [8] <https://www.electronics-tutorials.ws/>
- [9] [https://www.tutorialspoint.com/electronic\\_measuring\\_instruments/](https://www.tutorialspoint.com/electronic_measuring_instruments/)
- [10] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/moving-coil-meter>