

**UBND TỈNH PHÚ YÊN
TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ PHÚ YÊN**

GIÁO TRÌNH
MÔ ĐUN: VẬT LIỆU ĐIỆN
Mã số: MĐ 11
NGHỀ: ĐIỆN CÔNG NGHIỆP
Trình độ: Trung cấp nghề và Cao đẳng nghề



Biên soạn: KS. Trần Đình Dương

Tuy Hòa, tháng 5 năm 2011

Tuyên bố bản quyền

Tài liệu này thuộc loại sách giáo trình lưu hành nội bộ nên các nguồn thông tin có thể được phép dùng nguyên bản hoặc trích dùng cho các mục đích về đào tạo và tham khảo.

Mọi mục đích khác mang tính lệch lạc hoặc sử dụng với mục đích kinh doanh thiếu lành mạnh sẽ bị nghiêm cấm.

LỜI NÓI ĐẦU

Hiện nay ở nước ta hầu hết các hoạt động của xã hội đều gắn với việc sử dụng điện năng. Điện không những được sử dụng ở thành phố mà còn được đưa về nông thôn, miền núi hoặc nhờ các trạm phát điện địa phương, máy phát điện hộ gia đình.

Cùng với sự phát triển của điện năng các thiết bị điện dân dụng được sử dụng ngày càng tăng lên không ngừng. Chất lượng của các vật liệu điện cũng không ngừng được cải tiến và nâng cao cùng với sự phát triển của công nghệ mới. Vì vậy đòi hỏi người công nhân làm việc trong các ngành, nghề và đặc biệt trong các ngành nghề điện, điện tử phải hiểu rõ về bản chất của các vật liệu và ứng dụng của các vật liệu đó, đồng thời phải hiểu rõ về cấu tạo vật liệu, nắm được các hiện tượng, nguyên nhân hư hỏng và cách khắc phục để không ngừng nâng cao hiệu quả kinh tế và tiết kiệm điện năng trong sử dụng.

Nội dung mô đun này trang bị cho học viên những kiến thức cơ bản về cấu tạo vật liệu điện nhằm ứng dụng có hiệu quả trong ngành nghề của mình.

CHƯƠNG TRÌNH MÔN HỌC VẬT LIỆU ĐIỆN

Mã số mô đun: MĐ 11

Thời gian môn học: 30h ;

(Lý thuyết: 15h; Thực hành: 15h)

I. Vị trí tính chất của môn học:

Môn học này học sau môn học An toàn lao động và học song song với các môn học Vẽ điện, Khí cụ điện...

II. Mục tiêu môn học:

Sau khi hoàn tất môn học này, người học có năng lực:

Nhận dạng các loại vật liệu điện thông dụng.

Phân loại các loại vật liệu điện thông dụng.

Trình bày đặc tính của các loại vật liệu điện.

Sử dụng thành thạo các loại vật liệu điện.

Xác định các dạng và nguyên nhân gây hư hỏng ở vật liệu điện.

Tính chọn/thay thế vật liệu điện.

III. Nội dung môn học:

1. Nội dung tổng quát và phân bố thời gian

Số TT	Tên chương mục	Thời gian			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành Bài tập	Kiểm tra* (LT hoặc TH)
I	Khái niệm về vật liệu điện	3	2	1	
II	Vật liệu cách điện	9	5	4	
III	Vật liệu dẫn điện	10	4	5	1
IV	Vật liệu dẫn từ	8	3	5	
	Cộng:	30	14	15	1

* Ghi chú: Thời gian kiểm tra lý thuyết được tính vào giờ lý thuyết, kiểm tra thực hành được tính vào giờ thực hành.

2. Nội dung chi tiết

Chương 1: Khái niệm về vật liệu điện

Mục tiêu:

Nhận dạng được các loại vật liệu điện.

Phân loại chính xác các loại vật liệu điện dùng trong công nghiệp và dân dụng.

Số TT	Nội dung:	Thời gian			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành Bài tập	Kiểm tra* (LT hoặc TH)
1	Khái niệm về vật liệu điện.	1	1	0	0
1.1	Khái niệm.				
1.2	Cấu tạo nguyên tử của vật liệu.				
1.3	Cấu tạo phân tử.				
1.4	Khuyết tật trong cấu tạo vật rắn.				
1.5	Lý thuyết phân vùng năng lượng trong vật rắn				
2	Phân loại vật liệu điện.	2	1	1	0
2.1	Phân loại theo khả năng dẫn điện.				

2.	Phân loại theo từ tính.				
2.3	Phân loại theo trạng thái vật thể.				
Cộng :		3	2	1	0

Chương 2: Vật liệu cách điện

Mục tiêu:

Nhận dạng, phân loại chính xác các loại vật liệu cách điện dùng trong công nghiệp và dân dụng.

Trình bày được các đặc tính cơ bản của một số loại vật liệu cách điện thường dùng.

Sử dụng phù hợp các loại vật liệu cách điện theo từng yêu cầu kỹ thuật cụ thể.

Xác định được các nguyên nhân gây ra hư hỏng và có phương án thay thế khả thi các loại vật liệu cách điện thường dùng.

Số TT	Nội dung:	Thời gian			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành Bài tập	Kiểm tra* (LT hoặc TH)
1	Khái niệm và phân loại vật liệu cách điện	1	1	0	0
1.1	Khái niệm.				
1.2	Phân loại vật liệu cách điện.				
2	Tính chất chung của vật liệu cách điện.	4	2	2	0
2.1	Tính hút ẩm của vật liệu cách điện.				
2.2	Tính chất cơ học của vật liệu cách điện.				
2.3	Tính chất hóa học của vật liệu cách điện.				
2.4	Hiện tượng đánh thủng điện môi và độ bền cách điện.				
2.5	Độ bền nhiệt.				
2.6	Tính chọn vật liệu cách điện.				
2.7	Hư hỏng thường gặp.				
3	Một số vật liệu cách điện thông dụng.	4	2	2	0
3.1	Vật liệu sợi.				
3.2	Giấy và các tông.				
3.3	Phíp.				
3.4	Amiăng, xi măng amiăng.				
3.5	Vải sơn và băng cách điện.				
3.6	Chất dẻo				
3.7	Nhựa cách điện.				
3.8	Dầu cách điện				
3.9	Sơn và các hợp chất cách điện:				

3.1 0	Chất đàn hồi.				
3.1 1	Điện môi vô cơ.				
3.1 2	Vật liệu cách điện bằng gốm sứ.				
3.1 3	Mica và các vật liệu trên cơ sở mica.				
Cộng :		9	5	4	0

Chương 3: Vật liệu dẫn điện

Mục tiêu:

Nhận dạng, phân loại chính xác các loại vật liệu dẫn điện dùng trong công nghiệp và dân dụng.

Trình bày được các đặc tính cơ bản của một số loại vật liệu dẫn điện thường dùng.

Sử dụng phù hợp các loại vật liệu dẫn điện theo từng yêu cầu kỹ thuật cụ thể.

Xác định được các nguyên nhân gây ra hư hỏng và có phương án thay thế khả thi các loại vật liệu dẫn điện thường dùng.

Số TT	Nội dung:	Thời gian			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành Bài tập	Kiểm tra* (LT hoặc TH)
1	Khái niệm và tính chất của vật liệu dẫn điện.	1	1	0	0
1.1	Khái niệm về vật liệu dẫn điện.				
1.2	Tính chất của vật liệu dẫn điện.				
1.3	Các tác nhân môi trường ảnh hưởng đến tính dẫn điện của vật liệu.				
1.4	Hiệu điện thế tiếp xúc và sức nhiệt động.				
2	Những hư hỏng thường và cách chọn vật liệu dẫn điện.	2	1	1	0
2.1	Những hư hỏng thường gặp.				
2.2	Cách chọn vật liệu dẫn điện.				
3	Một số vật liệu dẫn điện thông dụng.	7	2	4	1
2.1	Đồng và hợp kim đồng.				
3.2	Nhôm và hợp kim nhôm.				
3.3	Chì và hợp kim chì.				
3.4	Sắt (Thép)				
3.5	Wonfram.				
3.6	Kim loại dùng làm tiếp điểm và cổ góp.				

3.7	Hợp kim có điện trở cao và chịu nhiệt.				
3.8	Lưỡng kim.				
Cộng :		10	4	5	1

Chương 4: Vật liệu dẫn từ

Mục tiêu:

Nhận dạng, phân loại chính xác các loại vật liệu dẫn từ dùng trong công nghiệp và dân dụng.

Trình bày được các đặc tính cơ bản của một số loại vật liệu dẫn từ thường dùng.

Sử dụng phù hợp các loại vật liệu dẫn từ theo từng yêu cầu kỹ thuật cụ thể.

Xác định được các nguyên nhân gây ra hư hỏng và có phương án thay thế khả thi các loại vật liệu dẫn từ thường dùng.

Số TT	Nội dung:	Thời gian			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành Bài tập	Kiểm tra* (LT hoặc TH)
1	Khái niệm và tính chất vật liệu dẫn từ.	2	1	1	0
1.1	Khái niệm.				
1.2	Tính chất vật liệu dẫn từ.				
1.3	Các đặc tính của vật liệu dẫn từ.				
1.4	Đường cong từ hóa.				
2	Mạch từ và tính toán mạch từ.	3	1	2	0
2.1	Các công thức cơ bản.				
2.2	Sơ đồ thay thế của mạch từ.				
2.3	Mạch từ xoay chiều.				
3	Những hư hỏng thường gặp.	3	1	2	0
3.1	Một số vật liệu dẫn từ thông dụng.				
3.2	Vật liệu sắt từ mềm.				
3.3	Vật liệu sắt từ cứng.				
3.3	Các vật liệu sắt từ có công dụng đặc biệt.				
Cộng :		8	3	5	0

IV. Điều kiện thực hiện chương trình:

Vật liệu:

- + Dây dẫn điện, dây điện từ các loại.
- + Giấy, gen, sứ, thủy tinh... cách điện các loại.
- + Mạch từ của các loại máy biến áp gia dụng.
- + Chì hàn, nhựa thông, giấy nhám các loại.
- + Hóa chất dùng để tẩm sấy cuộn dây máy điện (keo, vec-ni cách điện...).

Dụng cụ và trang thiết bị:

- + Bộ đồ nghề điện, cơ khí cầm tay.
- + Tủ sấy điều khiển được nhiệt độ.
- + Các mô hình dàn trải thiết bị, hoạt động được:
- + Thiết bị cấp nhiệt: Nồi cơm điện, bàn ủi, máy nước nóng, lò nướng...
- + Tủ lạnh, máy điều hoà nhiệt độ...
- + Thiết bị gia dụng: Quạt điện, máy bơm nước, survolteur, Ổn áp tự động...
- + VOM, Mêgômmet.
- + Thiết bị thử độ bền cách điện.
- + Biến áp tự ngẫu: điều chỉnh tinh, điện áp vào 220V, điện áp ra (0 - 400) V (điều chỉnh được).

Nguồn lực khác:

- + PC, phần mềm chuyên dùng.
- + Projector, overhead.
- + Máy chiếu vật thể ba chiều.
- + Video và các bản vẽ, tranh mô tả thiết bị.

V. Phương pháp và nội dung đánh giá:

Có thể áp dụng hình thức kiểm tra viết hoặc kiểm tra trắc nghiệm. Các nội dung trọng tâm cần kiểm tra là:

Nhận dạng được các loại vật liệu.

Một số đặc tính cơ bản và phạm vi ứng dụng của từng loại vật liệu.

VI. Hướng dẫn chương trình :

1. Phạm vi áp dụng chương trình:

Chương trình môn học này được sử dụng để giảng dạy cho trình độ Trung cấp nghề và Cao đẳng nghề.

2. Hướng dẫn một số điểm chính về phương pháp giảng dạy môn học:

Trước khi giảng dạy, giáo viên cần căn cứ vào nội dung của từng bài học để chuẩn bị đầy đủ các điều kiện cần thiết nhằm đảm bảo chất lượng giảng dạy.

Nên áp dụng phương pháp đàm thoại để Người học ghi nhớ kỹ hơn.

Nên bố trí thời gian giải bài tập, nhận dạng các loại vật liệu, hướng dẫn và sửa sai tại chỗ cho Người học.

Cần lưu ý kỹ về các đặc tính của từng nhóm vật liệu.

3. Những trọng tâm cần chú ý:

Phân loại vật liệu, vai trò của vật liệu.

Đặc tính cơ bản và phạm vi ứng dụng của từng nhóm vật liệu.

Tính chọn một số vật liệu trong trường hợp đơn giản.

4. Tài liệu cần tham khảo:

- Công nghệ chế tạo và tính toán sửa chữa máy điện 1, 2, 3 - Nguyễn Trọng Thắng, NXB Giáo Dục, 1995.

- Máy điện 1, 2 - Trần Khánh Hà, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1997.

- Quấn dây, sử dụng và sửa chữa động cơ điện xoay chiều và một chiều thông dụng - Nguyễn Xuân Phú (chủ biên) - NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1997.

- Kỹ Thuật Điện - Đặng Văn Đào – Lê Văn Doanh, NXB KH&KT, Hà Nội 1997.

- Thực hành kỹ thuật cơ điện lạnh - Trần Thế San, Nguyễn Đức Phần - NXB Đà Nẵng, 2001.

- Khí cụ điện - Kết cấu, sử dụng và sửa chữa - Nguyễn Xuân Phú, NXB Khoa học và Kỹ thuật , 1998.
- Vật liệu điện - Nguyễn Xuân Phú, NXB Khoa học và Kỹ thuật , 1998.
- Giáo trình Vật liệu điện – Nguyễn Đình Thắng, NXB Giáo dục (Tái bản lần 3), 2007.

MỤC LỤC

	Trang
I.Vị trí, ý nghĩa, vai trò giáo trình	1
II.Mục tiêu giáo trình	1
III.Nội dung giáo trình	1
A. Phần lý thuyết	2
Chương I: Khái niệm về vật liệu điện	2
1.1 Khái niệm về vật liệu điện.	2
1.1.1 Khái niệm.	2
1.1.2 Cấu tạo nguyên tử của vật liệu.	2
1.1.3 Cấu tạo phân tử của vật liệu.	4
1.1.4 Khuyết tật trong cấu tạo vật rắn.	6
1.1.5 Lý thuyết phân vùng năng lượng trong vật rắn	7
1.2 Phân loại vật liệu điện.	9
1.2.1 Phân loại theo khả năng dẫn điện.	9
1.2.2 Phân loại theo từ tính.	10
1.2.3 Phân loại theo trạng thái vật thể.	11
Câu hỏi ôn tập	12
Chương II: Vật liệu cách điện	13
2.1 Khái niệm và phân loại vật liệu cách điện	13
2.1.1 Khái niệm.	13
2.1.2 Phân loại vật liệu cách điện.	13
2.2 Tính chất chung của vật liệu cách điện.	14
2.2.1 Tính hút ẩm của vật liệu cách điện.	14
2.2.2 Tính chất cơ học của vật liệu cách điện.	18
2.2.3 Tính chất hóa học của vật liệu cách điện.	18
2.2.4 Hiện tượng đánh thủng điện môi và độ bền cách điện.	19
2.2.5 Độ bền nhiệt.	23
2.3 Một số vật liệu cách điện thông dụng.	24
2.3.1 Vật liệu sợi :	24
2.3.2 Vật liệu cách điện gỗ, giấy	25
2.3.3 Micanit	26
2.3.4 Sơn cách điện	26
2.3.5 Dầu máy biến áp	27
2.3.6 Vật liệu cách điện gốm sứ	28
2.3.7 Nhựa	29
2.3.8 Cao su	30
2.3.9 Mica và sản phẩm gốc mica	32
Câu hỏi ôn tập	32
Chương III: Vật liệu dẫn điện	34
3.1 Khái niệm và tính chất của vật liệu dẫn điện.	34
3.1.2 Khái niệm về vật liệu dẫn điện.	34

3.1.4 Tính chất của vật liệu dẫn điện.	34
3.1.5 Các tác nhân môi trường ảnh hưởng đến tính dẫn điện của vật liệu.	35
3.1.6 Hiệu điện thế tiếp xúc và sức nhiệt động.	37
3.2 Những hư hỏng thường và cách chọn vật liệu dẫn điện.	39
3.2.1 Những hư hỏng thường gặp.	39
3.2.2 Cách chọn vật liệu dẫn điện.	39
3.3 Một số vật liệu dẫn điện thông dụng.	39
3.3.1 Đồng và hợp kim đồng.	39
3.3.2 Nhôm và hợp kim nhôm.	44
3.3.3 Chì và hợp kim chì.	48
3.3.4 Sắt (Thép) và hợp kim của Sắt (thép)	49
3.3.5 Wonfram.	51
3.3.6 Kim loại dùng làm tiếp điểm và cổ góp.	52
3.3.7 Hợp kim có điện trở cao và chịu nhiệt.	54
3.3.8 Lưỡng kim.	56
Câu hỏi ôn tập	57
Chương IV: Vật liệu dẫn từ	58
4.1 Khái niệm và tính chất vật liệu dẫn từ.	58
4.1.1 Khái niệm.	58
4.1.2 Tính chất vật liệu dẫn từ.	58
4.1.3 Các đặc tính của vật liệu dẫn từ.	59
4.1.4 Đường cong từ hóa.	60
4.2 Mạch từ và tính toán mạch từ.	60
4.2.1 Các công thức cơ bản.	60
4.2.2 Sơ đồ thay thế của mạch từ.	63
4.2.3 Mạch từ xoay chiều.	65
4.3 Một số vật liệu dẫn từ thông dụng.	67
4.3.1 Vật liệu sắt từ mềm.	67
4.3.2 Vật liệu sắt từ cứng	68
Câu hỏi ôn tập	68
B. Phần thực hành kiểm nghiệm cách điện	69
1 Phân nhóm kiểm nghiệm cách điện	69
2 Thứ cách điện không phá hủy	69
3 Kiểm nghiệm cách điện của máy biến áp	71
4 Kiểm nghiệm cách điện của máy phát điện	72
5 Kiểm nghiệm cách điện của máy cắt	72
6 Kiểm nghiệm cách điện của khí cụ điện hạ thế	72
Câu hỏi ôn tập thực hành	73
IV. Điều kiện thực hiện giáo trình:	74
V. Phương pháp và nội dung đánh giá:	74
VI. Hướng dẫn giáo trình :	74
Tài liệu cần tham khảo	75

CHƯƠNG 1: KHÁI NIỆM VỀ VẬT LIỆU ĐIỆN

Mục tiêu:

Nhận dạng được các loại vật liệu điện.

Phân loại chính xác các loại vật liệu điện dùng trong công nghiệp và dân dụng.

Mục đích chương này nhắc lại một số kiến thức cơ bản đã được học ở phổ thông trung học cần thiết về cấu tạo vật chất trước khi nghiên cứu những vật liệu kỹ thuật điện cụ thể.

1.1.KHÁI NIỆM VỀ VẬT LIỆU ĐIỆN

1.1.1. KHÁI NIỆM

Vật liệu điện là tất cả những chất liệu dùng để sản xuất các thiết bị sử dụng trong lĩnh vực ngành điện. Thường được phân ra các vật liệu theo đặc điểm, tính chất và công dụng của nó, thường là các vật liệu dẫn điện, vật liệu cách điện và vật liệu dẫn từ.

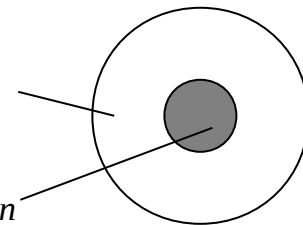
1.1.2.CẤU TẠO NGUYÊN TỬ CỦA VẬT LIỆU

Nguyên tử là phần tử cơ bản nhất của vật chất. Mọi vật chất đều được cấu tạo từ nguyên tử và phân tử theo mô hình nguyên tử của Bo.

Nguyên tử được cấu tạo bởi hạt nhân mang điện tích dương (gồm proton p và nơtron n) và các điện tử mang điện tích âm (electron, ký hiệu là e) chuyển động xung quanh hạt nhân theo một quỹ đạo xác định.

Nguyên tử : Là phần nhỏ nhất của một phân tử có thể tham gia phản ứng hoá học, nguyên tử gồm có hạt nhân và lớp vỏ điện tử hình 1.1

- Hạt nhân : gồm có các hạt Proton và Nơtron
- Vỏ hạt nhân gồm các electron chuyển động xung quanh hạt nhân theo quỹ đạo xác định.



Hình 1.1. Cấu tạo nguyên tử

Tùy theo mức năng lượng mà các điện tử được xếp thành lớp.

Ở điều kiện bình thường, nguyên tử trung hòa về điện, tức là:

$$|\Sigma(+) \text{ hạt nhân} | = |\Sigma(-) e |$$

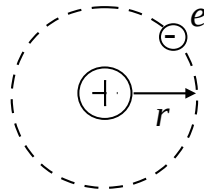
Khối lượng của e rất nhỏ: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ (Kg)

$$q_e = 1,601 \cdot 10^{-19}$$
 (C)

Do điện tử có khối lượng rất nhỏ cho nên độ linh hoạt của tốc độ chuyển động khá cao. Ở một nhiệt độ nhất định, tốc độ chuyển động của electron rất cao. Nếu vì nguyên nhân nào đó một nguyên tử bị mất điện tử e thì nó trở thành Ion (+), còn nếu nguyên tử nhận thêm e thì nó trở thành Ion (-).

Quá trình biến đổi 1 nguyên tử trung hòa trở thành điện tử tự do hay Ion (+) được gọi là quá trình Ion hóa.

Để có khái niệm về năng lượng của điện tử xét trường hợp đơn giản của nguyên tử Hydro, nguyên tử này được cấu tạo từ một proton và một điện tử e (hình 1.2).



Hình 1.2. Mô hình nguyên tử H

Khi điện tử chuyển động trên quỹ đạo có bán kính r bao quanh hạt nhân, thì giữa hạt nhân và điện tử e có 2 lực:

$$\text{Lực hút (lực hướng tâm): } f_1 = \frac{q^2}{r} \quad (1-1)$$

$$\text{và lực ly tâm: } f_2 = \frac{mv^2}{r} \quad (1-2)$$

trong đó:

m - khối lượng của điện tử,

v - vận tốc dài của chuyển động tròn

$$\text{Ở trạng thái trung hòa, hai lực này cân bằng: } f_1 = f_2 \text{ hay } mv^2 = \frac{q^2}{r} \quad (1-3)$$

Năng lượng của điện tử sẽ bằng:

$$W_e = T + U \text{ (Động năng T + Thế năng U)}$$

$$\text{trong đó: } T = \frac{mv^2}{2}, U = -\frac{q^2}{r}.$$

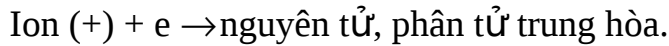
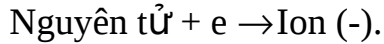
$$\text{Vậy } W_e = T + U = \frac{q^2}{2r} - \frac{q^2}{r} = -\frac{q^2}{2r} \text{ hay } W_e = -\frac{q^2}{2r} \quad (1-4)$$

Biểu thức trên chứng tỏ mỗi điện tử của nguyên tử đều tương ứng với một mức năng lượng nhất định và để di chuyển nó tới quỹ đạo xa hơn phải cung cấp năng lượng cho điện tử,... Năng lượng của điện tử phụ thuộc vào bán kính quỹ đạo chuyển động. Điện tử ngoài cùng có mức năng lượng thấp nhất do đó dễ bị bứt ra và trở thành trạng thái tự do. Năng lượng cung cấp cho điện tử e để nó trở thành trạng thái tự do gọi là năng lượng Ion hóa (W_i).

Để tách một điện tử trở thành trạng thái tự do thì phải cần một năng lượng $W_i \geq W_e$. Khi $W_i < W_e$ chỉ kích thích dao động trong một khoảng thời gian rất ngắn, các nguyên tử sau đó lại trở về trạng thái ban đầu.

Năng lượng Ion hóa cung cấp cho nguyên tử có thể là năng lượng nhiệt, năng lượng điện trường hoặc do va chạm, năng lượng tia tử ngoại, tia cực tím, phóng xạ.

Ngược lại với quá trình Ion hóa là quá trình kết hợp:



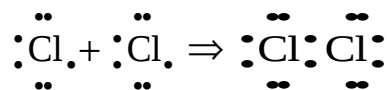
1.1.3. CẤU TẠO PHÂN TỬ CỦA VẬT LIỆU

Là phần nhỏ nhất của một chất ở trạng thái tự do nó mang đầy đủ các đặc điểm, tính chất của chất đó, trong phân tử các nguyên tử liên kết với nhau bởi liên kết hóa học. Vật chất được cấu tạo từ nguyên, phân tử hoặc ion theo các dạng liên kết dưới đây:

1.1.3.1. Liên kết đồng hóa trị

Liên kết này đặc trưng bởi sự kiện là một số điện tử đã trở thành chung cho các nguyên tử tham gia hình thành phân tử.

Lấy cấu trúc của phân tử clo làm ví dụ: phân tử này gồm 2 nguyên tử clo và như đã biết, nguyên tử clo có 17 điện tử, trong đó 7 điện tử ở lớp ngoài cùng (điện tử hoá trị). Hai nguyên tử clo liên kết bền vững với nhau bằng cách sử dụng chung hai điện tử như trên hình 1.3. Lớp vỏ ngoài cùng của mỗi nguyên tử được bổ sung thêm một điện tử của nguyên tử kia.



Hình 1.3.

Phân tử liên kết đồng hoá trị có thể là trung tính hoặc cực tính. Phân tử clo thuộc loại trung tính vì các trung tâm điện tích dương và điện tích dương trùng nhau.

Axit clohydric HCl là ví dụ của phân tử cực tính. Các trung tâm điện tích dương và âm cách nhau một khoảng và như vậy phân tử này được xem như một lưỡng cực điện.

Tùy theo cấu trúc các phân tử đối xứng hay không đối xứng mà chia các phân tử ra làm hai loại

- Phân tử không phân cực là phân tử mà trọng tâm điện tích âm trùng với trọng tâm điện tích dương

- Phân tử phân cực là phân tử mà tâm điện tích âm cách trọng tâm điện tích dương một khoảng l

Để đặc trưng cho sự phân cực người ta dùng mô men lưỡng cực

$$\vec{P}_e = q.l$$

Trong đó:

q : là điện tích

l : có chiều $-q$ đến $+q$ và có độ lớn bằng l (khoảng cách giữa trọng tâm điện tích dương và trọng tâm điện tích âm)

1.1.3.2. Liên kết Ion

Liên kết ion được xác lập bởi lực hút giữa các Ion (+) và Ion(-). Liên kết này chỉ xảy ra giữa các nguyên tử của các nguyên tố hóa học có tính chất khác nhau.

Đặc trưng cho dạng liên kết kim loại là liên kết giữa các kim loại và phi kim để tạo thành muối, cụ thể là Halogen và kim loại kiềm gọi là muối Halogen của kim loại kiềm.

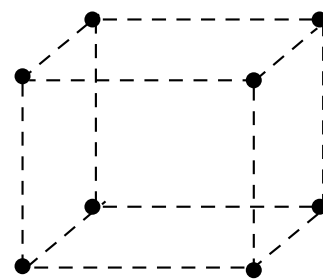
Liên kết này khá bền vững. Do vậy nhiệt độ nóng chảy của các chất có liên kết Ion rất cao

Ví dụ: Liên kết giữa Na và Cl trong muối NaCl là liên kết ion (vì Na có 1 electron lớp ngoài cùng cho nên dễ nhường 1 electron tạo thành Na^+ , Cl có 7 electron ở lớp ngoài cùng cho nên dễ nhận 1 electron tạo thành Cl^- , hai ion này trái dấu sẽ hút nhau và tạo thành phân tử NaCl, muối NaCl có tính hút ẩm $t_{nc} = 800^\circ C$, $t_{sôi} < 1450^\circ C$.

1.1.3.3. Liên kết kim loại

Là liên kết trong các kim loại mà hạt nhân ở các nút mạng tinh thể. Xung quanh hạt nhân có các điện tử liên kết, ngoài ra còn có các điện tử tự do. Do đó, kim loại có tính chất dẫn điện, dẫn nhiệt tốt.

Khi không kể đến chuyển động nhiệt thì các hạt (gồm nguyên tử, phân tử hoặc ion) ở một vị trí xác định gọi là nút. Các nút được sắp xếp theo một trật tự xác định hợp thành mạng tinh thể.



Hình 1.4. Mạng tinh thể cơ bản của kim loại

Hình 1.4 là mạng tinh thể lập phương (cơ bản) của kim loại. Dạng liên kết này giải thích được những tính chất đặc trưng của kim loại:

- Tính nguyên khối (rắn): Lực hút giữa các ion âm và các điện tử tạo nên tính nguyên khối, kim loại thường ở dạng mạng tinh thể
- Tính dẻo: do sự dịch chuyển và trượt lên nhau của các ion
- Do tồn tại các điện tử tự do nên kim loại thường có ánh kim, dẫn điện và dẫn nhiệt cao.

1.1.3.4. Liên kết VanDerVan:

Tương tự như liên kết kim loại nhưng là liên kết yếu, do vậy nhiệt độ nóng chảy thấp (Ví dụ: paraffin).

1.1.4. KHUYẾT TẬT TRONG CẤU TẠO VẬT RẮN

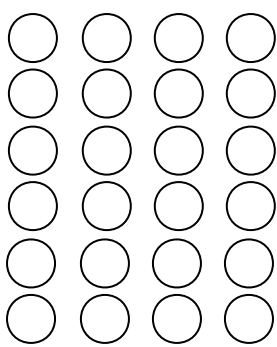
Thực tế các mạng tinh thể có kết cấu đồng đều hay không đồng đều, tuy nhiên trong kỹ thuật người ta thường sử dụng các những vật liệu có cấu trúc đồng đều. Sự phá hủy các kết cấu đều và tạo nên các khuyết tật trong vật rắn thường gặp nhiều trong thực tế. Những khuyết tật có thể được tạo nên bằng sự ngẫu nhiên hay cố ý trong quá trình công nghệ chế tạo vật liệu.

Khuyết tật trong vật rắn : Là bất kỳ 1 hiện tượng nào làm cho trường tĩnh điện của mạng tinh thể mất tính chu kỳ.

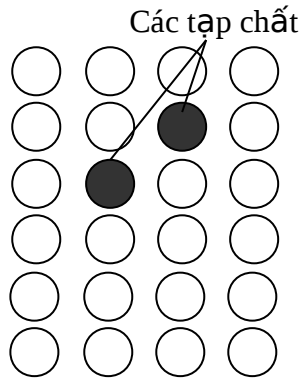
Các dạng khuyết tật trong vật rắn thường là : tạp chất, đoạn tầng, khe rãnh

Khuyết tật trong vật dẫn thường tạo những tính chất vật lý đặc biệt, được ứng dụng trong kỹ thuật các vật liệu và các dụng cụ khác nhau

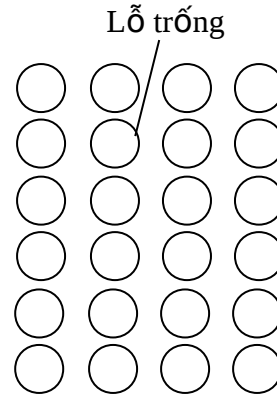
Ví dụ : chất bán dẫn n -p, các hợp kim điện tử.....



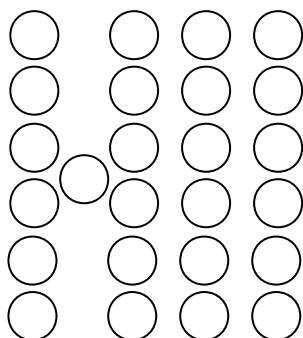
Tinh thể lý tưởng



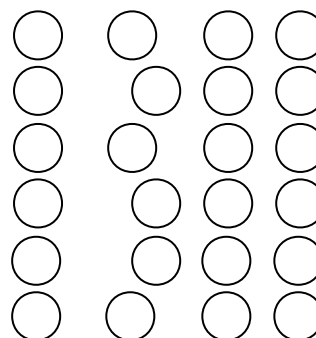
Chứa tạp chất



Chứa lỗ trống



Chèn nguyên tử vào giữa



Dịch chuyển

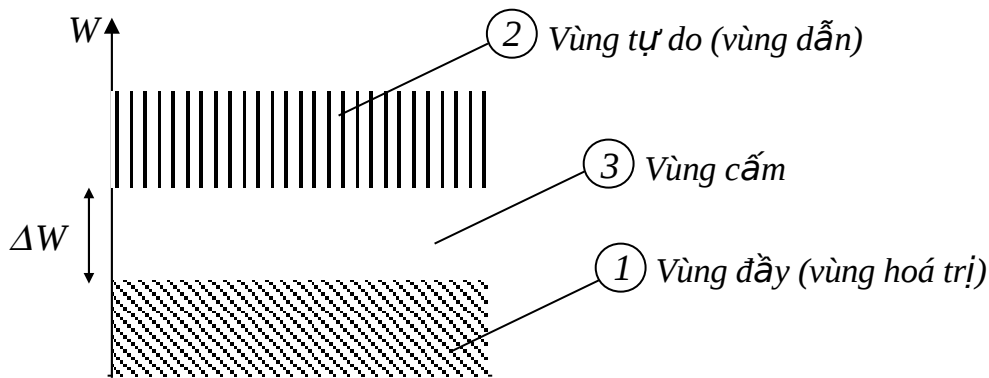
1.1.5. LÝ THUYẾT PHÂN VÙNG NĂNG LƯỢNG VẬT CHẤT

Trên hình 1.5 cho sơ đồ phân bố vùng năng lượng của vật rắn ở nhiệt độ tuyệt đối 0°K.

Mỗi một điện tử đều có một mức năng lượng nhất định. Các điện tử hóa trị của lớp ngoài cùng ở nhiệt độ 0°K chúng tập trung lại thành một vùng, gọi là vùng hóa trị hay vùng đầy (1).

Các điện tử tự do có mức năng lượng cao hơn tập hợp lại thành dải tự do gọi là vùng tự do hay vùng dẫn (2).

Giữa vùng đầy và vùng tự do có một vùng trống gọi là vùng cấm (3).



Hình 1.5. Sơ đồ phân bố vùng năng lượng của vật rắn ở 0°K

Để một điện tử hóa trị ở vùng đầy trở thành trạng thái tự do cần cung cấp cho nó một năng lượng W đủ để vượt qua vùng cấm:

$$W \geq \Delta W \text{ (}\Delta W\text{: năng lượng vùng cấm).}$$

Khi điện tử từ vùng đầy vượt qua vùng cấm sang vùng tự do nó tham gia vào dòng điện dẫn. Tại vùng đầy sẽ xuất hiện các lỗ trống (hình dung như một điện tích dương) do điện tử nhảy sang vùng tự do tạo ra. Các lỗ trống liên tục thay đổi vì khi một điện tử của một vị trí bứt ra tạo thành một lỗ trống thì một điện tử của nguyên tử ở vị trí lân cận lại nhảy vào lấp đầy lỗ trống đó và lại tạo ra một lỗ trống mới khác, ... cứ như vậy dẫn đến các lỗ trống liên tục được thay đổi tạo thành những cặp “điện tử lỗ” trong vật chất. Khi có tác động của của điện trường các lỗ sẽ chuyển động theo chiều của điện trường giống như các điện tích dương, còn các điện tử sẽ chuyển động theo chiều ngược lại. Cả hai chuyển động này hình thành tính dẫn điện của vật chất.

Số lượng điện tử trở thành trạng thái tự do tùy theo mức độ năng lượng từ cao xuống thấp.

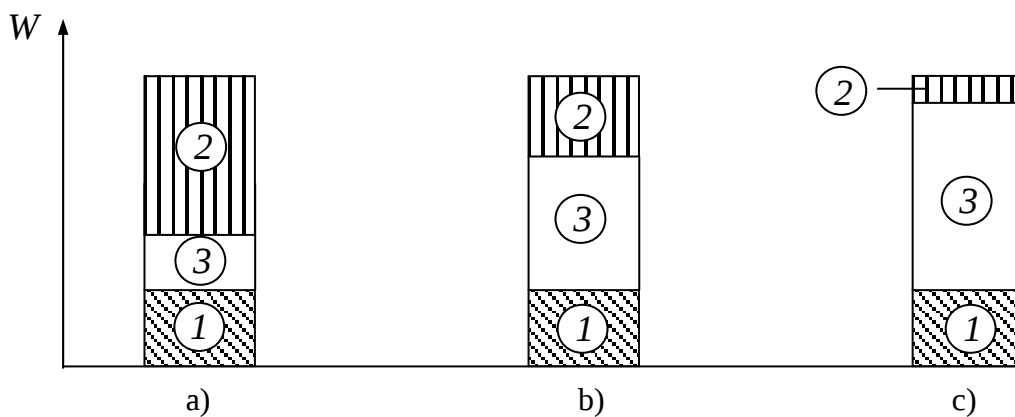
Dựa vào lý thuyết phân vùng năng lượng, người ta chia ra vật liệu kỹ thuật điện thành: vật liệu dẫn điện, vật liệu cách điện và vật cách điện (chất điện môi).

□ Đối với vật liệu cách điện (hình 1.6c): Vùng dẫn (2) rất nhỏ.

Vùng cấm (3) rộng tới mức ở điều kiện bình thường các điện tử hoá trị tuy được cung cấp thêm năng lượng của chuyển động nhiệt vẫn không thể di chuyển tới vùng dẫn (2) để trở thành tự do.

Năng lượng ΔW của vùng (3) lớn, $\Delta W_{CD} = 1,5 \div$ vài eV

Như vậy trong điều kiện bình thường vật liệu có điện dẫn bằng không (hoặc nhỏ không đáng kể).



Hình 1.6

a) Vật liệu dẫn điện

b) Vật liệu bán dẫn

c) Vật liệu cách điện

□ Đối với vật liệu bán dẫn có vùng hoá trị (1) nằm sát hơn vùng dẫn (2) so với vật liệu cách điện (hình 1.6b). Năng lượng vùng cấm (3) lớn hơn so với vật liệu cách điện:

$$\Delta W_{BD} = 1,2 \div 1,5 \text{ eV.}$$

nên ở điều kiện bình thường một số điện tử hoá trị trong vùng (1) với sự tiếp sức của chuyển động nhiệt đã có thể chuyển tới vùng (2) để hình thành tính dẫn điện của vật liệu.

□ Đối với vật liệu dẫn điện (hình 1.6a): có vùng hoá trị (1) nằm sát hơn vùng dẫn (2) so với vật liệu bán dẫn, với mức năng lượng vùng cấm:

$$\Delta W_{DB} < 0,2 \text{ eV.}$$

Các điện tử hoá trị trong vùng (1) có thể di chuyển một cách không điều kiện tới vùng (2) và do đó loại vật liệu này có điện dẫn rất cao.

□ Vật liệu dẫn điện tốt: $\Delta W \approx 0$.

□ Vật liệu siêu dẫn: $\Delta W < 0$.

Chú ý: Vật liệu điện không phải cố định hoàn toàn. Chúng có thể chuyển đổi từ vật dẫn sang bán dẫn hoặc cách điện hoặc ngược lại... tùy thuộc vào năng lượng tác động giữa chúng hay phụ thuộc vào điều kiện tác động của môi trường. Ở điều kiện này có thể là vật cách điện nhưng ở điều kiện khác nó lại trở thành vật dẫn điện.

Ngoài cách phân loại vật liệu nêu trên, dựa vào độ từ thẩm μ người ta còn phân loại vật liệu theo từ tính.

Những chất có độ từ thẩm:

$\mu > 1$: gọi là vật liệu thuận từ.

$\mu < 1$: gọi là vật liệu nghịch từ.

$\mu \gg 1$: gọi là vật liệu dẫn từ.

1.2. PHÂN LOẠI VẬT LIỆU ĐIỆN

1.2.1. Phân loại theo khả năng dẫn điện

Trên cơ sở giản đồ năng lượng người ta phân loại theo vật liệu cách điện (điện môi), bán dẫn và dẫn điện

1. Điện môi: là chất có vùng cấm lớn đến mức ở điều kiện bình thường sự dẫn điện bằng điện tử không xảy ra. Các điện tử hóa trị tuy được cung cấp thêm năng lượng của chuyển động nhiệt vẫn không thể duy chuyển tới vùng tự do để tham gia vào dòng điện dẫn. Chiều rộng vùng cấm của điện môi ΔW nằm trong khoảng từ 1,5 đến vài điện tử von (eV).

2. Bán dẫn: là chất có vùng cấm hẹp hơn so với điện môi, vùng này có thể thay đổi nhờ tác động năng lượng từ bên ngoài. Chiều rộng vùng cấm chất bán dẫn bé ($\Delta W = 0,5 - 1,5 eV$), do đó ở nhiệt độ bình thường một số điện tử hóa trị ở vùng đầy được tiếp sức của chuyển động nhiệt có thể di chuyển tới vùng tự do để tham gia vào dòng điện dẫn.

3. Vật dẫn: là chất có vùng tự do nằm sát với vùng đầy thậm chí có thể chồng lên vùng đầy ($\Delta W < 0,2 eV$). Vật dẫn điện có số lượng điện tử tự do lớn, ở nhiệt độ bình thường các điện tử hóa trị trong vùng đầy có thể chuyển sang vùng tự do rất dễ dàng, dưới tác dụng của lực điện trường các điện tử này tham gia vào dòng điện dẫn, chính vì vậy vật dẫn có tính dẫn điện tốt.

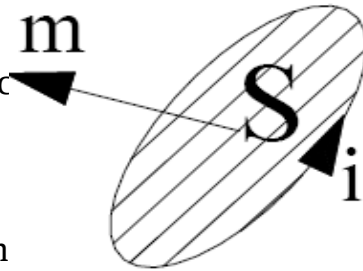
1.2.2. Phân loại theo từ tính

Nguyên nhân chủ yếu của vật liệu gây nên từ tính là do các điện tích chuyển động ngẫu nhiên theo quỹ đạo kín tạo nên những dòng điện vòng. Cụ thể hơn đó là do sự quay của các điện tử xung quanh trục của chúng – spin điện tử và sự quay theo quỹ đạo của các điện tử trong nguyên tử.

- Các điện tử chuyển động xung quanh hạt nhân tạo nên dòng điện cơ bản mà nó được đặc trưng bởi mômen từ M . Mômen từ M tính bằng tích của dòng điện cơ bản với một diện tích S được giới hạn bởi đường viền cơ bản:

$$M = i.S$$

Chiều véc tơ M được xác định theo quy tắc vắn nút chai . hình 1.7 và theo phương thẳng góc với diện tích S . Mômen từ của vật thể là kết quả tổng hợp của tất cả các mômen từ cơ bản đã nêu trên.



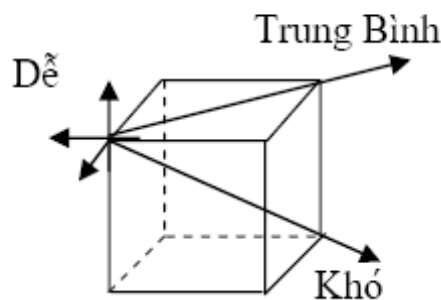
- Ngoài các mômen quỹ đạo đã nêu trên, các điện tử n còn quay xung quanh các trục của nó, do đó

Hình 1. Biểu diễn chiều mômen từ

còn tạo nên các mômen gọi là mômen Spin. Các spin này đóng vai trò quan trọng trong việc từ hóa vật liệu sắt từ.

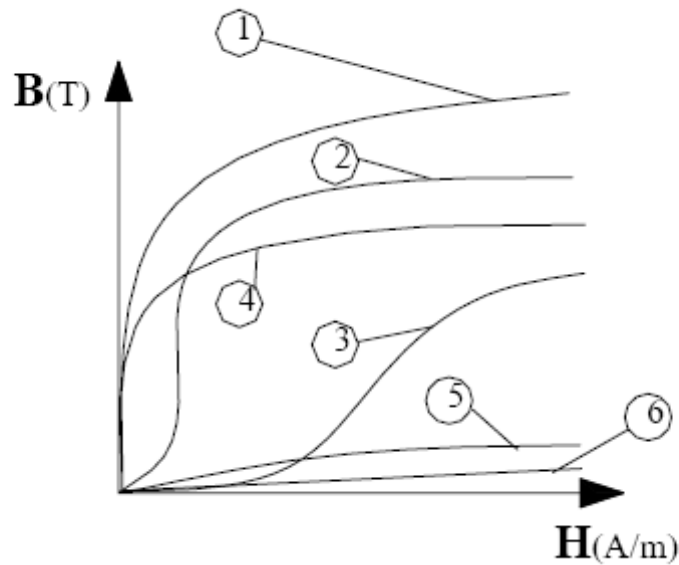
- Khi nhiệt độ dưới nhiệt độ curri, việc hình thành các dòng xoay chiều này có thể nhìn thấy được bằng mắt thường, được gọi là vùng từ tính, vùng này trở nên song song thẳng hàng cùng một hướng. Như vậy vật liệu sắt từ thể hiện chủ yếu sự phân cực từ hóa tự phát khi không có các từ trường đặt bên ngoài.

- Quá trình từ hóa của vật liệu sắt từ dưới tác dụng của từ trường ngoài dẫn đến làm tăng những khu vực mà mômen từ của nó tạo góc nhỏ nhất với hướng của từ trường, giảm kích cỡ các vùng khác và sắp xếp thẳng hàng các mômen từ tính theo hướng từ trường bên ngoài. Sự bão hòa từ tính sẽ đạt được khi nào sự tăng lên của khu vực dùng từ lại và mômen từ tính của tất cả các phần tinh thể nhỏ nhất được từ tính hóa tự sinh trở thành cùng hướng theo hướng của từ trường



Hình 1.8 Hướng từ hóa khó và dễ trong đơn tinh thể Sắt

- Khi từ hóa dọc theo cạnh hình khối, nó mở rộng theo hướng đường chéo, nghĩa là co lại theo hướng từ hóa, hiện tượng đó gọi là hiện tượng từ giao.



Hình 1.9. Đường cong từ hóa của vật liệu sắt từ

- 1- Sắt đặc biệt tinh khiết
- 2- Sắt tinh khiết (99,98% Fe)
- 3- Sắt kỹ thuật tinh khiết (99,92%Fe)
- 4- Pecmanlô (78%Ni)
- 5- S- Niken
- 6- Hợp kim Sắt- Niken (26%Ni)

Theo từ tính người ta phân vật liệu thành nghịch từ, thuận từ và dẫn từ

1. Nghịch từ : là những chất có độ từ thẩm $\mu < 1$ và không phụ thuộc vào cường độ từ trường bên ngoài . Loại này gồm có Hydro, các khí hiếm, đa số các hợp chất hữu cơ, muối mỏ và các kim loại như : đồng, kẽm, bạc, vàng, thủy ngân...

2. Thuận từ : là những chất có độ từ thẩm $\mu > 1$ và cũng không phụ thuộc vào cường độ từ trường bên ngoài. Loại này gồm có oxy, nitơ oxit, muối sắt, các muối coban và niken, kim loại kiềm, nhôm, bạch kim

3. Chất dẫn từ : là các chất có $\mu > 1$ và phụ thuộc vào cường độ từ trường bên ngoài. Loại này gồm có : sắt, niken, coban, và các hợp kim của chúng hợp kim crom và mangan ...

1.2.3. Phân loại theo trạng thái vật thể

- Vật liệu điện theo trạng thái vật rắn
- Vật liệu điện theo trạng thái vật lỏng
- Vật liệu điện theo trạng thái thể khí

CÂU HỎI CHƯƠNG 1

1. Trình bày cấu tạo nguyên tử, phân tử, phân biệt chất trung tính và chất cực tính ?

2. Trình bày nguyên nhân gây ra những khuyết tật trong vật rắn ?
3. Phân loại vật liệu theo lý thuyết phân vùng năng lượng của vật chất
4. Tính lực hút hướng tâm và lực hút ly tâm một nguyên tử biết $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ (Kg) $q_e = 1,601 \cdot 10^{-19}$ (C), $v = 1,26 \cdot 10^5$ m/s
5. Tính năng lượng một nguyên tử biết $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ (Kg), $q_e = 1,601 \cdot 10^{-19}$ (C), $v = 1,24 \cdot 10^6$ m/s
6. Trình bày cách phân loại vật liệu điện ?

CHƯƠNG 2 : VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

Mục tiêu:

Nhận dạng, phân loại chính xác các loại vật liệu cách điện dùng trong công nghiệp và dân dụng.

Trình bày được các đặc tính cơ bản của một số loại vật liệu cách điện thường dùng.

Sử dụng phù hợp các loại vật liệu cách điện theo từng yêu cầu kỹ thuật cụ thể.

Xác định được các nguyên nhân gây ra hư hỏng và có phương án thay thế khả thi các loại vật liệu cách điện thường dùng.

2.1.KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

2.1.1 KHÁI NIỆM

Vật liệu dùng làm cách điện (còn gọi là chất điện môi) là các chất mà trong điều kiện bình thường điện tích xuất hiện ở đâu thì ở nguyên ở chỗ đấy, tức là ở điều kiện bình thường, điện môi là vật liệu không dẫn điện, điện dẫn γ của chúng bằng không hoặc nhỏ không đáng kể.

Vật liệu cách điện có vai trò quan trọng và được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện, Việc nghiên cứu vật liệu cách điện để tìm hiểu các tính chất, đặc điểm, để từ đó chọn lựa cho phù hợp.

2.1.2. PHÂN LOẠI VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

2.1.2.1. Phân loại theo trạng thái vật lý

Theo trạng thái vật lý, có:

- Vật liệu cách điện thể khí,
- Vật liệu cách điện thể lỏng,
- Vật liệu cách điện thể rắn.

Vật liệu cách điện thể khí và thể lỏng luôn luôn phải sử dụng với vật liệu cách điện ở thể rắn thì mới hình thành được cách điện vì các phần tử kim loại không thể giữ chặt được trong không khí.

Vật liệu cách điện rắn còn được phân thành các nhóm: cứng, đàn hồi, có sợi, băng, màng mỏng.

Ở giữa thể lỏng và thể rắn còn có một thể trung gian gọi là thể mềm nhão như: các vật liệu có tính bôi trơn, các loại sơn tẩm.

2.1.2.2. Phân loại theo thành phần hóa học

Theo thành phần hoá học, người ta phân ra: vật liệu cách điện hữu cơ và vật liệu cách điện vô cơ.

1. Vật liệu cách điện hữu cơ: chia thành hai nhóm: nhóm có nguồn gốc trong thiên nhiên và nhóm nhân tạo.

- Nhóm có nguồn gốc trong thiên nhiên sử dụng các hợp chất cơ bản có trong thiên nhiên, hoặc giữ nguyên thành phần hóa học như: cao su, lụa, phíp, xenluloit,...
- Nhóm nhân tạo thường được gọi là nhựa nhân tạo gồm có: nhựa phenol, nhựa amino, nhựa polyeste, nhựa epoxy, xilicon, polyetylen, vinyl, polyamit,....

2. Vật liệu cách điện vô cơ: gồm các chất khí, các chất lỏng không cháy, các loại vật liệu rắn như gốm, sứ, thủy tinh, mica, amiăng...

2.2 TÍNH CHẤT CHUNG CỦA VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

Khi lựa chọn, sử dụng vật liệu cách điện cần phải chú ý đến không những các phẩm chất cách điện của nó mà còn phải xem xét tính Ổn định của những phẩm chất này dưới các tác dụng cơ học, hóa lý học, tác dụng của môi trường xung quanh,...gọi chung là các điều kiện vận hành tác động đến vật liệu cách điện. Dưới tác động của điều kiện vận hành, tính chất của vật liệu cách điện bị giảm sút liên tục, người ta gọi đó là *sự lão hóa* vật liệu cách điện. Do vậy, tuổi thọ của vật liệu cách điện sẽ rất khác nhau trong những điều kiện khác nhau.

Bởi thế cần phải nghiên cứu về tính chất cơ lý hoá, nhiệt của vật liệu cách điện để có thể ngăn cản quá trình lão hoá, nâng cao tuổi thọ của vật liệu cách điện.

2.2.1. Tính hút ẩm của vật liệu cách điện

Các vật liệu cách điện với mức độ khác nhau đều có thể hút ẩm (hút hơi nước từ môi trường không khí) và thấm ẩm (cho hơi nước xuyên qua).

Nước là loại điện môi cực tính mạnh, hằng số điện môi tương đối $\epsilon = 80 \div 81$, độ điện dẫn $\gamma = 10^{-5} \div 10^{-6}$ (1/cm) nên khi vật liệu cách điện bị ngấm ẩm thì phẩm chất cách điện bị giảm sút trầm trọng.

Hơi ẩm trong không khí còn có thể ngưng tụ trên bề mặt điện môi, đó là nguyên nhân khiến cho điện áp phóng điện bề mặt có trị số rất thấp so với điện áp đánh thủng.

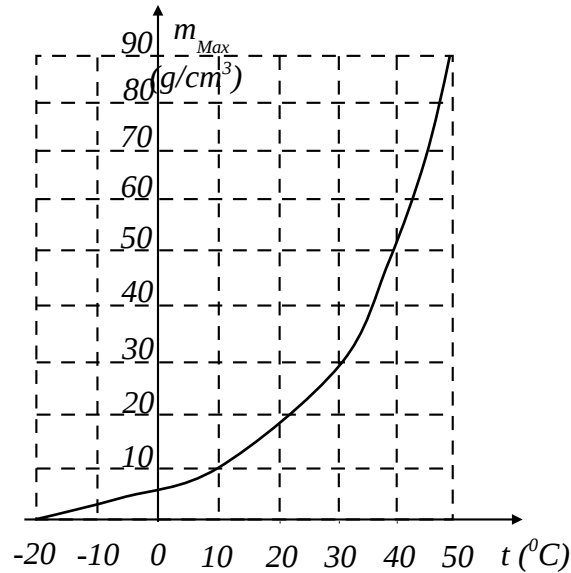
1. Độ ẩm của không khí

Trong không khí luôn chứa hơi ẩm, lượng ẩm trong không khí được xác định bởi tham số gọi là độ ẩm của không khí. Độ ẩm gồm có độ ẩm tuyệt đối và độ ẩm tương đối.

a. Độ ẩm tuyệt đối:

Độ ẩm tuyệt đối là khối lượng hơi nước trong 1 đơn vị thể tích không khí (g/m^3). Ở nhiệt độ xác định, độ ẩm tuyệt đối không thể vượt qua m_{\max} (m_{\max} được gọi là độ ẩm bão hoà). Nếu khối lượng nước nhiều hơn giá trị m_{\max} thì hơi nước sẽ rơi xuống dưới dạng sương.

Quan hệ giữa độ ẩm bão hòa và nhiệt độ cho trên hình 3.6.



Hình 3.6. Quan hệ giữa độ ẩm bão hòa m_{max} theo nhiệt độ

b. Độ ẩm tương đối, $\varphi\%$

Độ ẩm tương đối là tỷ số:
$$\varphi\% = \frac{m}{m_{\text{max}}} \cdot 100\% \tag{3-12}$$

Ở trạng thái bão hòa của hơi nước trong không khí sẽ có $\varphi\% = 100\%$. Thường các ẩm kế chỉ cho số liệu về độ ẩm tương đối $\varphi\%$ nên khi cần xác định độ ẩm tuyệt đối sẽ phải tính theo công thức:

$$m = \frac{\varphi\% \cdot m_{\text{max}}}{100} \tag{3-13}$$

và do m_{max} là hàm của nhiệt độ môi trường không khí (t) nên $m = f(\varphi\%, t)$.

Như vậy, từ các số liệu về độ ẩm tương đối và nhiệt độ của không khí có thể xác định được độ ẩm tuyệt đối m (bằng cách tính toán, tra bảng số, đồ thị...).

Theo quy ước quốc tế, điều kiện khí hậu chuẩn của không khí được qui định:

Áp suất $p = 760 \text{ mmHg}$.

Nhiệt độ $t = 20^{\circ}\text{C}$.

Độ ẩm tuyệt đối $m = 11\text{g}/\text{m}^3$ (độ ẩm tương đối $\varphi\%$ khoảng $60 \div 70\%$).

Khí hậu Việt Nam khác xa với khí hậu chuẩn. Khí hậu Việt Nam thuộc vùng khí hậu nhiệt đới. Ở miền Bắc, nhiệt độ trung bình hàng năm là $22,7^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ cực đại có thể đạt tới $42,8^{\circ}\text{C}$. Độ ẩm thường xuyên cao là một trong các đặc điểm

nổi bật của khí hậu nước ta. Độ ẩm tuyệt đối trung bình hàng năm ở đồng bằng Bắc bộ là $m = 24 \div 26 \text{ g/m}^3$, trong các tháng hè có thể lên tới $30 \div 33 \text{ g/m}^3$ và trong các tháng mùa đông cũng tới mức $13 \div 17 \text{ g/m}^3$.

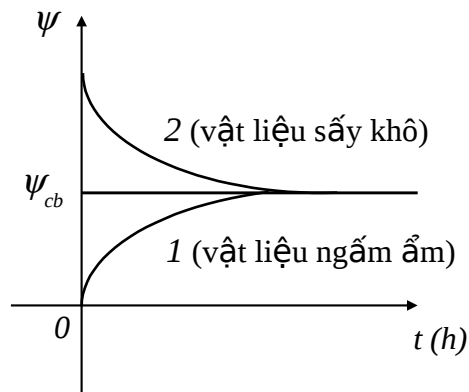
2. Độ ẩm của vật liệu ψ

Độ ẩm của vật liệu ψ là lượng hơi nước trong một đơn vị trọng lượng của vật liệu.

Khi đặt mẫu vật liệu cách điện trong môi trường không khí có độ ẩm $\varphi\%$ và nhiệt độ t ($^{\circ}\text{C}$) thì sau một thời gian nhất định, độ ẩm của vật liệu ψ sẽ đạt tới giới hạn được gọi là độ ẩm cân bằng (ψ_{cb}).

Nếu mẫu vật liệu vốn khô ráo được đặt trong môi trường không khí ẩm (vật liệu có độ ẩm ban đầu $\psi < \psi_{cb}$) thì vật liệu sẽ bị ẩm, nghĩa là nó hút hơi ẩm trong không khí khiến cho độ ẩm sẽ tăng dần tới trị số cân bằng ψ_{cb} như đường 1 trên hình 3.7 (vật liệu bị ngấm ẩm).

Ngược lại, khi mẫu vật liệu đã bị ẩm trầm trọng (có độ ẩm ban đầu $\psi > \psi_{cb}$) thì độ ẩm mẫu sẽ giảm tới trị số ψ_{cb} như đường 2 trên hình 3.7. (vật liệu sấy khô).



Hình 3.7

Đối với vật liệu xốp, loại vật liệu có khả năng hút ẩm rất mạnh, người ta đưa ra độ ẩm quy ước. Đó là trị số ψ_{cb} khi vật liệu được đặt trong không khí ở điều kiện khí hậu chuẩn.

3. Tính thấm ẩm

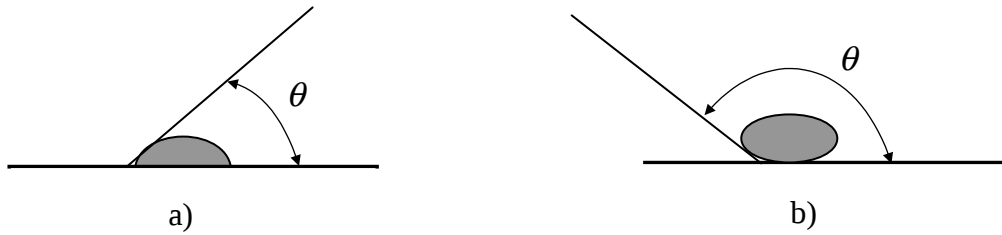
Tính thấm ẩm là khả năng cho hơi ẩm xuyên thấu qua vật liệu cách điện. Khi vật liệu bị thấm ẩm thì tính năng cách điện của nó giảm: $\rho \downarrow (\gamma \uparrow), \epsilon \uparrow, \text{tg}\delta \uparrow \rightarrow E_{dt} \downarrow$.

Nếu vật liệu không thấm nước sẽ hấp thụ trên bề mặt một lượng nước hoặc hơi nước.

Căn cứ vào góc biên dính nước θ của giọt nước trên bề mặt phẳng của vật liệu (hình 3.6), người ta chia vật liệu cách điện hấp thụ tốt và hấp thụ yếu.

$\theta < 90^{\circ}$: vật liệu hấp thụ tốt (hình 3.8a).

$\theta > 90^\circ$: vật liệu hấp thụ yếu (hình 3.8b).



Hình 3.8

Vật liệu hấp thụ tốt sẽ dễ bị phóng điện, dòng dò lớn do $\rho \downarrow (\gamma \uparrow)$. Sự hấp thụ của vật liệu cách điện phụ thuộc vào loại vật liệu, kết cấu vật liệu, áp suất, nhiệt độ, độ ẩm,... của môi trường.

4. Nhận xét

Qua phân tích, ta thấy rằng tính hút ẩm của vật liệu cách điện không những phụ thuộc vào kết cấu và loại vật liệu mà nó còn phụ thuộc vào nhiệt độ, áp suất, độ ẩm... của môi trường làm việc. Nó sẽ làm biến đổi tính chất ban đầu của vật liệu dẫn đến lão hóa và làm giảm phẩm chất cách điện của vật liệu, $tg\delta \uparrow$, có thể dẫn đến phá hỏng cách điện. Đặc biệt là đối với các vật liệu cách điện ở thể rắn. Để hạn chế nguy hại do hơi ẩm đối với vật liệu cách điện cần sử dụng các biện pháp sau đây:

- Sấy khô và sấy trong chân không để hơi ẩm thoát ra bên ngoài.
- Tẩm các loại vật liệu xốp bằng sơn cách điện. Sơn tẩm lấp đầy các lỗ xốp khiến cho hơi ẩm một mặt thoát ra bên ngoài, mặt khác làm tăng phẩm chất cách điện của vật liệu.
- Quét lên bề mặt các vật liệu rắn lớp sơn phủ nhằm ngăn chặn hơi ẩm lọt vào bên trong.
- Tăng bề mặt điện môi, thường xuyên vệ sinh bề mặt vật liệu cách điện, tránh bụi bẩn bám vào làm tăng khả năng thấm ẩm có thể gây phóng điện trên bề mặt.

2.2.2. Tính chất cơ học của vật liệu cách điện

- Trong nhiều trường hợp thực tế, vật liệu cách điện còn phải chịu tải cơ học, do đó khi nghiên cứu vật liệu cách điện cần xét đến tính chất cơ học của nó.

Khác với vật liệu dẫn điện kim loại có độ bền kéo σ_k , nén σ_n và uốn σ_u hầu như gần bằng nhau, còn vật liệu cách điện, các tham số trên chênh lệch nhau khá xa. Căn cứ các độ bền này, người ta tính toán, chế tạo cách điện phù hợp với khả năng chịu lực tốt nhất của nó.

Ví dụ: Thủy tinh có độ bền nén $\sigma_n = 2.10^4 \text{ kG/cm}^2$ trong khi độ bền kéo $\sigma_k = 5.10^2 \text{ kG/cm}^2$. Vì thế thủy tinh thường được dùng vật liệu cách điện đỡ.

Ngoài ra, khi chọn vật liệu cách điện cũng cần phải xét đến khả năng chịu va đập, độ rắn, độ giãn nở theo nhiệt của vật liệu. Đặc biệt chú ý khi gấn các loại vật liệu cách điện với nhau cần phải chọn vật liệu có hệ số giãn nở vì nhiệt gần bằng nhau.

2.2.3 Tính hóa học của vật liệu cách điện

Tính chịu nhiệt của vật liệu cách điện là khả năng chịu tác dụng của nhiệt độ cao và sự thay đổi đột ngột của nhiệt độ. Mỗi loại vật liệu cách điện chỉ chịu được một nhiệt độ nhất định (tức là có độ bền chịu nhiệt độ nhất định). Độ bền chịu nhiệt được xác định theo nhiệt độ làm thay đổi tính năng của vật liệu cách điện.

Đối với vật liệu cách điện vô cơ, độ bền chịu nhiệt được biểu thị bằng nhiệt độ mà nó bắt đầu có sự biến đổi rõ rệt các phẩm chất cách điện như tổn hao tgđ tăng, điện trở cách điện giảm sút...

Đối với vật liệu cách điện hữu cơ, độ bền chịu nhiệt là nhiệt độ gây nên các biến dạng cơ học, những biến dạng này đương nhiên sẽ dẫn đến sự suy giảm các phẩm chất cách điện của nó.

Về mặt hóa học, nhiệt độ tăng sẽ dẫn đến tốc độ của các phản ứng hóa học xảy ra trong vật liệu cách điện tăng (thực nghiệm cho thấy tốc độ phản ứng hóa học tăng dạng hàm mũ theo nhiệt độ). Vì vậy, sự giảm sút phẩm chất cách điện của vật liệu gia tăng rất mạnh khi nhiệt độ tăng quá mức cho phép.

Bởi thế, Ủy ban kỹ thuật điện quốc tế IEC (International Electrical Commission) đã phân loại vật liệu cách điện theo nhiệt độ làm việc lớn nhất cho phép (đã nêu ở bảng 3.2).

2.2.4 HIỆN TƯỢNG ĐÁNH THỦNG ĐIỆN MÔI VÀ ĐỘ BỀN CÁCH ĐIỆN

Mục đích của việc sử dụng vật liệu cách điện trong kỹ thuật điện là để duy trì khả năng cách điện của chúng trong điện trường. Bởi vậy, khi nghiên cứu vật

liệu cách điện không thể không xét đến ảnh hưởng của điện môi trong điện trường.

2.2.4.1. Khái niệm về điện trường

Sở dĩ các điện tích có tác dụng lực tương tác với nhau vì điện tích tạo ra trong không gian quanh nó một điện trường.

Để đặc trưng cho sự mạnh yếu của điện trường, người ta đưa ra khái niệm cường độ điện trường E:

$$E = \frac{F}{q}, \quad (\text{V/m}) \tag{3-1}$$

trong đó:

F: lực điện tác dụng lên điện tích thử tại điểm ta xét (N).

q: điện tích thử dương (C).

Cường độ điện trường tại một điểm là đại lượng vật lý đặc trưng cho điện trường về phương diện tác dụng lực, được đo bằng thương số của lực điện trường tác dụng lên một điện tích thử đặt tại điểm đó và độ lớn của điện tích thử đó.

2. Điện môi

Điện môi là những chất không không dẫn điện vì trong điện môi không có hoặc có rất ít các điện tích tự do.

Hằng số điện môi: từ công thức

$$D = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E \tag{3-2}$$

D: là cảm ứng điện thường gọi là véc tơ dịch chuyển điện tích

E: là điện trường

ϵ : là hằng số điện môi

ϵ_0 : hằng số điện môi trong chân không $\epsilon_0 = 1/4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11}$ (F/m)

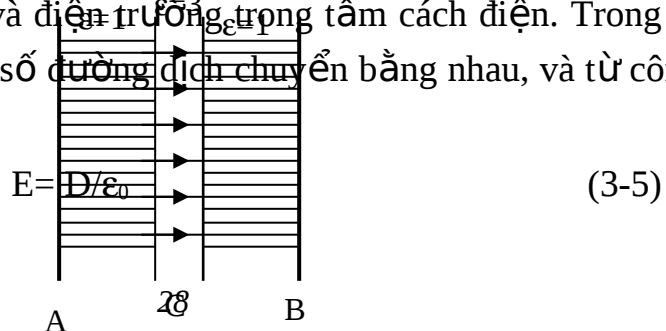
Trong chân không - thực tiễn- trong không khí

$$D = \epsilon_0 \cdot E \tag{3-3}$$

Còn trong môi trường có hằng số điện môi ϵ thì

$$D = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E \tag{3-4}$$

Khi ta đặt giữa hai điện cực một tấm cách điện hình 3.1 thì có sự khác nhau giữa điện trường trong không khí và điện trường trong tấm cách điện. Trong không khí số đường sức điện trường và số đường dịch chuyển bằng nhau, và từ công thức(3-3) điện trường là:



Hình 3.1. Tấm cách điện nằm giữa điện

Trong cách điện C có hằng số điện môi ϵ , điện trường giảm tỷ lệ nghịch với ϵ . Trên hình 3.1 cho thấy với $\epsilon = 3$ số đường sức điện trường bằng $1/\epsilon = 1/3$ số đường sức trong không khí. Điện tích dịch chuyển đến bề mặt của cách điện C, thì một số điện tích bị giữ lại, còn lại số điện tích tự do chuyển động qua được cách điện. Số điện tích tự do này tạo ra điện trường trong cách điện.

Nếu khe hở E_0 là điện trường trong không khí theo công thức(3.3) ta có:

$$D = \epsilon_0.E = E_0$$

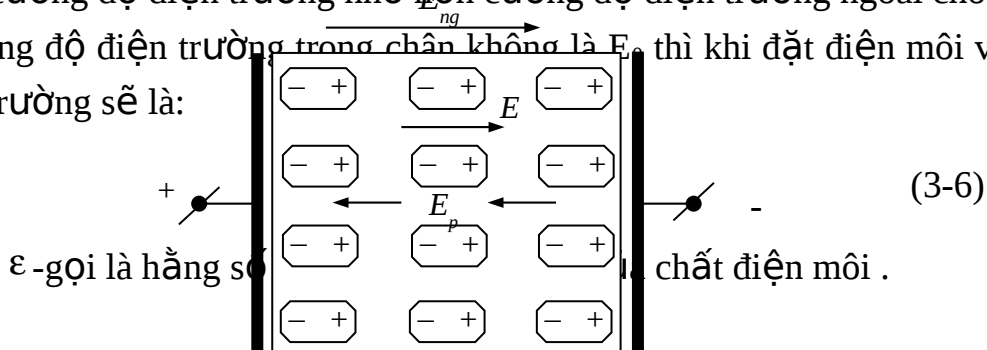
Còn trong cách điện C với hằng số điện môi ϵ , thì điện trường giảm ϵ lần tức là $E = E_0/\epsilon$

3. Đặc điểm điện môi đặt trong điện trường

Khác với kim loại và các chất điện phân, trong điện môi không có các hạt mang điện tự do. Sự phân bố điện tích âm và điện tích dương trong phân tử thường đối xứng, các trọng tâm điện tích dương và điện tích âm trùng nhau. Người ta gọi các phân tử đó là loại phân tử không phân cực.

Khi đặt điện môi thuộc loại không phân cực trong điện trường (hình 3.2), điện trường sẽ chuyển các phân tử thành các lưỡng cực điện. Các lưỡng cực điện đều dương hướng về phía cực âm của điện trường, đầu âm hướng về phía cực dương của điện trường. Kết quả là trong điện môi hình thành điện trường mới gọi là điện trường phân cực E_p , ngược chiều với điện trường ngoài. Cường độ điện trường phân cực E_p nhỏ hơn cường độ điện trường ngoài E_{ng} nên cường độ điện trường tổng hợp E trong chất điện môi có chiều cùng với chiều của điện trường ngoài và có trị số cường độ điện trường nhỏ hơn cường độ điện trường ngoài cho trước.

Nếu cường độ điện trường trong chân không là E_{ng} thì khi đặt điện môi vào, cường độ điện trường sẽ là:

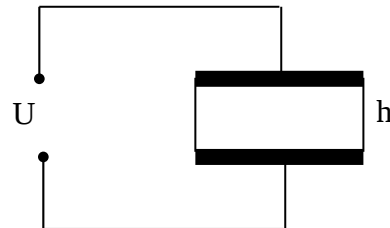


Hình 3.2 Sự phân cực của điện môi

Tuy nhiên khi điện môi đặt trong điện trường thì có những biến đổi cơ bản khi đó điện môi chịu tác dụng của cường độ điện trường E được xác định như sau:

$$E = \frac{U}{h} \quad (3-7)$$

Trong đó: U là điện áp đặt lên hai cực điện môi
 h là chiều dày khối điện môi



Hình 3.3. Điện môi khi đặt trong điện trường

Điện môi trong điện trường phụ thuộc vào:

- Cường độ điện trường (mạnh, yếu, xoay chiều, một chiều)
- Thời gian điện môi nằm trong điện trường (dài, ngắn)
- Yếu tố môi trường: nhiệt độ, độ ẩm, áp suất ...

Về cơ bản dưới tác dụng của điện trường có thể xảy ra bốn hiện tượng cơ bản sau:

- Sự dẫn điện của điện môi
- Sự phân cực điện môi
- Tổn hao điện môi
- Phóng thủng điện môi

4. Độ bền cách điện

Trong điện môi có lẫn tạp chất có khả năng tạo ra một số điện tử tự do. Trong điều kiện bình thường độ dẫn điện của điện môi rất thấp, dòng điện qua điện môi gọi là dòng điện rò, trị số rất bé.

Khi cường độ điện trường đủ lớn, lực tĩnh điện tác dụng lên điện tử, có thể bứt điện tử ra khỏi mối liên kết với hạt nhân trở thành điện tử tự do. Độ dẫn điện của điện môi tăng lên. Dòng điện qua điện môi tăng lên đột ngột, điện môi trở thành vật dẫn. Đó là hiện tượng đánh thủng cách điện.

Cường độ điện trường đủ để gây ra hiện tượng đánh thủng điện môi gọi là cường độ đánh thủng E_{dt} . Điện môi có E_{dt} càng lớn thì độ bền cách điện càng tốt. Vì thế cường độ đánh thủng được gọi là độ bền cách điện.

Cường độ đánh thủng của điện môi phụ thuộc vào trạng thái của vật liệu cách điện như: độ ẩm, nhiệt độ, tác dụng của các tia bức xạ,...

Để đảm bảo cho điện môi làm việc tốt, cường độ điện trường đặt vào điện môi không vượt quá trị số giới hạn gọi là cường độ cho phép E_{cp} . Thông thường chọn trị số E_{cp} nhỏ hơn E_{dt} từ hai đến ba lần:

$$E_{dt} = k_{at} E_{cp} \tag{3-9}$$

(k_{at} - hệ số an toàn, thường lấy $k_{at} = 2-3$).

Căn cứ vào độ dày (d) của điện môi có thể xác định trị số điện áp đánh thủng U_{dt} và điện áp cho phép U_{cp} của thiết bị:

$$U_{dt} = E_{dt} \cdot d \tag{3-10}$$

$$U_{cp} = E_{cp} \cdot d \tag{3-11}$$

Bảng 3.1 nêu lên thông số đặc trưng của một số vật liệu cách điện thường gặp.

Ví dụ: Xác định điện áp cho phép và điện áp đánh thủng của một tấm cáctông cách điện có bề dày $d = 0,15$ cm áp sát vào hai điện cực, cho biết hệ số an toàn bằng 3.

Giải

Tra bảng (3-1), được cường độ đánh thủng của cáctông cách điện lấy trung bình $E_{dt} = 100$ kV/cm. Ta có điện áp đánh thủng theo (3-10):

$$U_{dt} = E_{dt} \cdot d = 100 \cdot 0,15 = 15 \text{ kV}$$

Điện áp cho phép: $U_{cp} = U_{dt} / k_{at} = 15/3 = 5 \text{ kV}$

Bảng 3.1

Vật liệu	E_{dt}, kV/cm	ϵ	ρ, Ωcm
Giấy tẩm dầu	100 ÷ 250	3,6	
Không khí	30	1	
Vải sơn	100 ÷ 400	3 ÷ 4	$10^{11} \div 10^{13}$
Đá hoa	30 ÷ 50	7 ÷ 8	$10^8 \div 10^{11}$
Paraphin	200 ÷ 250	2 ÷ 2,2	$10^{16} \div 10^{17}$
Polietylen	500	2,25	$10^{14} \div 10^{16}$

Cao su	150 ÷ 200	3 ÷ 6	$10^{13} \div 10^{14}$
Thủy tinh	100 ÷ 150	6 ÷ 10	10^{14}
Thủy tinh hữu cơ	400 ÷ 500	3	$10^{14} \div 10^{16}$
Vải thủy tinh	300 ÷ 400	3 ÷ 4	5.10^{13}
Mica	500 ÷ 1000	5,4	$5.10^{-3} \div 10^{14}$
Dầu Xovon	150	5,3	$5.10^{14} \div 5.10^{15}$
Dầu biến áp	50 ÷ 180	2 ÷ 2,5	$10^{14} \div 10^{15}$
Sứ	150 ÷ 200	5,5	$10^{15} \div 10^{16}$
Ebonit	600 ÷ 800	3 ÷ 3,5	$10^8 \div 10^{10}$
Các tông cách điện	80 ÷ 120	3 ÷ 3,5	$10^{11} \div 10^{13}$

2.2.5 ĐỘ BỀN NHIỆT

Phân loại theo tính chịu nhiệt là sự phân loại cơ bản, phổ biến vật liệu cách điện dùng trong kỹ thuật điện. Khi lựa chọn vật liệu cách điện, đầu tiên cần biết vật liệu có tính chịu nhiệt theo cấp nào. Người ta đã phân vật liệu theo tính chịu nhiệt như bảng 3.2.

Bảng 3.2

Cấp cách điện	Nhiệt độ cho phép (°C)	Các vật liệu cách điện chủ yếu
Y	90	Giấy, vải sợi, lụa, phíp, cao su, gỗ và các vật liệu tương tự không tẩm nhựa, các loại nhựa polyetylen, PVC, polistinol, anilin, abomit
A	105	Giấy, vải sợi, lụa trong dầu, nhựa polyeste, cao su nhân tạo, các loại sơn cách điện có dầu làm khô
E	120	Nhựa tráng Polyvinylphocman, poliamit, epoxi. Giấy ép hoặc vải ép có nhựa phendfocmandehit (gọi chung là Bakelit giấy). Nhựa Melaminfocmandehit có chất độn xenlulo. Vải có tẩm thấm Polyamit. Nhựa Polyamit. Nhựa Phenol-Phurphurol có độn xenlulo.
B	130	Nhựa Polyeste, amiang, mica, thủy tinh có chất độn. Sơn cách điện có dầu làm khô dùng ở các bộ phận tiếp xúc với không khí. Sơn cách điện alkit, sơn cách điện từ nhựa phenol. Nhựa PhenolPhurol có chất độn khoáng, nhựa epoxi, sợi thủy tinh, nhựa Melaminfocmandehit.
F	155	Sợi amiang, sợi thủy tinh có chất kết dính
H	180	Xilicon, sợi thủy tinh, mica có chất kết dính
C	>180	Mica không có chất kết dính, thủy tinh, sứ,

		Polytetraflotylen, Polymonoclortrifloetylen.
--	--	--

2.3. MỘT SỐ VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN THÔNG DỤNG

2.3.1. Vật liệu sợi :

Sợi thủy tinh: là thủy tinh được kéo thành sợi mềm dùng để chế tạo vật liệu dệt và các mục đích khác nhau. Thủy tinh ở dạng tấm là loại vật liệu dòn dễ vỡ nhưng nếu làm thành sợi càng mảnh thì có độ uốn càng cao nên được dùng để dệt. Từ các sợi thủy tinh có thể dệt thành vải và băng thủy tinh. Vải và băng thủy tinh làm cách điện thường dày $0,025 \div 0,28$ mm.

Sợi thủy tinh được dùng làm cách điện cho các cuộn dây.

Ưu điểm của sợi thủy tinh có tính chịu nhiệt cao, có sức bền tốt, ít hút ẩm so với các sợi hữu cơ khác. Vì vậy cách điện thủy tinh được dùng để làm việc trong môi trường có nhiệt độ và độ ẩm cao.

Khuyết điểm của sợi thủy tinh là ít đàn hồi, độ uốn kém, ít chịu được mài mòn hơn so với sợi hữu cơ. Vì thế cách điện thủy tinh rất dễ bị hỏng khi bị va đập vào mép nhọn.

2.3.2. Vật liệu cách điện gỗ, giấy

Vật liệu cách điện gỗ, giấy là vật liệu có nguồn gốc từ xenlulo (sợi thực vật) có công thức phân tử $(C_6H_{10}O_5)_n$.

1. Gỗ

Gỗ là loại vật liệu dễ gia công và sau khi gia công xong, người ta thường tẩm bằng parafin (Hydro cacbon no C_nH_{2n+2} với $n = 10 \div 36$), dầu gai, nhựa và dầu máy biến áp để nâng cao cường độ cách điện (tăng $1,5 \div 2$ lần so với khi chưa tẩm).

Trong kỹ thuật điện, gỗ được dùng để làm cầu truyền động của dao cách ly và máy cắt điện, các chi tiết đỡ và gắn trong máy biến áp, làm nêm trong rãnh các máy điện, cột và xà của đường dây tải điện, đường dây thông tin.

2. Giấy và vật liệu có tính chất gần với nó

a. *Giấy:* thành phần chủ yếu của giấy là xenlulo vì nó được chế tạo từ gỗ. Tùy theo công dụng của nó trong kỹ thuật điện, người ta chia ra làm hai loại: giấy tụ điện và giấy cáp.

- *Giấy tụ điện:* Là loại giấy dùng làm điện môi trong tụ điện giấy. Giấy cách điện dùng trong tụ điện khác với các loại giấy cách điện khác là rất mỏng ($0,007 \div 0,022$ mm), thường làm việc ở cường độ rất cao và nhiệt độ khoảng $70 \div 100^\circ\text{C}$ nên đòi hỏi phẩm chất của giấy rất cao.

- ▣ *Giấy cáp*: Thường có độ dày khoảng $0,08 \div 0,17\text{mm}$, dùng làm cách điện của cáp điện lực, cáp thông tin. Đối với giấy cáp cần chú ý đến sức bền cơ giới và số lần xoắn mà nó có thể chịu được.

Nhìn chung, để làm việc được đảm bảo, các loại giấy này đều phải tẩm dầu hoặc hỗn hợp dầu-nhựa thông.

b. Vật liệu gần giống giấy:

- ▣ *Các tông*: dùng trong kỹ thuật điện và cũng được chế tạo từ sợi thực vật như giấy nhưng có độ dày lớn hơn.

Có hai loại giấy các tông:

- Loại dùng trong không khí có độ rắn và đặc tính cao, được sử dụng lót rãnh các máy điện, vỏ cuộn dây, tấm đệm.
- Loại dùng trong dầu: mềm hơn các tông dùng trong không khí và có thể thấm dầu. Tùy theo độ dày yêu cầu của loại các tông này mà được chế tạo thành cuộn ($0,1 \div 0,8\text{mm}$) hoặc thành tấm ($1 \div 3\text{mm}$).
- ▣ *Vải sơn*: là vải (bông hoặc lụa) được tẩm bằng sơn dầu. Vải có tác dụng về mặt cơ, còn lớp sơn có tác dụng về mặt cách điện. Vải sơn được dùng để cách điện trong các máy điện, các thiết bị khác và cáp...

2.3.3. Micanit

Micanit là do mica dán lên các vật liệu sợi (giấy hoặc vải) bằng keo hoặc nhựa. Micanit có ưu điểm hơn so với mica thuần túy ở chỗ: nhẹ hơn, chịu nén tốt hơn, ít cứng hơn cho nên dễ gia công hơn, không có bọt khí...do đó, độ bền cách điện lớn hơn.

Tùy theo thành phần và công dụng, người ta có các loại micanit khác nhau:

- ▣ *Micanit dùng cho vành góp máy điện*: ở dạng tấm cứng, được đặt xen vào giữa các phiến đồng của vành góp trong máy điện để cách điện giữa các phiến ấy.
- ▣ *Micanit dùng để tạo hình*: ở nhiệt độ bình thường, loại micanit này cứng nhưng khi đốt nóng lại có thể dập được theo một hình dáng nào đó mà nó vẫn giữ nguyên sau khi nguội hẳn. Loại micanit này được dùng để chế tạo vòng đệm của vành góp (lớp cách điện giữa các vành góp và trục của máy điện, khung cuộn dây,...).
- ▣ *Micanit dùng để đệm lót*: Loại này dùng để làm những tấm lót cách điện theo những những hình dạng khác nhau và dùng làm vòng đệm.
- ▣ *Micanit mềm*: Loại này uốn được ở nhiệt độ bình thường, dùng làm lớp cách điện trong các rãnh máy điện và các thiết bị điện khác để cách điện

giữa các cuộn dây dẫn điện với vỏ máy và giữa các phần dẫn điện với nhau.

2.3.4. Sơn cách điện

Sơn là dung dịch keo của nhựa bitum (bitum là nhóm vật liệu thuộc loại vô định hình gồm hỗn hợp phức tạp của cacbua hydro và một ít oxy, lưu huỳnh), dầu khô và các chất tự tạo nên gốc sơn trong dung môi bay hơi. Khi sấy thì dung môi sẽ bay hơi còn gốc sơn sẽ chuyển sang trạng thái rắn tạo nên màng sơn.

Theo công dụng, trong kỹ thuật điện, có thể chia sơn cách điện ra thành các loại: sơn tẩm, sơn bảo vệ, sơn dán.

- *Sơn tẩm*: Dùng để sơn, tẩm các chất cách điện rắn, xốp như giấy các tông, sơn vải, cách điện của các cuộn dây máy biến áp. Sau khi sơn tẩm thì điện áp đánh thủng U_{dt} tăng cao, tính hút ẩm giảm, tính chịu nhiệt cao.
- *Sơn bảo vệ*: Dùng để tạo lên một màng sơn chắc, bóng, giảm bám bụi, chịu ẩm trên mặt được quét sơn. Sơn này hay dùng để quét lên bề mặt vật liệu cách điện rắn đã được tẩm nhằm nâng cao thêm các tính chất cách điện của vật liệu được sơn.
- *Sơn dán*: Dùng để dán các vật liệu cách điện rắn hay để dán vật liệu kim loại rắn với kim loại.

2.3.5. Dầu máy biến áp

Dầu máy biến áp là hỗn hợp của cacbua hydro ở thể lỏng, có màu sắc khác nhau.

Loại dầu này được dùng trong các máy biến áp với mục đích:

- Lắp kín các lỗ xốp của vật liệu cách điện sợi, lắp kín các khoảng trống giữa các cuộn dây, giữa các cuộn dây và vỏ để làm tăng khả năng cách điện của vật liệu.
- Cải thiện điều kiện tản nhiệt do tổn hao công suất trong cuộn dây và lõi máy biến áp (dầu tản nhiệt tốt hơn không khí trung bình khoảng 28 lần).
- Ngoài ra, dầu máy biến áp còn được dùng trong các máy cắt điện có dầu, tụ điện, cáp điện lực,...

- Dầu biến thế có ưu điểm sau:

- +/ Độ bền cách điện cao: khoảng 160kV/cm với dầu mới
- +/ Hằng số điện môi $\epsilon = 2,2 \div 2,3$ gần bằng một nửa điện môi chất rắn
- +/ Sau khi đánh thủng, khả năng cách điện khả năng cách điện của dầu phụ hồi trở lại.

+/ Có thể xâm nhập vào các khe rãnh hẹp, vừa có tác dụng cách điện vừa có tác dụng làm mát.

+/ Có thể sử dụng làm môi trường dập tắt hồ quang trong MCD (máy cắt dầu hiện nay ít dùng)

- Dầu biến thế có nhược điểm sau:

+/ Khả năng cách điện của dầu biến đổi lớn khi dầu bị bẩn, sợi bông, giấy nước, muội than...

Với dầu MBA sạch, độ bền cách điện: 20-25 kV/mm, nhưng nếu hàm lượng nước trong dầu lớn hơn 0,05% thì độ bền cách điện chỉ còn 4-5kV/mm.

+/ Khi có nhiệt độ cao, dầu có sự thay đổi về hóa học, sự thay đổi đó là có hạn, đó là sự hóa già của dầu.

+/ Dễ nổ, dễ cháy.

- Dầu biến thế có các tính chất sau:

+/ Điện trở suất lớn $10^{14} - 10^{16} \Omega\text{cm}$

+/ Hằng số điện môi $\epsilon = 2,2 \div 2,3$ gần bằng một nửa điện môi chất rắn

+/ Nhiệt độ làm việc ở chế độ dài hạn 90- 95⁰C không bị hóa già nhiều

+/ Độ bền cách điện rất cao

2.3.6 Vật liệu cách điện gốm sứ

Vật liệu gốm sứ cách điện là vật liệu vô cơ, dùng để chế tạo các chi tiết cách điện có hình dáng khác nhau.

Trước kia, vật liệu gốm được tạo thành chủ yếu từ đất sét và được nung ở nhiệt độ cao để được các chi tiết có một số tính chất cần thiết. Hiện nay còn có nhiều vật liệu gốm khác có hàm lượng đất sét ít, thậm chí không chứa đất sét nữa.

Trong kỹ thuật điện, thường dùng loại gốm cách điện, trong đó loại vật liệu sứ có nhiều ý nghĩa quan trọng trong kỹ thuật cách điện. Cho đến nay, sứ vẫn là loại vật liệu cách điện chủ yếu, đặc biệt là cách điện ở điện cao áp.

Vật liệu sứ có thành phần từ: cao lanh ($\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$), fenspat ($\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2.\text{K}_2\text{O}$ hoặc $\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2.\text{Na}_2\text{O}$) và thạch anh (SiO_2). Chất cao lanh chịu nhiệt, fenspat đảm bảo độ bền cách điện và thạch anh đảm bảo tính cơ.

Để chế tạo sứ, đem hỗn hợp này nghiền thật nhỏ, khử hết các tạp chất và hòa vào nước tạo nên một chất dẻo. Khối chất dẻo ấy sau khi đã khử hết nước được đưa vào khuôn theo các hình dáng, chi tiết mong muốn. Sau đó chúng được tráng men và nung nóng từ từ đến nhiệt độ khoảng 1300 ÷ 1350⁰C (nếu dùng cho cao áp cần nhiệt độ nung đến 1300 ÷ 1410⁰C) trong thời gian từ 20 ÷ 70 giờ.

Vì sứ có tính xốp và khi nung nóng, bề mặt của nó không bóng, do đó cần phải tráng men để các lỗ xốp và các chỗ lõm trên bề mặt sứ được lấp kín sẽ ngăn cản được tính hút ẩm của sứ, làm cho sứ cách điện có thể làm việc ở ngoài trời. Ngoài ra men còn làm cho mặt ngoài của sứ đẹp hơn, ít bám bụi, ít bị rò điện và nâng cao được điện áp phóng điện mặt ngoài.

2.3.7. Nhựa

Nhựa là nhóm vật liệu có nguồn gốc và tính chất khác nhau rất nhiều. Chúng là một hỗn hợp hữu cơ phức tạp, chủ yếu ở dạng cao phân tử.

Nhựa được dùng trong kỹ thuật điện là loại nhựa không hòa tan trong nước, ít hút ẩm. Theo nguồn gốc của nhựa, người ta chia ra làm hai loại:

A. Nhựa thiên nhiên: nhựa thiên nhiên là sản phẩm của một số loài động vật và thực vật.

a. Nhựa cánh kiến: là loại nhựa do một loại côn trùng sống ở vùng nhiệt đới sinh ra. Về hình thức, nó là các vẩy mỏng dòn màu nâu hoặc hơi đỏ.

Thành phần cơ bản của cánh kiến là các axit hữu cơ có thành phần hóa học phức tạp. Nó dễ bị hòa tan trong rượu hoặc cồn nhưng không hòa tan trong cacbua hydro. Nhựa cánh kiến có:

$$\rho = 10^5 \div 10^6 (\Omega\text{m}) \quad \varepsilon = 3,5 \quad \text{tg}\delta = 0,01 \quad E_{\text{dt}} = 20 \div 30 \text{ kV/mm.}$$

Ở nhiệt độ $50 \div 60^\circ\text{C}$ thì dễ uốn, khi nhiệt độ cao hơn nó sẽ bị mềm và chảy, nhưng nếu tiếp tục nung nóng thì nó đông lại.

Nhựa cánh kiến được sử dụng trong kỹ thuật điện để chế tạo sơn dán, vecni và đặc biệt là để chế tạo micanit.

b. Nhựa thông: là loại nhựa có được khi chưng cất dầu thông, có màu vàng hoặc nâu đen. Nhựa thông có:

$$\rho = 10^{14} \div 10^{15} (\Omega\text{m}) \quad E_{\text{dt}} = 10 \div 15 \text{ kV/mm.}$$

Nhựa thông bị hòa tan trong dầu mỡ, đặc biệt khi nung nóng. Vì vậy, trong kỹ thuật điện nó được dùng để tạo nên các dung dịch dùng với dầu mỡ để ngâm, tẩm các vật liệu khác.

B. Nhựa nhân tạo

Nhựa nhân tạo là sản phẩm của sự trùng hợp, chúng là một hỗn hợp hữu cơ phức tạp dạng cao phân tử.

Sau đây sẽ giới thiệu một số loại nhựa nhân tạo hay được dùng trong kỹ thuật điện.

a. *Nhựa phenol-focmandehyt (bakelit)*: đây là sản phẩm của sự ngưng tụ phenol (C_6H_5OH) và focmandehyt (H_2CO) với chất xúc tác thường là amoniac.

Nhựa bakelit được sử dụng rất rộng rãi và vào loại quan trọng nhất trong kỹ thuật điện từ khi chế tạo được (1907). Bột bakelit ép thành cuộn dây, hộp, vỏ cách điện. Những ống cách điện có hình dạng, kích thước khác nhau được ép từ giấy bakellit có công dụng rất đa dạng.

Nhựa bakelit dùng để tinh chế các chất dẻo, vải tẩm nhựa, giấy tẩm nhựa, sơn, keo. Đặc biệt nó có thể chịu được tác dụng của hồ quang điện nên hay được dùng trong các thiết bị đóng cắt điện, các thiết bị chống sét,...

b. *Nhựa polyeste*: là loại nhựa được chế tạo từ sự trùng hợp, ngưng tụ của các loại rượu, cồn nhiều hóa trị (Etylenglycol, glyxerin,...) và axit hữu cơ khác nhau (hoặc các anhydric của chúng).

Trong số này có nhựa gliptan và nhựa lapxan hay được dùng trong kỹ thuật điện:

- ▣ Nhựa Gliptan được chế tạo từ ptalicenhydrít ($C_8H_4O_3$) và glyxerin ($C_3H_8O_3$). Nhựa này có độ bám tốt, chịu được ẩm, dầu và chịu được tác dụng của hồ quang điện. Người ta dùng nhựa gliptan để chế tạo sơn, keo để dán micanit, để tẩm cách điện của động cơ và các thiết bị điện khác.
- ▣ Nhựa Lapxan (polyetylenterafatalat): có công thức ($-CH_2-CH_2-O-CO-C_6H_4-CO-$) và được chế tạo từ glucol [$CH_2(OH)-CH_2(OH)$] và axit terafatalat ($COOH-C_6H_4-COOH$). Loại nhựa này được dùng để làm cách điện giữa các lớp dây trong cuộn dây của máy biến áp, của cuộn cảm kháng điện, để chế tạo các tụ điện có nhiệt độ làm việc cao (đến $150^\circ C$).

2.3.8. Cao su

Cao su và một số vật liệu tương tự gần với cao su có tầm quan trọng trong lĩnh vực kỹ thuật và đời sống.

Đặc tính nổi bật của cao su là tính đàn hồi và ít thấm ẩm, được dùng làm vật liệu cách điện ở những nơi đòi hỏi chống ẩm, kín nước và dễ uốn như: dây dẫn điện, cáp điện ngầm (đặt dưới lòng đất), các phần cách điện của các máy điện cầm tay, dụng cụ điện hay phải di chuyển...

Cao su có hai loại: cao su tự nhiên và cao su nhân tạo.

1. Cao su tự nhiên: là nhựa lấy từ cây cao su, do ngưng tụ mủ cao su và các tạp chất.

Thành phần hóa học của nó là cacbua hydro có công thức phân tử C_5H_8 và trong công thức cấu tạo có liên kết đôi. Cao su tự nhiên có:

$$\rho = 10^6(\Omega\text{m}) \quad \varepsilon = 2,4 \quad \text{tg}\delta = 0,002$$

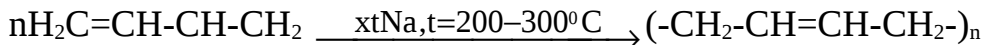
ở nhiệt độ 50°C thì nó trở nên mềm và dính. Do không chịu được tác dụng ở nhiệt độ cao nên trong thực tế không được dùng để làm cách điện. Khi muốn sử dụng, người ta phải khắc phục nhược điểm này bằng cách "lưu hóa" (cho thêm lưu huỳnh). Khi đó, kết cấu của nó mất tính chuỗi, chuyển sang tính chất không gian và thuộc loại nhiệt cứng.

Tuỳ theo hàm lượng lưu huỳnh mà có các loại cao su khác nhau:

- Rêlin: là loại cao su tự nhiên có hàm lượng (1÷ 3)%S, mềm và có tính co dãn, đàn hồi. Loại này thường được dùng làm cách điện trong các mạch tần số thấp (kỹ thuật điện tử), dùng cách điện trong dây dẫn và dây cáp. Ngoài ra còn được dùng để chế tạo các dụng cụ phòng hộ như: găng tay, ủng, thảm cách điện...
- Ebonit: với hàm lượng (30÷ 35)%S, là loại vật liệu rắn có khả năng chịu được tải trọng, chịu được dầu, lão hóa chậm.

2. Cao su nhân tạo (còn gọi là cao su tổng hợp)

a. Cao su butadien: là cao su nhân tạo đầu tiên do kết quả của sự trùng hợp cacbua hydro butadien có công thức hóa học: $(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$



Cao su này dùng để thay thế cao su tự nhiên trong việc chế tạo Rêlin và êbonit. Nó có cường độ cơ giới, tính chịu nhiệt cao và chịu được tác dụng của axit và dung môi hữu cơ. Cao su butadien trong kỹ thuật còn gọi là Excapon và có các thông số như sau:

$$\rho = 10^{17}(\Omega\text{m}); \quad \varepsilon = 2,7\div 3; \quad \text{tg}\delta = 0,0005$$

Cao su này được dùng làm vật liệu cách điện cho mạch cao tần.

Trong thực tế còn dùng cao su buna N (Butdien acrilonitril) được tạo ra từ axetylen có tính chịu nhiệt và chịu dầu rất tốt, thường dùng để đệm kín dầu trong các máy biến áp dầu và các thiết bị khác.

b. Cao su Polycloropen: còn có tên khác là Neopren hoặc Dupren, cũng được chế tạo từ axetylen. Cao su này ít bị oxy hoá, đàn hồi tốt, khó cháy, chịu được ẩm, chịu tác dụng cơ học nhưng sẽ mất tính đàn hồi khi ở nhiệt độ cao, ít chịu được dầu, ozon. Nó được sử dụng để bọc bảo vệ cáp điện rất tốt.

c. Cao su butadien styrol: là kết quả của sự đồng trùng hợp butadien và styrol. Về tính chất cách điện thì gần như cao su tự nhiên nhưng có tính chịu nhiệt, chịu dầu cao hơn.

2.3.9. Mica và sản phẩm gốc mica

Mica là loại vật liệu khoáng sản cách điện rất quan trọng, bởi nó có nhiều tính chất tốt như: cường độ cách điện, tính chịu nhiệt, chịu ẩm rất tốt so với các vật liệu khác. Ngoài ra, mica có cường độ cơ giới, độ uốn cao nên nó được sử dụng để làm cách điện trong các thiết bị quan trọng, đặc biệt để làm cách điện của các máy điện có điện thế cao, công suất lớn và làm điện môi của tụ điện.

Trong thiên nhiên, mica ở dạng tinh thể, có thể bóc thành từng miếng mỏng. Theo thành phần hóa học, mica được chia thành hai loại:

- ▣ Mica mutscôvit có thành phần biểu thị bằng công thức: $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$, ở dạng mỏng trong suốt không màu (màu trắng) hoặc có màu hồng hoặc xanh, bề mặt nhẵn và bóng, độ bền cơ giới cao, tổn hao điện môi tgδ nhỏ.
- ▣ Mica flogopit: với thành phần $K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$, có màu vàng sáng, nâu hoặc xanh lá cây, đôi khi cả màu đen, bề mặt sù sì, có đường vân chằng chịt.

So sánh theo tính chất về điện thì loại mica mutscôvit có tính năng điện môi tốt hơn loại mica flogopit. Ngoài ra nó còn rắn hơn, chắc hơn, đàn hồi và dễ uốn hơn so với loại mica flogopit.

Tuy nhiên, ở nhiệt độ $600 \div 700^\circ C$, mutscôvit đã bị mất nước tinh thể, mất tính trong suốt và trở nên dòn (hóa vôi). Còn flogôppit thì đến $900 \div 1000^\circ C$ vẫn còn giữ nguyên được các tính năng, trừ khả năng cách điện thì đến $700 \div 800^\circ C$ đã mất hẳn.

Khi mica bị nóng lên đến nhiệt độ nào đó thì nước trong mica bắt đầu bốc hơi. Khi đó, mica không còn trong suốt, độ dày của nó tăng lên (do bị phồng) và các tính chất cơ điện sẽ giảm. Mica chảy ở nhiệt độ khoảng $1250 \div 1300^\circ C$. Không được sử dụng mica trong dầu vì nó sẽ bị phân huỷ và nhão ra.

Mica được sử dụng chủ yếu để làm cách điện cổ góp và cách điện các cuộn dây trong máy điện. Ngoài ra nó còn được dùng trong kỹ thuật vô tuyến để làm các tụ điện và các chi tiết cách điện trong thiết bị vô tuyến...

Gần đây, để nâng cao phẩm chất cách điện của mica, người ta đã chế tạo được mica nhân tạo có kết cấu giống mica tự nhiên nhưng chịu nhiệt tốt hơn, có nguồn gốc từ mica, đó là: micanit và micalec.

CÂU HỎI CHƯƠNG 2

1. Trình bày đặc điểm của điện môi khi đặt trong điện trường.
2. Thế nào là điện dẫn điện môi và các loại dòng điện đi trong điện môi.
3. Hãy nêu đặc điểm các dạng và loại phân cực xảy ra trong điện môi.
4. Nêu các dạng tổn hao xảy ra trong điện môi.
5. Trình bày công thức tính tổn hao điện môi ở điện áp một chiều và xoay chiều.
6. Trình bày cách phân loại vật liệu cách điện.
7. Trình bày tính chất cơ lý hóa của vật liệu cách điện.
8. Nêu tính chất và công dụng của một số loại khí đang được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện.
9. Trình bày đặc tính và công dụng của dầu máy biến áp.

CHƯƠNG 3 : VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

Mục tiêu:

Nhận dạng, phân loại chính xác các loại vật liệu dẫn điện dùng trong công nghiệp và dân dụng.

Trình bày được các đặc tính cơ bản của một số loại vật liệu dẫn điện thường dùng.

Sử dụng phù hợp các loại vật liệu dẫn điện theo từng yêu cầu kỹ thuật cụ thể.

Xác định được các nguyên nhân gây ra hư hỏng và có phương án thay thế khả thi các loại vật liệu dẫn điện thường dùng.

3.1. KHÁI NIỆM VÀ TÍNH CHẤT CỦA VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

3.1.1. Khái niệm về vật liệu dẫn điện

Vật liệu dẫn điện là vật chất mà ở trạng thái bình thường có các điện tích tự do. Nếu đặt chúng vào trong một điện trường, các điện tích sẽ chuyển động theo một hướng nhất định của trường và tạo thành dòng điện. Người ta gọi vật liệu có tính dẫn điện.

1. Vật liệu có tính dẫn điện tử: là vật chất mà sự hoạt động của các điện tích không làm biến đổi thực thể đã tạo thành vật liệu đó. Vật dẫn có tính dẫn điện tử bao gồm những kim loại ở trạng thái rắn hoặc lỏng, hợp kim và một số chất không phải kim loại như than đá. Kim loại và hợp kim có tính dẫn điện tốt được chế tạo thành dây dẫn điện, như dây cáp, dây quấn dẫn điện trong các máy điện và khí cụ điện....

Kim loại và hợp kim có điện trở suất lớn (dẫn điện kém) được sử dụng trong các khí cụ điện dùng để sưởi ấm, đốt nóng, chiếu sáng, làm biến trở....

2. Vật liệu có tính dẫn Ion: là những vật chất mà dòng điện đi qua sẽ tạo nên sự biến đổi hóa học. Vật dẫn có tính dẫn Ion thông thường là các dung dịch: dung dịch axit, dung dịch kiềm và các dung dịch muối.

Vật liệu dẫn điện có thể ở thể rắn, lỏng và trong một số điều kiện phù hợp có thể là thể khí hoặc hơi.

Vật liệu dẫn điện ở thể rắn gồm các kim loại và hợp kim của chúng (trong một số trường hợp có thể không phải là kim loại hoặc hợp kim).

Vật liệu dẫn điện ở thể lỏng bao gồm các kim loại lỏng và các dung dịch điện phân. Vì kim loại thường nóng chảy ở nhiệt độ rất cao trừ thủy ngân (Hg) có nhiệt độ nóng chảy ở -39°C do đó trong điều kiện nhiệt độ bình thường chỉ có thể dùng vật liệu dẫn điện kim loại lỏng là thủy ngân.

Các chất ở thể khí hoặc hơi có thể trở nên dẫn điện nếu chịu tác động của điện trường lớn.

Vật liệu dẫn điện được phân thành 2 loại: vật liệu có tính dẫn điện tử và vật liệu có tính dẫn Ion.

3.2.2. TINH CHẤT CỦA VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

a. Điện trở R

Là quan hệ giữa hiệu điện thế không đổi đặt lên vật dẫn và dòng điện chạy qua vật dẫn đó.

Điện trở của dây dẫn được xác định theo biểu thức:

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l} \tag{2.1}$$

Trong đó: R- Điện trở (Ω)

ρ - Điện trở suất ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

S- tiết diện dây dẫn (mm^2)

l- Chiều dài dây dẫn(m)

b. Điện dẫn G

Điện dẫn G của một dây dẫn là đại lượng nghịch đảo của điện trở R

$$G = \frac{1}{R} \tag{2.2}$$

Điện dẫn G được tính với đơn vị là $(1/\Omega) = (\text{S})$ - Simen

c. Điện trở suất ρ

Là điện trở của dây dẫn có chiều dài là một đơn vị chiều dài và tiết diện là một đơn vị diện tích.

Dòng điện đi trong vật dẫn được cho bởi công thức:

$$i = n_o \cdot S \cdot v_{tb} \cdot e \tag{2.3}$$

trong đó:

n_o : nhiệt độ phân tử mang điện.

S : tiết diện vật dẫn

v_{tb} : tốc độ chuyển động trung bình của điện tử dưới tác dụng của điện trường E.

e : điện tích của phần tử mang điện.

Thay $v_{tb} = uE$ (u - độ di chuyển của phần tử mang điện) vào (2.3), ta được dạng tổng quát của định luật ôm:

$$i = n_0 \cdot e \cdot u \cdot E = \gamma E \quad (2.4)$$

với $\gamma = n_0 \cdot e \cdot u$ được gọi là điện dẫn suất.

d. Điện dẫn suất γ

Đại lượng nghịch đảo của điện dẫn suất γ gọi là điện trở suất ρ

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \quad (2.5)$$

Với một vật dẫn có tiết diện S và độ dài l không đổi thì ρ được xác định bởi biểu thức:

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l} \quad (2.6)$$

R là điện trở dây dẫn.

Đơn vị của điện trở suất là $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ hoặc $\mu\Omega\text{cm}$ hoặc Ωm hoặc Ωcm ,

$$1\Omega\text{cm} = 10^6 \mu\Omega\text{cm} = 10^4 \Omega\text{mm}^2/\text{m} = 10^{-2} \Omega\text{m}.$$

Từ (2.4), ta có:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{\gamma S} \quad (\Omega) \quad (2.7)$$

3.2.3. CÁC TÁC NHÂN MÔI TRƯỜNG ẢNH HƯỞNG ĐẾN TÍNH DẪN ĐIỆN CỦA VẬT LIỆU

a. Ảnh hưởng của nhiệt độ:

Điện trở suất của đa số kim loại và hợp kim đều tăng theo nhiệt độ, riêng điện trở suất của cacbon và của dung dịch điện phân giảm theo nhiệt độ.

Thông thường, điện trở suất ở nhiệt độ sử dụng t_2 được tính toán xuất phát từ nhiệt độ t_1 (t_1 thường là 20°C) theo công thức:

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (2.8)$$

α - là hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ ($1/^\circ\text{C}$).

Qua nghiên cứu, người ta thấy: Các kim loại tinh khiết thì hệ số α gần như giống nhau và được lấy bằng:

$$\alpha = 4 \cdot 10^{-3} (1/^{\circ}\text{C}) \tag{2.9}$$

Đối với khoảng chênh lệch nhiệt độ ($t_2 - t_1$) thì α trung bình là:

$$\alpha = \frac{\rho_{t_2} - \rho_{t_1}}{\rho_{t_1} (t_2 - t_1)} \tag{2.10}$$

Bảng 2.1 đưa ra nhiệt độ nóng chảy, điện trở suất ρ và hệ số thay đổi điện trở suất α theo nhiệt độ của một số kim loại hay dùng trong kỹ thuật điện.

Bảng 2.1 Các đặc tính vật lý chủ yếu của kim loại (ở 20⁰C) dùng trong kỹ thuật điện

Kim loại	Nhiệt độ nóng chảy (°C)	Điện trở suất (ρ) ở 20 ⁰ C ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	Hệ số α (1/ ⁰ C)
Vàng	1063	0,0220 - 0,0240	0,00350 - 0,00398
Bạc	961	0,0160 - 0,0165	0,00340 - 0,00429
Đồng	1083	0,0168 - 0,0182	0,00392 - 0,00445
Nhôm	657	0,0262 - 0,0400	0,00350 - 0,00398
Vônfram	3380	0,0530 - 0,0612	0,00400 - 0,00520
Kẽm	420	0,0535 - 0,0630	0,00350 - 0,00419
Niken	1455	0,0614 - 0,1380	0,00440 - 0,00692
Sắt	1535	0,0918 - 1,1500	0,00450 - 0,00657
Platin	1770	0,0866 - 0,1160	0,00247 - 0,00398
Thiếc	232	0,1130 - 0,1430	0,00420 - 0,00465
Chì	327	0,2050 - 0,2220	0,00380 - 0,00480
Thủy ngân	-39	0,9520 - 0,9590	0,00090 - 0,00099

Ở gần nhiệt độ 0⁰K (nhiệt độ tuyệt đối), điện trở suất của kim loại tinh khiết giảm đột ngột, chúng thể hiện tính siêu dẫn. Về phương diện lý thuyết, ở nhiệt độ 0⁰K, kim loại có điện trở bằng 0.

Khi bị chảy dẻo thì điện trở suất của kim loại tăng. Nhưng nếu tiến hành nung để cho nó kết tinh lại thì điện trở suất có thể giảm (giảm do tác dụng của sự biến dạng làm cho kết cấu của kim loại được chặt chẽ và do sự phá huỷ các màn oxit...).

b. Ảnh hưởng của áp suất:

Khi kéo hoặc nén (áp suất thay đổi) thì điện trở suất của vật dẫn biến đổi theo biểu thức:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 \pm k\sigma) \tag{2-11}$$

trong đó: ρ_0 : điện trở suất ban đầu của mẫu.

σ : Ứng suất cơ khí của mẫu.

k : hệ số thay đổi của điện trở suất theo áp suất.

dấu (+) tương ứng với biến dạng do kéo

dấu (-) tương ứng với biến dạng do nén

Sự thay đổi của ρ khi kéo hoặc nén là do sự thay đổi biên độ dao động của mạng tinh thể kim loại: khi kéo thì ρ tăng, khi nén thì ρ giảm.

c. Các yếu tố ảnh hưởng khác:

- Tạp chất phi kim có trong kim loại cũng có thể làm ρ tăng.

- Thực nghiệm cho thấy điện trở suất còn chịu ảnh hưởng của trường từ và ảnh hưởng của ánh sáng.

3.2.4. HIỆU ĐIỆN THẾ TIẾP XÚC VÀ SỨC NHIỆT ĐỘNG

Khi hai kim loại khác nhau tiếp xúc với nhau thì giữa chúng có một hiệu điện thế gọi là hiệu điện thế tiếp xúc. Nguyên nhân phát sinh hiệu điện thế tiếp xúc là do công thoát của mỗi kim loại khác nhau do đó số điện tử tự do trong các kim loại (hoặc hợp kim) không bằng nhau. hình 2.1

Theo thuyết điện tử, hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại A và B bằng

$$U_{AB} = U_B - U_A + \frac{KT}{e} \ln \frac{n_{oA}}{n_{oB}} \quad (2-12)$$

Trong đó: U_A và U_B - điện thế tiếp xúc của kim loại A và B

n_{oA} và n_{oB} - mật độ điện tử trong kim loại A và B

Hiệu điện thế tiếp xúc của các cặp kim loại dao động vài phần mười đến vài vôn, nếu nhiệt độ của cặp bằng nhau, tổng hiệu điện thế trong mạch kín bằng không. Nhưng khi một phần tử của cặp có nhiệt độ là T_1 còn cặp kia là T_2 thì trong trường hợp này sẽ phát sinh sức nhiệt điện động (s.n.đ.đ)

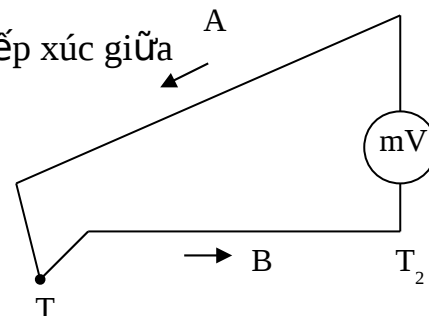
$$U = U_{AB} + U_{BA}$$

$$= U_B - U_A + \frac{KT_1}{e} \ln \frac{n_{oA}}{n_{oB}} + U_A - U_B + \frac{KT_2}{e} \ln \frac{n_{oB}}{n_{oA}} \quad (2-13)$$

Từ đó ta có:

$$U = \frac{K}{e} (T_1 - T_2) \ln \frac{n_{oA}}{n_{oB}} = A(T_1 - T_2) \quad (2-14)$$

Biểu thức (2-14) chứng tỏ s.n.đ.đ là hàm số của hiệu nhiệt độ



Hình 2.1. Sơ đồ cấu tạo cặp nhiệt điện

Sự xuất hiện hiệu điện thế tiếp xúc đóng vai trò quan trọng ở hiện tượng ăn mòn điện hóa và được ứng dụng trong một số khí cụ đo lường, đặc biệt là ứng dụng để chế tạo các cặp nhiệt ngẫu dùng để đo nhiệt độ. Bảng thế điện hóa của các kim loại so với Hyđrô bảng 2.2

Bảng 2.2 Bảng thế điện hóa của các kim loại so với Hyđrô bảng 2.2

Kim loại	Thế điện hóa	Kim loại	Thế điện hóa
Vàng	+1,500	Thiếc	- 0,100
Bạc	+0,081	Chì	- 0,130
Đồng	+0,345	Sắt	- 0,440
Hyđrô	+0,000	Kẽm	- 0,760

Sức nhiệt điện động sinh ra của hai kim loại khác nhau khi tiếp xúc được ứng dụng để chế tạo cặp nhiệt ngẫu.

Giá trị của sức nhiệt điện động tiếp xúc:

$$E_{AB} = 2,87 \cdot 10^{-7} \cdot \theta \cdot \ln n_A/n_B \tag{2-15}$$

Trong đó:

E_{AB} sức nhiệt điện động tiếp xúc tác dụng giữa 2 thanh kim loại A và B
 n_A và n_B số lượng điện tử tự do trong một đơn vị phân khối (1cm^3) của 2 kim loại A và B

θ Nhiệt độ tuyệt đối của chỗ tiếp xúc

3.2. NHỮNG HƯ HỎNG THƯỜNG GẶP VÀ CÁCH CHỌN VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN

3.2.1. Những hư hỏng thường gặp

Trong vật liệu dẫn điện thường gặp những hiện tượng hư hỏng sau:

- Tính dẫn điện của chúng giảm đi đáng kể sau thời gian là việc lâu dài
- Hay bị gãy hoặc bị biến dạng do chịu tác dụng của lực cơ khí, lực điện động và nhiệt độ cao gây ra
- Bị ăn mòn hóa học do tác dụng của môi trường hoặc của các dung môi

3.2.2. Cách chọn vật liệu dẫn điện

Chọn vật liệu dẫn điện phải đảm bảo được các yêu cầu về tính chất lý hóa, phù hợp cho việc sử dụng vật liệu, thông thường phải đảm bảo được các yêu cầu sau:

- Độ dẫn điện phải tốt
- Có sức bền cơ khí, đảm bảo được điều kiện ổn định động và ổn định nhiệt
- Có khả năng kết hợp được với các kim loại khác thành hợp kim

- Phải đảm bảo được tính chất lý học như: tính nóng chảy, tính dẫn nhiệt, tính dẫn nở nhiệt
- Đảm bảo được tính chất hóa học: tính chống ăn mòn do tác dụng của môi trường và các dung môi gây ra.
- Đảm bảo được tính chất cơ học

3.3. MỘT SỐ VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN THÔNG DỤNG

Kim loại có điện trở suất ρ nhỏ (hay điện dẫn suất γ lớn) là vật dẫn điện tốt. Đồng, nhôm, sắt, kẽm, vàng, bạc...và hợp kim của chúng là những chất dẫn điện tốt.

3.3.1. Đồng và hợp kim của đồng

a. Đồng (Cu)

Đồng là vật liệu dẫn điện quan trọng nhất trong tất cả các vật liệu dẫn điện dùng trong kỹ thuật điện vì nó có những ưu điểm nổi trội so với các vật liệu dẫn điện khác

- Đặc tính chung:

- Là kim loại có màu đỏ nhạt sáng rực
- Điện trở suất ρ_{Cu} nhỏ (chỉ lớn hơn so với bạc Ag nhưng do bạc đắt tiền hơn nên ít được dùng so với đồng).
- Có sức bền cơ giới đủ lớn.
- Trong đa số trường hợp có thể chịu được tác dụng ăn mòn (có sức đề kháng tốt đối với sự ăn mòn).
- Dễ gia công: cán mỏng thành lá, kéo thành sợi.
- Dễ uốn, dễ hàn.
- Có khả năng tạo thành hợp kim tốt.
- Là kim loại hiếm chỉ chiếm khoảng 0,01% trong lòng đất

Đồng dùng trong kỹ thuật điện phải được tinh luyện bằng điện phân, tạp chất lẫn trong đồng dù một lượng rất nhỏ thì tính dẫn điện của nó cũng giảm đi đáng kể.

Qua nghiên cứu, người ta thấy rằng: nếu trong đồng có 0,5% Zn, Ni hay Al thì điện dẫn suất của nó (γ_{Cu}) giảm đi 25% ÷ 40% và nếu trong đồng có 0,5% Ba, As, P, Si thì có thể giảm đến 55%.

Vì vậy để làm vật dẫn, thường chỉ dùng đồng điện phân chứa trên 99,9% Cu.

- Điện trở suất và các yếu tố ảnh hưởng đến điện trở suất

Đồng được tiêu chuẩn hóa trên thị trường quốc tế ở 20°C có:

$$- \rho = 1,7241 \cdot 10^{-6} (\Omega \cdot \text{cm})$$

- $\gamma = 0,58.10^6 (1/\Omega.cm)$

- $\alpha = 0,00393 (1/^{\circ}C)$

Các yếu tố ảnh hưởng đến điện trở suất

- ảnh hưởng của các tạp chất
- ảnh hưởng của gia công cơ khí
- ảnh hưởng của quá trình sử lý nhiệt

Nhìn chung các ảnh hưởng trên đều giảm điện dẫn suất của đồng.

-Phân loại:

- Đồng khi kéo nguội được gọi là đồng cứng: nó có sức bền cao, độ giãn dài nhỏ, rắn và đàn hồi (khi uốn).
- Đồng được nung nóng rồi để nguội gọi là đồng mềm: nó ít rắn hơn đồng cứng, sức bền cơ giới kém, độ giãn khi đứt rất lớn và có điện dẫn suất γ cao.
- Đồng được sử dụng trong công nghiệp là loại đồng tinh chế, nó được phân loại trên cơ sở các tạp chất có trong đồng tức là mức độ tinh khiết, bảng 2.4

Bảng 2.4

Ký hiệu	CuE	Cu9	Cu5	Cu0
Cu%	99,95	99,90	99,50	99,00

Trong kỹ thuật người ta sử dụng đồng điện phân CuE và Cu9 để làm dây dẫn điện.

- Tính chất cơ học và các yếu tố ảnh hưởng:

- ảnh hưởng của chất thêm vào : Các kim loại thêm vào : Al, Zn, Ni, ... sẽ làm tăng sức bền cơ khí. Do đó người ta sử dụng nhiều hợp kim của đồng.
- ảnh hưởng của gia công cơ khí:
- +/- ở trạng thái ủ nhiệt (mềm) độ bền đứt khi kéo: $\delta_k = 22kG/cm^2$
- +/- Khi kéo thành sợi (nguội) : $\delta_k = 45kG/cm^2$

Vì vậy, để dễ dàng khi sử dụng nên gia nhiệt vật liệu đồng

Lưu ý: Vì sức bền cơ khí của đồng giảm khi nhiệt độ $77^{\circ}C$ từ $45kG/cm^2$ xuống $35kG/cm^2$ sau khoảng thời gian là 80 ngày, nên những quy định về phương diện kỹ thuật phải làm sao cho giới hạn nung nóng bình thường của dây dẫn trần sao cho nhiệt độ của chúng không vượt quá $70^{\circ}C$.

- Các đặc tính hóa học và sự đề kháng đối với sự ăn mòn:

- ở nhiệt độ thường , đồng là vật liệu có sức đề kháng tốt với sự ăn mòn (do Đồng có điện hóa lớn +0,340 so với H là +0,000)

- Đồng có khả năng đề kháng tốt với tác động của nước và những khi thời tiết xấu và có tạo thành lớp ôxit đồng có tác dụng bảo vệ.

- Ứng dụng:

- Đồng cứng được dùng ở những nơi cần sức bền cơ giới cao, chịu được mài mòn như làm ổ góp điện, các thanh dẫn ở tủ phân phối, các thanh cái các trạm biến áp, các lưỡi dao chính của cầu dao, các tiếp điểm của thiết bị bảo vệ...

- Đồng mềm được dùng ở những nơi cần độ uốn lớn và sức bền cơ giới cao như: ruột dẫn điện cáp, thanh góp điện áp cao, dây dẫn điện, dây quấn trong các máy điện.

Bảng 2.5 Các tính chất vật lý hóa học chính của đồng điện phân

Đặc tính	Đơn vị đo lường	Chỉ tiêu
Trọng lượng riêng	Kg/dm ³	8,90
Điện trở suất ở nhiệt độ 20 ⁰ C	Ωmm ² /m	
- Dây mềm	-	0,01748
- Dây cứng	-	0,01786
- Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ (ở 0 ⁰ C- 150 ⁰ C)	1/ ⁰ C	0,00393
- Nhiệt dẫn suất	W/cm.grd	3,92
- Nhiệt dẫn suất	Calo/cm.s.grd ⁰ C	0,938
- Nhiệt độ nóng chảy	⁰ C	1083
- Nhiệt lượng riêng trung bình ở 25 ⁰ C	Kcal/kg.grd	0,0918
- Điểm sôi ở 760mm cột thủy ngân	⁰ C	2325
- Hệ số giãn nở dài trung bình ở 20 ⁰ C	1/độ (grd)	16,42.10 ⁻⁶
- Nhiệt độ kết tinh lại	⁰ C	200
- Modun đàn hồi, E	kG/mm ²	13000
- Sức bền đứt khi kéo	kG/mm ²	
- Dây mềm		21
- Dây cứng		45
Thế điện hóa so với H	V	+0,34

b. Hợp kim của đồng

Hợp kim trong đó vật liệu đồng là thành phần cơ bản, có đặc điểm là sức bền cơ khí lớn, độ cứng cao, có độ dai tốt, màu đẹp và có tính chất dễ nóng chảy.

Hợp kim của đồng có thể đúc thành các dạng bình phức tạp; người ta dễ dàng gia công trên máy công cụ và dễ phủ lên bề mặt của các kim loại khác theo phương pháp mạ điện. Những hợp kim chính của đồng được sử dụng trong kỹ thuật điện là: Đồng thanh, đồng thau, các hợp kim dùng làm điện trở.

Ngoài việc dùng đồng tinh khiết để làm vật dẫn, người ta còn dùng các hợp kim của đồng với các chất khác như: thiếc, silic, photpho, bêrili, crôm, mangan, cadmi..., trong đó đồng chiếm vị trí cơ bản, còn các chất khác có hàm lượng thấp.

Căn cứ vào lượng và thành phần các chất chứa trong đồng, người ta chia hợp kim của đồng thành các dạng chủ yếu như sau:

- Đồng thanh (đồng đỏ):

Đồng thanh là một hợp kim của đồng, có thêm một số kim loại khác để tăng cường độ cứng, sức bền và dễ nóng chảy.

Tùy theo các vật liệu thêm vào, người ta phân biệt:

- o Đồng thanh với thiếc.
- o Đồng thanh với thiếc và kẽm.
- o Đồng thanh với nhôm.
- o Đồng thanh với Bêrili.

Đồng thanh được dùng để chế tạo các chi tiết dẫn điện trong các máy điện và khí cụ điện; để gia công các chi tiết nối và giữ dây dẫn, các ốc vít, đai cho hệ thống nối đất, cổ góp điện, các giá đỡ và giữ,...

Bảng2.... Tính chất vật lý của đồng thanh

Đặc tính	Đơn vị đo lường	Chỉ tiêu
-Trọng lượng riêng	Kg/dm ³	7,2- 8,9
-Điện trở suất ở nhiệt độ 20 ⁰ C	Ωcm.10 ⁻⁶	1,92-11,1
-Điện dẫn suất	Ω ⁻¹ cm ⁻¹ .10 ⁶	0,52-0,09
- Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ	- 1/ ⁰ C	0,004
- Nhiệt dẫn suất	W/cm.grd	0,54- 0,43
- Nhiệt độ nóng chảy bình thường	⁰ C	900-1200
- Nhiệt lượng riêng trung bình ở 25 ⁰ C	Kcal/kg.grd	0,10
- Hệ số giãn nở dài trung bình 0-100 ⁰ C	1/độ (grad)	16,6.10 ⁻⁶
- Nhiệt độ xử lý nhiệt (ủ)	⁰ C	630-750
- Modun đàn hồi, E	kG/mm ²	9000-13000
- Sức bền đứt khi kéo	kG/mm ²	50 - 85
- Độ giãn dài riêng khi kéo đứt	%	3-30

Bảng2.... Các đặc tính cơ của đồng thanh- Nhôm được sử dụng trong kỹ thuật điện

Ký hiệu	Mức độ cứng	Sức bền khi Kéo:Kg/mm ² (tối thiểu)	Độ dẫn dài tương đối Khi đứt % (tối thiểu)	Độ cứng Brinell H _B (tối thiểu)	Trọng lượng riêng Kg/cm ²
BzAl ₅	- MỀM - ½ cứng	35-45	30	70	8,2

	- Cứng	42-45	15	110	8,2
		50-63	8	140	7,6

- Đồng thau:

Đồng thau là một hợp kim đồng với kẽm, trong đó kẽm không vượt quá 46%. Ở nhiệt độ cao, sức bền của đồng thau đối với sự ăn mòn do oxyt hóa sẽ giảm. Tốc độ oxyt hóa của đồng thau càng nhỏ (so với đồng tinh khiết) khi tỷ lệ phần trăm của kẽm càng lớn.

Nếu tỷ lệ phần trăm của kẽm lớn hơn 25%, thì lớp bảo vệ của oxyt kẽm tạo nên trên bề mặt của vật liệu càng nhanh khi nhiệt độ càng lớn.

Còn nếu tỷ lệ phần trăm của kẽm nhỏ thì trên bề mặt của vật liệu sẽ tạo một lớp màu hơi đen giàu oxyt đồng. Tính chất này của đồng thau với tỷ lệ lớn hơn 25% kẽm tạo thành một lớp bảo vệ ở 300°C và đôi khi được sử dụng để bảo vệ các chi tiết chống lại sự ăn mòn của không khí có Amôniac nếu không sử dụng một phương pháp bảo vệ nào khác.

Để tăng sức đề kháng đối với sự ăn mòn điện hoá, người ta thường tẩm thiếc hay tráng kẽm khi đồng thau còn nóng

Đồng thau được dùng trong kỹ thuật điện để gia công các chi tiết dẫn dòng như ổ cắm điện, các phích cắm, đui đèn, các đầu nối đến hệ thống tiếp đất, các ốc, vít...

3.3.2. Nhôm và hợp kim của nhôm

a. Nhôm (Al)

- Đặc tính chung:

Sau đồng, nhôm là vật liệu dẫn điện quan trọng thứ hai được sử dụng trong kỹ thuật điện

Là kim loại màu trắng bạc, rất mềm, rất ít đề kháng khi va chạm và xây xát, có trọng lượng riêng nhỏ (nhẹ). Chiếm 7,5% trong vỏ trái đất (nhiều nhất trong các kim loại)

- Có điện dẫn suất và nhiệt dẫn cao, chỉ sau Ag và Cu
- Gia công dễ dàng khi nóng và khi nguội
- Có sức bền đối với sự ăn mòn do có lớp oxit rất mỏng tạo ra khi tiếp xúc với không khí.
- Sức bền cơ khí tương đối bé
- Lớp oxit có điện dẫn lớn nên khi khó khăn cho việc tiếp xúc

Bảng2.... Các hằng số vật lý hóa học chính của dây dẫn nhôm(99,5%Al)

Đặc tính	Đơn vị đo lường	Chỉ tiêu
-Trọng lượng riêng ở 20 ⁰ C	Kg/dm ³	2,7
-Điện trở suất ở nhiệt độ 20 ⁰ C	$\Omega\text{cm}.10^{-6}$	2,94
-Điện dẫn suất ở 20 ⁰ C	$\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}.10^6$	0,34
- Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ ở 20 ⁰ C	-	
- Nhiệt dẫn suất	1/ ⁰ C	0,004
- Nhiệt độ nóng chảy bình thường	W/cm.grd	2,1
- Nhiệt độ nóng chảy bình thường	⁰ C	93
- Nhiệt lượng riêng trung bình ở 25 ⁰ C	Kcal/kg.grd	0,2259
- Điểm sôi ở 760mm cột thủy ngân	⁰ C	2270
- Hệ số giãn nở dài trung bình 20-100 ⁰ C	1/độ (grd)	$23,81.10^{-6}$
- Nhiệt độ xử lý nhiệt (ủ)	⁰ C	630-750
- Modun đàn hồi, E	kG/mm ²	9000-13000
- Sức bền đứt khi kéo	kG/mm ²	50 - 85
- Độ dẫn dài riêng khi kéo đứt	%	3-30

- Điện trở suất và các yếu tố ảnh hưởng đến điện trở suất

Điện trở suất của nhôm ở 20⁰C là $2,941.10^{-6}(\Omega.\text{cm})$. Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ $\alpha = 0,004- 0,0049 (1/^0\text{C})$ tùy thuộc vào mức độ tinh khiết, điện dẫn suất $\gamma = 0,34.10^6 (1/\Omega.\text{cm})$

So sánh với đồng, nhôm có tính chất cơ và điện ít thuận lợi hơn. Trọng lượng nhẹ (trọng lượng Al nhỏ hơn Cu 3,5 lần), tính dẻo cao. So với đồng, nhôm kém hơn về các mặt điện và cơ. Với dây dẫn có cùng tiết diện và độ dài thì dây bằng nhôm có điện trở lớn hơn đồng khoảng $0,0295/0,0175 = 1,68$ lần. Do đó nếu có hai dây dẫn bằng nhôm và đồng có điện trở như nhau thì dây nhôm phải có tiết diện lớn hơn 1,669 lần so với dây đồng (hay đường kính của dây nhôm lớn hơn so với dây đồng là $\sqrt{1,68} = 1,3$ lần).

Vì vậy, nếu bị ràng buộc bởi kích thước thì không thể thay đồng bằng nhôm được.

Các yếu tố ảnh hưởng đến điện trở suất

- ảnh hưởng của các tạp chất
- ảnh hưởng của gia công cơ khí
- ảnh hưởng của quá trình xử lý nhiệt

Nhìn chung các ảnh hưởng trên đều làm tăng điện trở suất và thay đổi hệ số α của nhôm.

Bảng 2... ảnh hưởng phụ của sắt và Silic đối với điện trở suất của nhôm

Nhôm đã được xử lý (ủ nhiệt)	Các chất thêm vào, %		Điện trở suất ở 20°C	Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ ở 20°C
	Fe	Si		
-Nhôm tinh	0,0005	0,0023	2,63	$4,33.10^{-6}$
khiết	0,34	0,1	2,767	$4,10.10^{-6}$
- Al 99,5%	0,56	0,32	2,78	$4,13.10^{-6}$
- AL 99,0%	0,96	0,41	2,835	$4,10.10^{-6}$
- Al 98,5%				

-Phân loại:

Nhôm dùng trong công nghiệp được phân loại trên cơ sở tỷ lệ phần trăm của kim loại tinh khiết và tạp chất. Nhôm được sử dụng làm dây dẫn điện trong kỹ thuật điện thường phải đảm bảo tinh khiết, tối thiểu 99,5% Al, các tạp chất khác như sắt, silic tối đa là 0,45%, đồng và kẽm tối đa là 0,05%.

Ở nhiệt độ thường, khi để trong không khí, nhôm sẽ được bọc một lớp mỏng, chắc nịt oxit, lớp này có điện trở lớn và nó ngăn ngừa việc oxyt hóa tiếp tục, do vậy nó đảm bảo là một lớp bảo vệ tốt đối với sự ăn mòn, ngay cả trong điều kiện môi trường khí hậu ẩm ướt và hay thay đổi. Song trong trường hợp tồn tại các khí khác trong khí quyển như CO₂, NH₃, SO₂...và độ ẩm lớn có thể phát sinh ăn mòn điện hóa. Hiện tượng ăn mòn điện hóa có thể xảy ra ở mối tiếp xúc giữa kim loại cơ bản và tùy theo tình hình cụ thể, có thể dẫn đến sự liên hệ từng phần tử nhỏ của chúng. Trong sự tồn tại của độ ẩm và các tạp chất có trong không khí sẽ tạo lên hàng loạt những phần tử điện Ganvanic bé nhỏ dẫn đến sự ăn mòn dây dẫn. Những liên hệ ấy có thể làm mất tính tinh khiết của nhôm và do đó dễ dàng tạo nên sự ăn mòn nhanh, đặc biệt ở những vị trí tiếp xúc trong quá trình lắp đặt điện.

Thông qua các thí nghiệm thực hiện trên bờ biển trong không khí với gió mạnh, bụi cát và không khí ẩm của biển, đối với dây dẫn nhôm có độ tinh khiết khác nhau, người ta thấy rằng: nhôm với độ tinh khiết 99,5% được gia công và lắp ráp dù cho sự chăm sóc cẩn thận nó vẫn bị ăn mòn nhiều hơn đồng.

Đặc biệt trong kỹ thuật điện hay phải nối điện đồng với nhôm. Nếu chỗ tiếp xúc bị ẩm thì ở đây sẽ có một sức điện động có chiều đi từ nhôm sang đồng, do đó

phần nhôm ở chỗ tiếp xúc bị ăn mòn rất nhanh. Vì vậy chỗ tiếp xúc giữa nhôm và đồng cần được chú ý bảo vệ chống ẩm (ví dụ như quét sơn).

Nhôm được sử dụng trong công nghiệp được phân loại trên cơ sở tỷ lệ % của kim loại tính khiết và tạp chất, bảng 2.5

Bảng 2.6

Ký hiệu	AB1	AB2	A-00	A-0	A-1	A-2	A-3
Nhôm%	99,90	99,85	99,70	99,60	99,50	99,00	98,00

Theo tiêu chuẩn nước ngoài thi nhôm được sử dụng trong kỹ thuật để làm dây dẫn điện phải có độ tinh khiết > 99,5%

- Tính chất cơ học và các yếu tố ảnh hưởng:

+ ảnh hưởng của những chất thêm vào: các kim loại thêm vào : Fe, Zn, Si, Mg..... sẽ làm tăng sức bền cơ khí

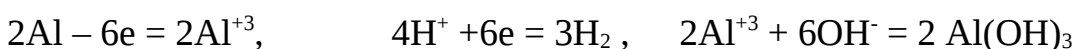
+ ảnh hưởng của gia công cơ khí: khi gia công cơ khí tính chất cơ của nhôm phụ thuộc vào tạp chất: Nhôm tinh khiết thì $\delta_k = 6kG/cm^2$, khi có tạp chất 0,5% thì $\delta_k = 11kG/cm^2$

- Các đặc tính hóa học và sự đề kháng đối với sự ăn mòn:

Nhôm tác dụng mạnh với oxi, trong không khí ngay ở nhiệt độ thường nhôm được bọc một lớp mỏng, chắc nịch oxit. Lớp này có điện trở cao và nó ngăn cản việc oxi hóa tiếp tục. Do vậy nó đảm bảo sẽ có một lớp bảo vệ tốt đối với sự ăn mòn ngay cả trong điều kiện môi trường khí hậu ẩm ướt

Song trong trường hợp có tồn tại trong khí quyển các loại khí như CO₂ , NH₃ , SO₂ Và độ ẩm ướt lớn có thể phát sinh ăn mòn điện hóa, vì nhôm có thế điện hóa gần như ít nhất so với H (-1,34) và sự tiếp xúc với các kim loại khác có điện hóa lớn hơn thì sẽ nguy hại đối với nhôm, ví dụ như Cu (+0,34), trong trường hợp này sẽ phát sinh dòng điện từ nhôm về đồng làm cho nhôm bị hư hại nặng.

Trong không khí có hơi nước, nên có các ion H⁺ , OH⁻, HCO₃⁻ , nên đồng và nhôm và dung dịch điện tạo thành 1 pin cực dương là Cu cực âm là Al, Cực Al bị mòn dần vì Al⁺³ chạy vào dung dịch do lực hóa học của các phân tử nước. Các điện tử thừa trong nhôm sẽ chạy sang cực đồng và khử điện thế của các ion H⁺, trong dung dịch các ion Al⁺³ kết hợp OH⁻ tạo thành Al(OH)₃ ,



Vì thế nhôm bị ăn mòn khá mạnh

- Ứng dụng:

Trong kỹ thuật điện, nhôm được sử dụng phổ biến để chế tạo:

- o Dây dẫn điện đi trên không để truyền tải điện năng.
- o Ruột cáp điện.
- o Các thanh ghép và chi tiết cho trang thiết bị điện.
- o Dây quấn trong các máy điện.
- o Các lá nhôm để làm tụ điện, lõi dẫn từ máy biến áp, các rôto của động cơ điện,...

b. Hợp kim của nhôm:

Nhôm có nhiều hợp kim dùng để đúc và để kéo dây dẫn điện.

Các hợp kim chính của nhôm dùng để đúc có thể là những loại sau:

Al-Zn-Cu, Al-Cu, Al-Cu-Ni, Al-Si, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg, Al-Mg, Al-Mg-Mn.

Một hợp kim được dùng phổ biến để chế tạo dây dẫn là hợp kim "aldrey". Chúng là hợp kim của nhôm với (0,3÷ 0,5)%Mg, (0,4÷ 0,7)% Si, (0,2÷ 0,3)% Fe. Tổ hợp làm cho hợp kim có tính chất cơ khí tốt. Dây dẫn bằng hợp kim loại "aldrey" nhận được thông qua việc tôi hợp kim (nung nóng đến 500÷ 600°C), kéo nó thành sợi ở kích thước mong muốn và làm già hóa nhân tạo bằng nung nóng 150÷ 200°C. Sức bền của dây dẫn "aldrey" lớn gấp khoảng 2 lần so với dây dẫn Al tinh khiết. Vì vậy, khi dùng dây dẫn "aldrey" có thể tăng khoảng cách giữa các cột của đường dây trên không, giảm chi phí xây dựng đáng kể.

3.3.3 Chì và hợp kim của chì

Chì được tinh luyện từ các mỏ có trong tự nhiên như: Galen (PbS), Xezurit (PbCO₃), Anglezit (PbSO₄)...Có thể thu được chì ở mức độ tinh khiết (92÷ 99,94%).

Chì là kim loại có màu tro sáng, rất mềm, có thể uốn cong, dát mỏng dễ dàng hoặc cắt bằng dao cắt công nghiệp, nhiệt độ nóng chảy thấp.

Chì có điện trở suất cao $\rho = 0,21 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ và nhiệt dẫn suất nhỏ. Nó là vật liệu bảo vệ tốt nhất đối với sự xuyên thủng của tia X (tia Röntgen).

Một lớp chì dày 1mm ở 200÷ 300kV có tác dụng bảo vệ như một lớp thép dày 11,5mm hay một lớp gạch có chiều dày 110mm.

Chì và hợp kim của nó được dùng để làm lớp vỏ bảo vệ ở cáp điện nhằm chống lại ẩm ướt.

Chì còn được dùng để chế tạo các bản cực của acquy, dùng để làm dây chảy bảo vệ các đường dây dẫn điện và các thiết bị điện.

Chì được tinh luyện từ các mỏ có trong tự nhiên như: Galen (PbS), Xezurit (PbCO₃), Anglezit (PbSO₄)...Có thể thu được chì ở mức độ tinh khiết (92÷ 99,94%).

Chì là kim loại có màu tro sáng, rất mềm, có thể uốn cong, dát mỏng dễ dàng hoặc cắt bằng dao cắt công nghiệp, nhiệt độ nóng chảy thấp.

Chì có điện trở suất cao $\rho = 0,21 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ và nhiệt dẫn suất nhỏ. Nó là vật liệu bảo vệ tốt nhất đối với sự xuyên thủng của tia X (tia Röntgen).

Một lớp chì dày 1mm ở 200÷ 300kV có tác dụng bảo vệ như một lớp thép dày 11,5mm hay một lớp gạch có chiều dày 110mm.

Chì và hợp kim của nó được dùng để làm lớp vỏ bảo vệ ở cáp điện nhằm chống lại ẩm ướt.

Chì còn được dùng để chế tạo các bản cực của acquy, dùng để làm dây chảy bảo vệ các đường dây dẫn điện và các thiết bị điện.

Bảng2.... Các hằng số vật lý hóa học chính của Chì

Đặc tính	Đơn vị đo lường	Chỉ tiêu
-Trọng lượng riêng ở 20 ⁰ C	Kg/dm ³	11.34
-Điện trở suất ở nhiệt độ 20 ⁰ C	$\Omega\text{cm}.10^{-6}$	20,8
-Điện dẫn suất ở 20 ⁰ C	$\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}.10^6$	0,048
- Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ ở 20 ⁰ C	-	
- Nhiệt dẫn suất	1/ ⁰ C	0,00428
- Nhiệt độ nóng chảy bình thường	W/cm.grd	0,35
- Nhiệt lượng riêng trung bình ở 25 ⁰ C	⁰ C	327,3
- Điểm sôi ở 760mm cột thủy ngân	Kcal/kg.grd	0,00309
- Hệ số giãn nở dài trung bình 20-100 ⁰ C	⁰ C	1740
- Modun đàn hồi, E	1/độ (grd)	$29,3.10^{-6}$
- Sức bền đứt khi kéo	kG/mm ²	1700
- Thế điện hóa so với H	kG/mm ²	1,5
	V	- 0,13

3.3.4. Sắt và hợp kim của sắt

□ Trong vỏ quả đất, sắt là kim loại có nhiều thứ hai, sau Al (khoảng 5%).

Sắt được sản xuất tương đối dễ dàng nên giá thành hạ so với các kim loại khác. Trên cơ sở tỷ lệ Cacbon chứa trong sắt mà người ta phân thành:

- Gang: là sắt chứa tỷ lệ (1,7 ÷ 4,5)% C
- Thép: là sắt chứa tỷ lệ (0,5 ÷ 1,7)% C
- Sắt rèn: là sắt chứa tỷ lệ dưới 0,5% C

Sắt tinh khiết (99,7 ÷ 99,9)% Fe trong kỹ thuật thực tế rất ít được sử dụng.

Bảng2.... Các hằng số vật lý hóa học chính của sắt tinh khiết

Đặc tính	Đơn vị đo lường	Chỉ tiêu
-Trọng lượng riêng ở 20 ⁰ C	Kg/dm ³	7,86
-Điện trở suất ở nhiệt độ 20 ⁰ C	$\Omega\text{cm}.10^{-6}$	10
-Điện dẫn suất ở 20 ⁰ C	$\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}.10^6$	0,10
- Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ ở 0-100 ⁰ C	- 1/ ⁰ C	0,00657
- Nhiệt dẫn suất	W/cm.grd	0,75
- Nhiệt độ nóng chảy bình thường	⁰ C	1535
- Nhiệt lượng riêng trung bình ở 20-100 ⁰ C	Kcal/kg.grd ⁰ C	0,111 2740
- Điểm sôi ở 760mm cột thủy ngân	1/độ (grd)	$12,3.10^{-6}$
- Hệ số giãn nở dài trung bình 20-100 ⁰ C	%	50
- Độ đàn hồi riêng khi đứt	kG/mm ²	21070
- Modun đàn hồi, E	kG/mm ²	22
- Sức bền đứt khi kéo	V	0,44
- Thê điện hóa so với H		

- ▣ Thép được dùng làm vật dẫn thường dùng loại thép có hàm lượng Cacbon (0,10 ÷ 0,19)%C, có giới hạn chịu kéo (70 ÷ 75)kg/mm², độ giãn khi đứt (5 ÷ 8)%, điện trở suất lớn hơn đồng (6 ÷ 7) lần.

Nhược điểm của thép là dễ bị ăn mòn thông qua hiện tượng rỉ ngay ở nhiệt độ bình thường và đặc biệt là rỉ rất nhanh ở nhiệt độ cao và ở môi trường ẩm ướt. Để khắc phục hiện tượng này, bề mặt tiếp xúc của sắt thường được phủ một lớp vật liệu ổn định hơn như Cadmi, Zn,...Mặc dù vậy, nó cũng có một số ưu điểm nổi trội so với các kim loại khác nên được sử dụng phổ biến làm vật dẫn:

- ▣ Thép có sức bền cơ khí lớn gấp 2 ÷ 2,5 lần so với đồng và do đó dây dẫn thép có thể dùng ở những khoảng cột lớn, những tuyến vượt sông rộng... (có thể sử dụng với khoảng cột từ 1500 ÷ 1900m).
- ▣ Sự phong phú của thép trong quặng thiên nhiên và giá thành hạ tạo cho dây dẫn hoặc thanh dẫn điện bằng thép có giá thấp hơn nhiều so với bằng đồng hoặc nhôm.
- ▣ Đối với đường dây dẫn truyền tải điện năng, người ta sử dụng dây dẫn bằng thép nhiều sợi hoặc bện thành chảo hoặc sử dụng chảo thép-nhôm, với thép được tráng kẽm được đặt ở giữa.

Để dùng thép làm thanh dẫn thường là thép cacbon dất mỏng khi nóng (C = 0,74%, Mn = 0,71%, S = 0,002%, Si = 0,25%, P = 0,03%) có điện trở suất $\rho = 0,135 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Thép hay được dùng làm dây dẫn, thanh dẫn để bảo vệ quá điện áp (chống sét) và các trang thiết bị bảo vệ nối đất.

Ngoài ra, thép còn được dùng để chế tạo các điện trở phát nóng với nhiệt độ thích ứng $300 \div 500^\circ\text{C}$...

3.3.5. Wofram (W)

Wofram (Tungsten) tìm thấy trong tự nhiên dưới dạng mỏ: Woframit (FeOMnO) WO_3 , quặng selit (CaO) WO_3 , thông qua các phản ứng hóa học khác nhau, các quặng này chuyển thành Trioxyt Wofram (WO_3) rồi điều chế từ đây được Wofram (W) thông qua điện phân ở nhiệt độ cao $1050 \div 1300^\circ\text{C}$.

Wofram là một kim loại có sức bền đứt và độ cứng rất cao, nhiệt độ nóng chảy cao nhất trong số tất cả các kim loại được sử dụng trong kỹ thuật điện, được chế tạo thành sợi tóc trong các bóng đèn điện sợi đốt, chế tạo các điện trở phát nóng cho các lò điện,...Tuy nhiên, để cản trở sự oxyt hóa dây tóc và sự bay hơi của nó, các bóng đèn nung sáng được thực hiện trong chân không hay với môi trường khí trơ (argon, nitơ), khi đó có thể làm việc ở 2300°C .

Wofram tinh khiết ($99,5 \div 99,8\%$) còn được dùng để chế tạo các tiếp điểm điện có dòng điện nhỏ. Đối với tiếp điểm điện ở công suất lớn (dòng điện lớn), người ta dùng hợp kim của Wofram với bạc hay Wofram với đồng nén lại.

Bảng2.... Các hằng số vật lý hóa học chính của Wofram

Đặc tính	Đơn vị đo lường	Chỉ tiêu
-Trọng lượng riêng ở 20°C	Kg/dm^3	19,3
-Điện trở suất ở nhiệt độ 20°C	$\Omega\text{cm} \cdot 10^{-6}$	5,55
-Điện dẫn suất ở 20°C	$\Omega^{-1}\text{cm}^{-1} \cdot 10^6$	0,18
- Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ ở 20°C	-	
- Nhiệt dẫn suất	$1/^\circ\text{C}$	0,00468
- Nhiệt độ nóng chảy bình thường	$\text{W}/\text{cm} \cdot \text{grad}$	1,99
- Nhiệt độ nóng chảy bình thường	$^\circ\text{C}$	3380
- Nhiệt lượng riêng trung bình ở 25°C	$\text{Kcal}/\text{kg} \cdot \text{grad}$	0,0338
- Điểm sôi ở 760mm cột thủy ngân	$^\circ\text{C}$	5000
- Hệ số giãn nở dài trung bình 20- 100 $^\circ\text{C}$	$1/\text{độ} (\text{grad})$	$4,5 \cdot 10^{-6}$
	kG/mm^2	37000-40000

- Modun đàn hồi, E	kG/mm ²	350
- Sức bền đứt khi kéo	V	- 0,58
- Thế điện hóa so với H		

3.3.6. VẬT LIỆU DÙNG LÀM TIẾP ĐIỂM VÀ CỔ GÓP

A. Yêu cầu đối với vật liệu làm tiếp điểm

- Có sức bền cơ khí và độ rắn tốt (tuổi thọ cao)
- Có điện dẫn suất và dẫn nhiệt tốt để không nóng quá nhiệt độ cho phép khi những tiếp điểm này có dòng điện định mức đi qua
- Có sức bền đối với sự ăn mòn do các tác nhân bên ngoài (Nước, không khí ẩm)
- Có nhiệt độ nóng chảy và hóa hơi cao, ôxi của nó phải có điện dẫn suất lớn (tức là để có thể chịu được dòng ngắn mạch cao, R_{tx} nhỏ)
- Gia công dễ dàngm giá thành hạ

Bên cạnh những điểm nêu trên, nó phải thỏa mãn các điều kiện tùy thuộc và dạng tiếp điểm (có 3 dạng tiếp điểm cố định, di động và trượt)

+ Với tiếp điểm cố định: Phải có sức bền nén để có thể chịu được áp suất lớn, (lực ấn lớn), phải có điện trở ổn định trong thời gian làm việc lâu dài (R_{tx} ổn định)

+ Với tiếp điểm di động: Chúng làm việc theo cách ấn (đóng và mở các MC điện, Công tắc tơ, Role điện ...) , phải có sức bền đối với sự ăn mòn do tác động cơ khí khi đóng mở, phải có sức bền đối với sự tác động của hồ quang không bị hàn chặt.

+ Với tiếp điểm trượt: Chúng làm việc theo cách trượt như: Cổ góp máy điện, DCL... Phải có sức bền đối với sự mài mòn cơ khí do ma sát

B. Sức bền của các tiếp điểm và các yếu tố ảnh hưởng tới sức bền

2.7.2.1. Bản chất bề mặt

- Điện trở của tiếp điểm càng lớn khi điện trở suất của vật liệu càng lớn và điện trở càng nhỏ khi ứng suất của vật liệu càng nhỏ, vì vật liệu càng mềm thì sự biến dạng của vật liệu càng dễ dàng và số lượng điểm tiếp xúc càng lớn, tức là tổng bề mặt tiếp xúc càng tăng lên
- Khi phụ tải thay đổi hay ngắn mạch, sẽ sinh ra ứng suất rất lớn sẽ làm yếu tiếp điểm

- Bản chất của vật liệu và những điều kiện làm việc ảnh hưởng đến sự ăn mòn các tiếp điểm (Tác động của không khí, nước, hóa chất ...) tạo nên trên bề mặt tiếp xúc lớp làm xấu tính chất dẫn điện, do đó R_{tx} tăng lên

Để tránh ăn mòn , người ta ngăn không cho không khí ẩm xâm nhập hay bảo vệ các tiếp điểm bằng phương pháp mạ điện (mạ thiếc hay bạc đối với đồng)

2.7.2.2. Lực ấn

Là yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến điện trở tiếp điểm. Khi cùng một diện tích tiếp xúc, nếu lực ấn càng lớn thì diện tích tiếp xúc càng lớn vì diện tích tiếp xúc thực tế phụ thuộc vào lực ấn

Lực ấn ở những tiếp điểm cố định được ghép bằng Bulông cần phải tương đối lớn để đảm bảo R_{tx} nhỏ. Song cũng không được quá lớn vì sẽ tạo nên ứng suất lớn trong vật liệu sẽ làm mất tích đàn hồi sẽ làm xấu mối tiếp xúc.

2.7.2.3. Nhiệt độ của tiếp điểm

- Nhiệt độ từ nhiệt độ bình thường đến $250^{\circ}C$, do điện trở suất tăng theo nhiệt độ vì thế điện trở mà dòng điện đi qua tiếp điểm sẽ tăng

- Nhiệt độ từ $250^{\circ}C$ đến $400^{\circ}C$ sức bền cơ học của vật liệu giảm làm tăng diện tích tiếp xúc sẽ làm giảm điện trở mà dòng điện đi qua.

- Nhiệt độ lớn hơn $400^{\circ}C$, điện trở mà dòng điện đi qua sẽ tăng lại cho đến lúc nóng chảy và khi đó điện trở sẽ giảm đột ngột.

2.7.2.4. Trạng thái của bề mặt lúc tiếp xúc

Diện tích tiếp xúc càng lớn bao nhiêu thì càng tốt bấy nhiêu (bản chất của tiếp xúc mặt là tiếp xúc điểm)

2.7.3. Vật liệu làm tiếp điểm

2.7.3.1. Vật liệu làm tiếp điểm cố định

thường sử dụng đồng, nhôm , sắt ...

- Đồng và hợp kim của nó có phẩm chất cứng nên có thể sử dụng ở điều kiện bình thường. để có sức bền đối với sự ăn mòn được tốt, người ta bọc Ni tẩm Silic mạ Ag

- Nhôm có sức bền cơ giới thấp, nên không dùng ở nơi có dòng điện ngắn mạch lớn.

- Thép có ρ lớn do đó chỉ dùng khi Công suất bé và điện áp lớn (dòng điện bé)

2.7.3.2. Vật liệu lam tiếp điểm di động

- Platin: Có tính Ổn định cao đối với sự ăn mòn trong không khí do không tạo màng oxi nên đảm bảo độ Ổn định cho tiếp điểm dẫn tới R_{tx} nhỏ

- Bạc: Bạc tinh khiết ít dùng làm tiếp điểm vì bị hồ quang ăn mòn. Tiếp điểm hợp kim Ag và Cu có độ cứng cao và ăn mòn nhỏ thường được sử dụng.

- Ngoài ra còn dùng W, Mo, làm vật liệu tiếp điểm.

2.7.3.3. Vật liệu làm tiếp điểm trượt

- Cu và hợp kim của nó: dùng ở tiếp điểm DCL, tiếp điểm MCD, Cổ góp KCD: máy khoan, máy điện một chiều...

- Al dùng làm tiếp điểm của các phương tiện vận tải bằng điện (xe điện)

- C dùng trong các chi tiết KCD, các phương tiện vận tải bằng điện vì nó không ăn mòn dây dẫn điện và có tuổi thọ khá cao.

2.7.3.4. Vật liệu làm tiếp điểm có công suất lớn (MCD có U cao)

- Là các vật liệu tổng hợp, chúng được tạo nên từ những kim loại khó nóng chảy với kim loại dẫn điện tốt, một kim loại dẫn điện tốt còn kim loại kia có sức bền cở khí lớn. Những vật liệu này gồm Ag- W, Ag- Ni, Cu- Ni.

- Được sử dụng ở những tiếp điểm có công suất lớn, áp suất tiếp xúc lớn và có độ cứng cao.

3.3.7. HỢP KIM CÓ ĐIỆN TRỞ CAO VÀ CHỊU NHIỆT

Hợp kim có điện trở cao được dùng trong kỹ thuật điện để chế tạo các dụng cụ đo lường, điện trở mẫu, biến trở, dụng cụ nung nóng.

Đối với tất cả các thiết bị ấy đều yêu cầu dây dẫn có điện trở suất cao và hệ số biến đổi của điện trở suất đối với nhiệt độ nhỏ so với các phần tử hợp thành.

Hiện nay thường dùng các hợp kim có gốc là đồng: Manganin, Constantan và Nikennin, Niken-Crôm, Niken-Nhôm.

7.1. Hợp kim Manganin (86%Cu, 2%Ni, 12%Mn)

Hợp kim Manganin là hợp kim chủ yếu dùng trong thiết bị nung và điện trở mẫu (điện trở chính xác). Sở dĩ được dùng làm điện trở mẫu là bởi nó không làm sai lệch kết quả đo lường ở những dòng điện khác nhau cũng như ở những nhiệt độ môi trường xung quanh khác nhau.

7.2. Hợp kim Constantan (60%Cu, 40%Ni)

Constantan dễ hàn và dính rất chặt, hệ số biến đổi điện trở suất α theo nhiệt độ rất nhỏ (Constantan với nghĩa của nó là hằng số), α có trị số âm.

Constantan được dùng làm biến trở và phần tử nung nóng, Constantan không được dùng ở nhiệt độ trên 450°C vì lúc đó nó sẽ bị oxyt hóa.

Constantan ghép với đồng hay sắt có sức nhiệt điện động lớn. Đó là nhược điểm khi dùng điện trở bằng Constantan trong các sơ đồ đo. Do có sự chênh lệch nhiệt độ ở chỗ tiếp xúc nên có sức nhiệt điện động xuất hiện, đó là nguồn sai số. Đặc biệt trong các cầu đo chỉ không và sơ đồ phân điện áp.

Constantan được dùng nhiều làm cặp nhiệt ngẫu để đo nhiệt độ đến 700°C.

7.3. Hợp kim Nikenin [(25÷ 35)%Ni, (2÷ 3)%Mn, 67%Cu]

Hợp kim Nikenin rẻ tiền hơn Constantan, dễ gia công, có điện trở suất nhỏ hơn và hệ số biến đổi của điện trở suất đối với nhiệt độ lớn hơn Constantan.

Người ta thường dùng hợp kim Nikenin làm biến trở khởi động và điều chỉnh.

7.4. Hợp kim Crôm-Niken (Nicrom)

Hợp kim *Nicrom* [1,5% Mn, (55÷ 78)%Ni, (15÷ 23)%Cr, còn lại là Fe] có sức bền tốt ở nhiệt độ cao, điện trở suất và hệ số biến đổi của điện trở suất theo nhiệt độ nhỏ.

Hợp kim này được dùng để làm các phần tử nung bằng điện như bếp điện, mỏ hàn,...với nhiệt độ đến 1000°C.

7.5. Hợp kim Crôm - Nhôm

Hợp kim Crôm - Nhôm là hợp kim rất rẻ được dùng để chế tạo các thiết bị nung lớn và lò điện lớn dùng trong công nghiệp.

Bảng 2.6. Tổng hợp hành phần và các tính chất cơ bản của một số hợp kim có điện trở cao hay dùng trong kỹ thuật điện.

Bảng 2.6

Tên hợp kim	Thành phần % có trong hợp kim						Tính chất cơ bản			
	Cu	Mn	Ni	Cr	Al	Fe	ρ ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	α ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)	Sức nhiệt điện động với đồng (mV/gr ad)	Giới hạn nhiệt độ làm việc ($^\circ\text{C}$)
Manganin	86	12	2				0,42÷ 0,8	10-15	1-2	100-200
Constantan	60		40				0,43÷ 0,52	-5	0,5	400-500

Nikenin	6 7	2÷ 3	25÷ 35				0,4	20		250
Crôm- Niken		1,5	55÷ 78	15÷ 23		cò n lại	1,0÷ 1,2	0,000 13		1100
Crôm- Nhôm				30	4	cò n lại	1,2÷ 1,5	0,000 14		1200

3.3.8. LƯỠNG KIM LOẠI

8.1. Khái niệm

Người ta gọi những sản phẩm dùng vật liệu lưỡng kim loại là những sản phẩm kỹ thuật được chế tạo bằng nhiều cách để tạo thành một khối liên hệ chặt của hai kim loại.

8.2. Dây dẫn và thanh góp bằng lưỡng kim- Thép - Đồng

Quanh hệ giữa điện trở ở dòng điện xoay chiều với tần số $f = 5000\text{Hz}$ và điện trở ở dòng điện một chiều đối với dây dẫn đồng có đường kính 5mm là:

$$\frac{R_{xc}}{R_{mc}} = 3,9$$

Dòng điện chạy qua lớp mặt ngoài có chiều dày 0,5-0,6mm, còn trung tâm của tiết diện trở thành mất tác dụng việc dẫn điện. Kết quả cho thấy : lõi của dây dẫn có thể được làm bằng thép, như vậy sẽ tiết kiệm đồng mà vẫn không hề ảnh hưởng đến điện trở ở dòng điện xoay chiều. Điều này sẽ là biện pháp tốt để làm tăng sức bền cơ khí của dây dẫn, và lớp đồng ở bên ngoài cũng sẽ là lớp bảo vệ rất tốt đối với sự ăn mòn.

Do vậy, người ta đã thực hiện dây dẫn bằng vật liệu lưỡng kim thép- đồng đối với đường dây thông tin liên lạc có đường kính 1- 4mm. Dây dẫn bằng vật liệu lưỡng kim loại trong một số trường hợp dùng làm dây dẫn điện trong mạch nhị thứ ở tần số 50Hz. Và được chế tạo thành các thanh góp trong các trạm thiêt bị dùng để nối.

8.3. Dây dẫn lưỡng kim - Đồng- Nhôm

Tổ hợp lưỡng kim đồng- nhôm được chế tạo đặc biệt dưới dạng các tấm có một mặt hay cả hai mặt và dùng trong các cấu trúc phản chiếu, lò sưởi điện hoặc các chi tiết dùng để nối vv...

Các tấm lưỡng kim- đồng – nhôm được dùng làm các con nối dây dẫn điện , con nối dây đồng và dây nhôm. Do thuận lợi là có thể dễ dàng hàn dính bằng hợp kim

dính chặt dựa trên vật liệu cơ bản là thiếc , vật liệu lưỡng kim này có thể dùng để chế tạo các chi tiết trong thiết bị thu và phát thanh như làm cuộn dây ăngten bộ cảm biến vv...

CÂU HỎI CHƯƠNG 3

1. Nêu tính chất cơ bản của vật liệu dẫn điện, giải thích cụ thể từng tính chất đó.
2. Trình bày đặc tính chung, phân loại, tính chất cơ học và các ứng dụng của kim loại Đồng, Nhôm, Bạc và Sắt.
3. Trình bày khái niệm và phân loại vật liệu làm điện trở.
4. Trình bày khái niệm và phân loại vật liệu làm tiếp điểm.

CHƯƠNG 4 : VẬT LIỆU DẪN TỪ

Mục tiêu:

Nhận dạng, phân loại chính xác các loại vật liệu dẫn từ dùng trong công nghiệp và dân dụng.

Trình bày được các đặc tính cơ bản của một số loại vật liệu dẫn từ thường dùng.

Sử dụng phù hợp các loại vật liệu dẫn từ theo từng yêu cầu kỹ thuật cụ thể.

Xác định được các nguyên nhân gây ra hư hỏng và có phương án thay thế khả thi các loại vật liệu dẫn từ thường dùng.

4.1. KHÁI NIỆM VÀ TÍNH CHẤT VẬT LIỆU DẪN TỪ

4.1.1. Khái niệm

Ta đã biết nếu xung quanh dòng điện có môi trường vật chất thì cảm ứng từ trong môi trường này khác cảm ứng từ của từ trường trong chân không gây ra bởi cùng dòng điện đó. Vì khi môi trường vật chất đặt trong từ trường của dòng điện

thì trong môi trường đó sẽ xuất hiện thêm từ trường phụ. Ta nói môi trường đó bị nhiễm từ. Môi trường có khả năng nhiễm từ gọi là chất từ hay vật liệu từ.

Để giải thích từ tính của nam châm, Ampe là người đầu tiên nêu lên giả thuyết về các dòng điện kín tồn tại trong lòng nam châm gọi là dòng điện phân tử. Theo Ampe thì từ trường của nam châm chính là từ trường của các dòng điện phân tử trong lòng nam châm đó. Ngày nay ta hiểu dòng điện phân tử chính là do các điện tử chuyển động bên trong nguyên tử, phân tử tạo thành. Có thể dùng khái niệm dòng điện phân tử để giải thích sự nhiễm từ của các chất thuận từ và nghịch từ, còn đối với sự nhiễm từ của các chất sắt từ thì không thể giải thích bằng dòng điện phân tử mà bằng một lý thuyết khác. Tuy nhiên cái chính của giả thuyết Ampe là dòng điện sinh ra từ trường thì vẫn giữ nguyên giá trị.

4.1.2. Tính chất của vật liệu dẫn từ

1. Hệ số từ thẩm μ của vật liệu sắt từ rất lớn

Hệ số từ thẩm lớn nhất μ_{Max} của một số chất ở bảng 6.1.

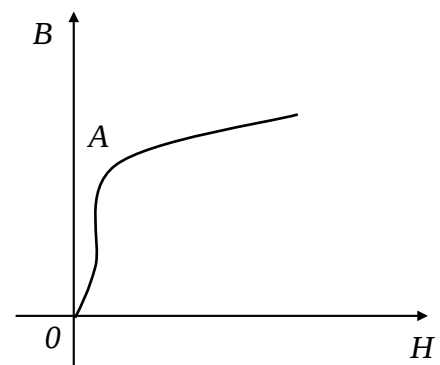
Bảng 6.1

STT	Vật liệu sắt từ	Hệ số μ_{Max}
1	Sắt nguyên chất	280.000
2	Sắt non	8.000
3	Thép Silic kỹ thuật điện	15.000
4	Pecmaloi (78%Ni, 22%Fe)	80.000
5	Siêu hợp kim (79Ni, 15Fe, 5M ₀ , 0,5 Mn)	1.500.000

2. Hệ số từ thẩm μ của vật liệu sắt từ không phải là hằng số

Quá trình từ hoá của vật liệu từ được đặc trưng bằng quan hệ giữa từ cảm B và cường độ từ trường H, $B = f(H)$ gọi là đường cong từ hoá (không phải là đường thẳng). Đường cong từ hoá của tất cả các vật liệu sắt từ gần giống nhau (hình 6.1). Đường cong này là đường cong từ hoá ban đầu (cơ bản).

Ở giai đoạn đầu khi tăng dòng điện từ hoá trong cuộn dây, thì cường độ từ trường H sẽ tăng và cảm ứng từ B cũng tăng theo, quan hệ $B = f(H)$ ở đoạn OA. Tiếp tục tăng H thì B tăng ít hơn: giai đoạn gần bão hoà. Hệ số từ thẩm μ giảm dần. Đến khi cường độ từ trường H đủ lớn thì từ cảm B hầu như không tăng lên nữa: giai đoạn bão hoà, hệ số từ thẩm μ sẽ tiến đến 1.



Hình 6.1 Đường cong từ hoá cơ bản

4.1.3. Các đặc tính của vật liệu dẫn từ

Tại mỗi điểm trong từ trường, hệ số từ thẩm bằng tỷ số giữa cường độ từ cảm B và cường độ từ trường H.

Môi trường là chân không, có các trị số cường độ từ cảm B₀ và từ trường H₀, thì:

$$\mu_0 = \frac{B_0}{H_0} \tag{6.1}$$

μ_0 -hệ số từ thẩm tuyệt đối của chân không, về trị số $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \Omega s/m$. Đơn vị $\Omega s/m$ còn gọi là Henry/mét (H/m).

Trong môi trường khác chân không, ta có:

$$\mu \mu_0 = \frac{B}{H} \text{ hay } B = \mu \mu_0 H \tag{6.2}$$

μ - hệ số từ thẩm tương đối của môi trường từ trường khác chân không, cho biết hệ số từ thẩm tuyệt đối của môi trường so với hệ số từ thẩm của chân không μ_0 là bao nhiêu.

Theo hệ số từ thẩm và từ tính của vật chất, người ta chia ra các chất thuận từ, nghịch từ và dẫn từ.

1. Chất thuận từ: là chất có độ từ thẩm $\mu > 1$ và không phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài. Loại này gồm có oxy, nitơ, oxyt, muối sắt, muối coban, muối niken, kim loại kiềm, nhôm, bạch kim.

khi đã cắt bỏ từ trường ngoài (cho $H = 0$, kim sắt dư dòng điện từ hoá

2. Chất nghịch từ: là chất có độ từ thẩm $\mu < 1$ và không phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài. Loại này gồm có hydro, các khí hiếm, đa số các hợp chất hữu cơ, đồng, kẽm, bạc, vàng, thủy ngân, antimon, gali, ...

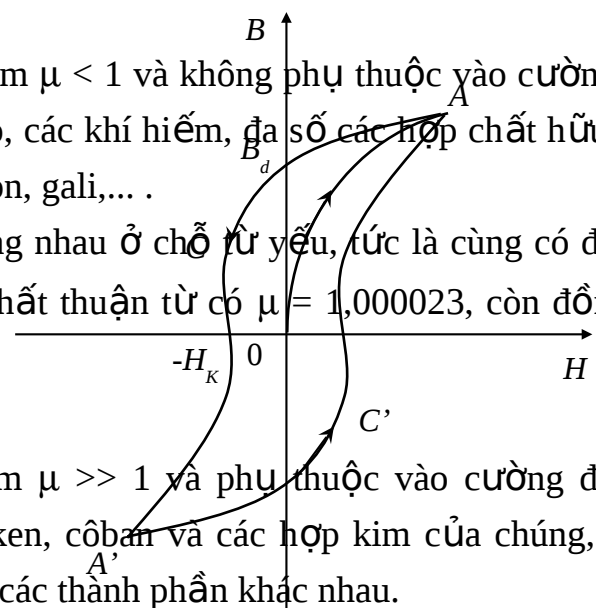
Các chất thuận từ và nghịch từ giống nhau ở chỗ từ yếu, tức là cùng có độ từ thẩm μ sắp sấp bằng 1. Ví dụ nhôm là chất thuận từ có $\mu = 1,000023$, còn đồng là chất nghịch từ có $\mu = 0,999995$.

Vẫn còn giữ từ tính (duy trì một từ trường có từ cảm B).

Tìm chất từ dư được khai sắt từ bằng cách thay đổi chiều và

3. Chất dẫn từ: là chất có độ từ thẩm $\mu \gg 1$ và phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài. Loại này gồm có sắt, niken, coban và các hợp kim của chúng, hợp kim crom-ni-ha-ga-ny-ê-đi-ơ-ni có các thành phần khác nhau.

4. Từ trường ngoài H trong vật liệu sắt từ.



Hình 6.2 Đường cong từ trễ

Đầu tiên khi tăng dòng điện từ hoá trong cuộn dây, từ trường H tăng và từ cảm B cũng tăng theo OA. Sau đó nếu giảm H thì B giảm theo đường ACA'.

Tiếp tục lại tăng H tại điểm A' thì từ cảm B cũng sẽ tăng nhưng theo đường A'C'A. Đường cong ACA'C'A ứng với quá trình từ hoá như trên gọi là chu trình từ trễ (thường gọi là đường cong từ trễ).

Nói một cách khác, khi từ hoá vật liệu sắt từ với cường độ từ trường thay đổi cả trị số và chiều thì từ cảm B trong vật liệu sắt từ luôn biến thiên chậm trễ hơn.

Các kết quả của quá trình từ trễ cần chú ý:

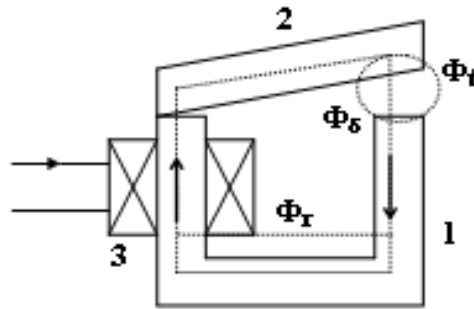
- *Từ dư B_d* : Khi từ trường $H = 0$ thì từ cảm B trong lõi thép vẫn còn trị số B_d gọi là cảm ứng từ dư.
- *Cường độ từ trường khử từ H_K* (còn gọi là lực khử từ): Muốn khử từ dư trong vật liệu sắt từ, $B = 0$ thì phải đổi chiều cường độ từ trường H và tăng đến trị số H_K . Như vậy khi $H = H_K$ thì $B = 0$ từ dư bị khử hoàn toàn.
- *Tổn hao từ trễ*: Trong quá trình làm việc, khi biến thiên liên tục cường độ từ trường H và từ cảm B , vật liệu sắt từ xuất hiện tổn hao năng lượng làm chúng nóng lên. Ta gọi đó là tổn hao từ trễ. Người ta nhận thấy rằng khi vật liệu có từ cảm B_d lớn, lực khử H_K lớn thì tổn hao từ trễ sẽ lớn. Như vậy tổn hao từ trễ tỷ lệ với diện tích đường cong từ trễ.

4.2. MẠCH TỪ VÀ TÍNH TOÁN MẠCH TỪ

4.2.1. Các công thức cơ bản

4.2.1.1. Khái niệm

Các thiết bị điện như rơle, công tắc tơ, khởi động từ, áp tô mát,...đều có bộ phận làm nhiệm vụ biến đổi từ điện năng ra cơ năng. Bộ phận này gồm có cuộn dây và mạch từ gọi chung là cơ cấu điện từ, chia làm hai loại xoay chiều và một chiều. Để nắm được những quy luật điện từ ta xét mạch từ và phương pháp tính toán mạch từ.



Hình minh họa: Kết cấu mạch từ
1. Thân mạch từ; 2. Nắp mạch từ ;3. Cuộn dây

Hình 6.3

Mạch từ được chia làm các phần:

- Thân mạch từ.
- Nắp mạch từ.
- Khe hở không khí phụ δ_p và khe hở không khí chính δ_c
- Khi cho dòng điện chạy vào cuộn dây thì đi qua, từ thông này cũng chia làm ba phần trong cuộn dây có từ thông :
 - a) Từ thông chính ϕ là thành phần qua khe hở không khí gọi là từ thông làm việc ϕ_{lv}
 - b) Từ thông tản ϕ_t gọi là thành phần đi ra ngoài không khí xung quanh
 - c) Từ thông rò là thành phần không đi qua khe hở không khí chính mà khép kín trong không gian giữa lõi và thân mạch từ.

4.2.1.2. Tính toán mạch từ

Tính toán mạch từ thực chất là giải hai bài toán:

- Bài toán thuận: Biết từ thông tính sức từ động

$$F = IW$$

loại này gặp khi thiết kế một cơ cấu điện từ mới.

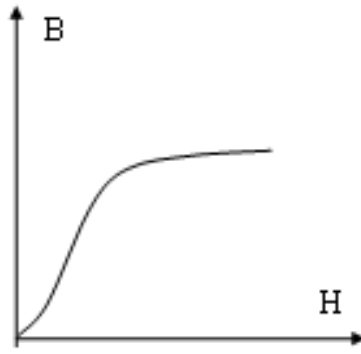
- Bài toán nghịch : biết sức từ động $F = IW$ tính từ thông ϕ (gặp khi kiểm nghiệm các cơ cấu điện từ có sẵn).

Để giải quyết được hai bài toán trên cần phải dựa vào các cơ sở lí thuyết sau:

- Biết đường cong từ hóa của vật liệu sắt từ.
- Nắm vững các định luật cơ bản về mạch từ.
- Biết được từ dẫn khe hở.

4.2.1.3. Các lý thuyết cơ sở

Đường cong từ hóa $B = f(H)$ hình minh họa



Hình minh họa: Đường cong từ hóa

Hình 6.4

Các định luật cơ bản mạch từ:

$$W_{t1} = \frac{I_1 W_1}{2}, W_{t2} = \frac{I_2 W_2}{2}, \Delta W = \frac{I_1 + I_2}{2} (\phi_2 - \phi_1),$$

- Định toàn dòng điện $F=IW$

- Định luật Ohm trong mạch từ: $\phi = \frac{F}{R_M} = \frac{I_2 W_2}{R_M}$

- Định luật Kiéc Khốp 1 cho mạch từ: $\sum \phi_i = 0$

- Định luật Kiéc Khốp 2 cho mạch từ: $\sum \phi_i R_{Mi} = \sum F_i$ (tổng đại số độ sụt từ áp trên một mạch từ kín bằng tổng đại số các sức từ động tác dụng trong mạch từ đó).

Từ dẫn của khe hở

Vì mạch từ có độ từ thẩm (hệ số dẫn từ) lớn hơn không khí nhiều nên từ trở toàn bộ mạch từ hầu như chỉ phụ thuộc vào từ trở khe hở không khí. Trong tính toán thường dùng từ dẫn $G = 1/R_M$

Tương tự như mạch điện thì trong mạch từ dẫn G tỉ lệ thuận với tiết diện mạch từ, tỉ lệ nghịch với chiều dài khe hở không khí.

$$G = \mu_0 \cdot \frac{S}{\delta}$$

G : từ dẫn khe hở không khí

$$\mu_0 = 1,25 \cdot 10^{-8} \frac{wh}{Acm} \text{ hệ số từ thẩm không khí}$$

δ Chiều dài khe hở.

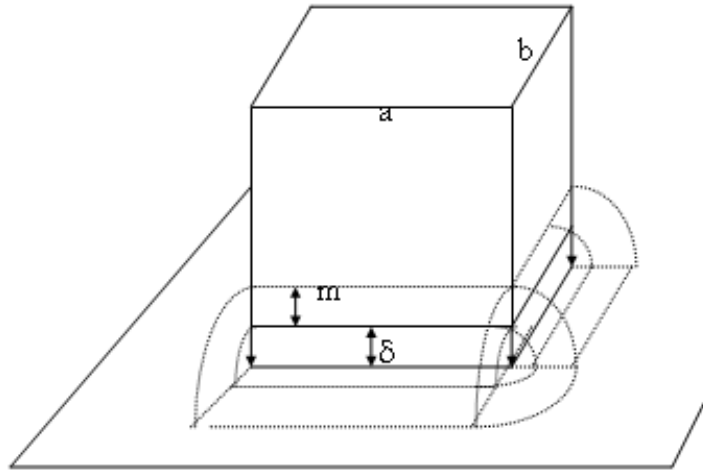
S (cm²): diện tích từ thông đi qua (tiết diện).

Công thức này dùng trên cơ sở giả thiết : từ thông qua khe hở không khí phân bố đều đặn (các đường sức từ song song với nhau), công thức chỉ đúng khi khe hở rất bé, (khe hở lớn thì càng ra mép càng không song song). Thực tế tính từ dẫn rất phức tạp, tùy yêu cầu chính xác mà có các phương pháp tính từ dẫn khác nhau.

4.2. 2. Sơ đồ thay thế của mạch từ và tính từ dẫn khe hở không khí của mạch từ

4.2.2.1 Tính từ dẫn bằng phương pháp phân chia từ trường

Xét ví dụ : Có một cực từ tiết diện chữ đi từ cực từ ngược đặt song song với mặt phẳng. Giả thiết chiều xuống mặt phẳng (hình minh họa).



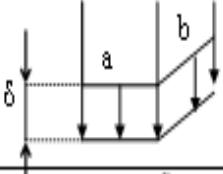
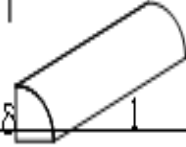
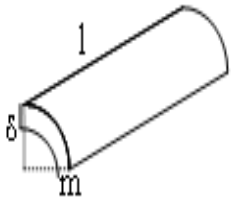
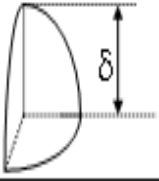
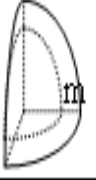
Hình minh họa: Phân chia từ trường

Hình 6.5

Nếu tính từ dẫn khe hở bằng phương pháp phân chia từ trường ta sẽ phân từ trường thành nhiều phần nhỏ sao cho ở mỗi phần từ trường phân bố đều (có các đường sức từ song song với nhau) để áp dụng công thức cơ bản tính từ dẫn đã có ở trên. Ở đây ta chia làm 17 phần gồm :

- +) 1 hình hộp chữ nhật thể tích: $a \cdot b \cdot \delta$
- +) 4 hình 1/4 trụ tròn có đường kính 2 chiều cao a và b
- +) 4 hình trụ 1/4 rỗng có đường kính trong 2δ đường kính ngoài $2\delta + 2\text{mm}$

Bảng 1: Công thức tính từ dẫn của các phần Các công thức tính từ dẫn của các phần

Hình dạng	Tên gọi	Công thức tính từ dẫn
	Hộp chữ nhật	$G = \mu_0 ab/\delta$
	1/4 Hình trụ đặc	$G = 0,52 \cdot \mu_0 l$ (l=a hoặc b)
	1/4 trụ rỗng	-Nếu $\delta > 3m$ thì: $G = \mu_0(1,28 \cdot m \cdot l) / (2\delta + m)$ -Nếu $\delta < 3m$ thì: $G = \mu_0(2l/\pi) \cdot \ln(1+m/\delta)$
	1/8 cầu đặc	$G = \mu_0 0,308\delta$
	1/8 cầu rỗng	$G = \mu_0 \cdot \frac{m}{2}$

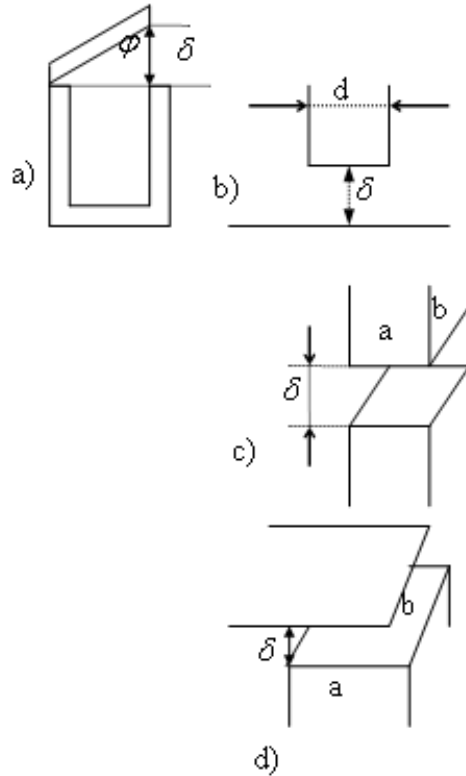
Từ dẫn của từng phần cho theo bảng trên trong là của trụ chữ nhật, tổng các từ dẫn còn lại δ đó từ dẫn chính G là từ dẫn tản. Có $G = \sum_{i=1}^n G_i$

Nếu có hai từ dẫn nối song song thì nối từ dẫn tương đương $G_{td} = G_1 + G_2$.

Nếu nối tiếp thì từ dẫn tương đương là $G_{td} = \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2}$

Ưu điểm : tính bằng phương pháp này có ưu điểm là chính xác, rõ ràng dễ kiểm tra.
Nhược điểm : có nhiều công thức nên chỉ dùng để tính kiểm nghiệm

4.2.2.2. Tính từ dẫn bằng công thức kinh nghiệm (dùng khi tính toán sơ bộ)



Hình minh họa: Một số hình dạng phân bố khe hở

Hình 6.6

a) Từ dẫn khe hở không khí (hình a) Từ dẫn khe hở không khí giữa nắp và lõi tạo thành góc

$$G = K \cdot G_0$$

Với: K: hệ số điều chỉnh

$$K = 2,75 \sqrt[4]{\varphi} \quad (\varphi \text{ tính theo radian})$$

$$G = \mu_0 \cdot \frac{S}{\delta}$$

S :tiết diện lõi [cm²].

δ: độ dài trung bình khe hở không khí (cm).

b) Từ dẫn giữa cực từ tròn với mặt phẳng (hình b)

$$G = \mu_0 \cdot \frac{S}{\delta} + \frac{2,09}{d} \delta$$

c) Từ dẫn giữa hai cực từ chữ nhật (hình c)

$$G = K \cdot \mu_0$$

d) Từ dẫn giữa mặt phẳng và cực từ đặt ở đầu mặt phẳng (hình d)

$$G = K \cdot G_0$$

4.2.3 Mạch từ xoay chiều

Mạch từ xoay chiều khác mạch từ một chiều vì những đặc điểm sau:

a) Trong mạch từ xoay chiều: $i=i(t)$ nên $i = I_m \sin \omega t$ dòng biến thiên có hiện tượng từ trễ, dòng xoáy, dòng điện chạy trong cuộn dây phụ thuộc vào điện kháng của cuộn dây, mà điện kháng phụ thuộc từ dẫn mạch từ nên từ trở toàn mạch từ càng lớn (khe hở không khí càng lớn) thì điện kháng càng bé và dòng điện trong cuộn dây càng lớn. Khi nắp mạch từ mở dòng điện khoảng

$$I = (4 \div 15) \text{Idm}$$

Chú ý: khi đóng điện cơ cấu điện từ, phải kiểm tra nắp xem đóng chưa, nếu nắp mở có thể làm cuộn dây bị cháy.

b) Lực hút điện từ F biến thiên $F=F(t)$ có thời điểm $F=0$ có thời điểm $F=F_{\text{max}}$ dẫn đến mạch từ khi làm việc bị rung, để hạn chế rung người ta đặt vòng ngắn mạch. Từ thông biến thiên làm xuất hiện sức điện động trong vòng ngắn mạch, trong vòng có dòng điện mắc vòng khép kín, làm vòng ngắn mạch nóng lên. Gọi W_{nm} là số vòng ngắn mạch (thường $W_{\text{nm}}=1$). Theo định luật toàn dòng điện có:

$$IW + I_{\text{nm}}W_{\text{nm}} = \Phi$$

c) Trong mạch từ xoay chiều có tổn hao dòng xoáy từ trở làm nóng mạch từ, có thể xem như tổn hao trong vòng ngắn mạch. Nếu gọi P_{xt} là công suất hao tổn do dòng xoáy và từ trở thì có thể biểu diễn dưới dạng tương đương như một vòng ngắn mạch.

$$P_{\text{xt}} = I_{\text{nm}}^2 \cdot r_{\text{nm}}$$

d) Từ dẫn rò quy đổi

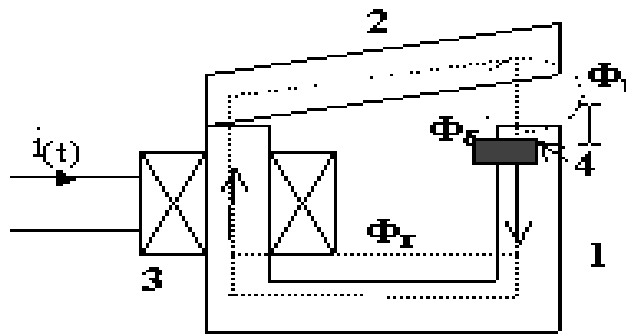
Khác với mạch một chiều vì:

Sức từ động tổng $F = IW$ sức từ động đoạn X là $F_x = IW \frac{x}{l}$

$W_x = W \frac{x}{l}$ từ thông mắc vòng đoạn x là $y_{\text{rx}} = W_x \cdot f_{\text{rx}}$

Cuối cùng có $G_r = \frac{ql}{3}$ là từ dẫn rò trong mạch xoay chiều.

Về phương pháp tính toán mạch từ xoay chiều cũng giống ở mạch từ một chiều nhưng phải lưu ý bốn đặc điểm trên. Ví dụ mạch từ xoay chiều như hình minh họa:



Hình minh họa

Mạch từ xoay chiều

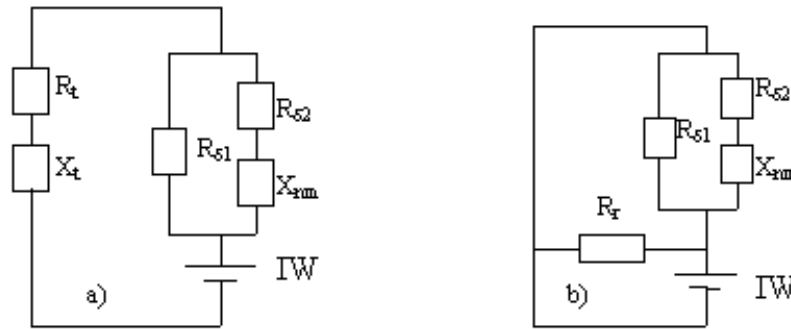
- 1. Thân mạch từ; 2. Nắp mạch từ;
- 3. Cuộn dây; 4. Vòng ngắn mạch

Hình 6.7

Khi vẽ mạch từ đẳng trị phải xét đến tác dụng của vòng ngắn mạch, tổn hao dòng xoáy và từ trở.

- Khi nắp đóng, bỏ qua từ thông rò nhưng phải kể đến từ trở và từ kháng mạch từ nên dạng như hình minh họa a.

- Khi nắp mạch từ mở, có thể bỏ qua từ trở và từ kháng của mạch từ, nhưng phải xét đến từ thông rò cho nên mạch từ đẳng trị có dạng như hình minh họa b.



Hình minh họa: Mạch từ đẳng trị
a) Khi nắp đóng ; b) Khi nắp mở

Hình 6.8

4.3 MỘT SỐ VẬT LIỆU DẪN TỪ THÔNG DỤNG

4.3.1. Vật liệu từ mềm

Vật liệu từ mềm được sử dụng làm mạch từ của các thiết bị và dụng cụ điện có từ trường không đổi hoặc biến đổi.

Vật liệu từ mềm là từ trường khử từ H_K nhỏ (dưới 400 A/m), độ từ thẩm μ lớn và tổn hao từ trễ nhỏ. Vật liệu sắt từ mềm gồm có thép kỹ thuật, thép ít cacbon, thép lá kỹ thuật điện, hợp kim sắt - niken (pecmaloi) và ferit.

a. *Thép kỹ thuật* (gồm cả gang) được dùng làm từ trường trong mạch từ không đổi. Thép kỹ thuật có cường độ từ cảm bão hoà cao (tới 2,2 Tesla), hằng số từ thẩm lớn và cường độ khử từ nhỏ.

b. *Thép lá kỹ thuật điện* là hợp chất sắt-silic (1-4%Si). Silic cải thiện đặc tính từ của sắt kỹ thuật: tăng hằng số từ thẩm, giảm cường độ khử từ, tăng điện trở suất (để giảm dòng điện Fucô hay dòng điện xoáy).

c. *Pecmaloi* là hợp kim sắt - niken (22%Ni), ngoài ra còn có một số tạp chất: Molipden, crôm, silic, nhôm. Pecmaloi có hằng số từ thẩm lớn gấp 10-50 lần so với thép lá kỹ thuật điện, chỉ cần một cường độ từ trường nhỏ vài phần đến vài chục phần trăm A/m, thép đã đạt tới cường độ từ cảm bão hoà.

d. *Ferit* là vật liệu sắt từ gồm có bột oxýt sắt, kẽm và một số nguyên tố khác. Khi chế tạo, hỗn hợp được ép trong khuôn với công suất lớn và nung đến nhiệt độ khoảng 1200°C, thành phẩm sẽ có dạng theo ý muốn. Ferit có điện trở suất rất lớn, thực tế có thể coi gần như không dẫn điện, nên dòng điện xoáy chạy trong ferit rất

nhỏ. Bởi vậy cho phép dùng ferit làm mạch từ của từ trường biến thiên với tần số cao. Ferit niken-kẽm bằng cách nhiệt phân muối, gọi là Oxyfe. Ferit và Oxyfe có hằng số từ thẩm ban đầu lớn, từ dư nhỏ (0,18-0,32 Tesla) và từ trường khử từ nhỏ (8-80 A/m). Chúng được sử dụng rất rộng rãi làm mạch từ của các linh kiện điện tử, khuếch đại từ, máy tính,....

4.3.2. Vật liệu từ cứng

Vật liệu từ cứng được dùng để chế tạo nam châm vĩnh cửu. Đặc điểm của loại này là có từ dư lớn. Thành phần, từ dư và trường khử từ của một số vật liệu từ cứng cho ở bảng 6.2.

Bảng 6.2

Vật liệu từ cứng	Thành phần tạp chất (%) trong sắt							Từ trường khử từ, H_K (A/m)	Cường độ từ cảm dư, B_d (T)
	Wonfram	Al	Cr	Co	Ni	Cu	Si		
Wonfram	6							4800	1
Thép crôm			3					4800	0,9
Thép coban			5	5				7200	0,9
Anni		14			25	5		44000	0,44
Annisi		14			34		1	64000	0,4
Annico		10		12	17	6		40000	0,7
Macnico		8		24	13	3		44000	1,25
Gốm annico								45000	1,1
Ferit bary								130000	0,35

CÂU HỎI CHƯƠNG 4

1. Nêu khái niệm chung về tính chất từ của vật liệu từ tính.
2. Trình bày đặc tính và công dụng của vật liệu từ mềm.
3. Hãy nêu thành phần, tính chất và công dụng của vật liệu từ cứng.

THỰC HÀNH KIỂM NGHIỆM CÁCH ĐIỆN

1 PHÂN NHÓM KIỂM NGHIỆM CÁCH ĐIỆN

Việc kiểm nghiệm cách điện chia làm 3nhóm

1.1. Kiểm nghiệm trong quá trình chế tạo

Được thực hiện trên vật liệu cách điện, hay trên những phần cách điện nhằm mục đích:

- Ngăn ngừa việc đặt vào thiết bị những vật liệu cách điện hoặc phần cách điện do khuyết tật .
- Kiểm tra quy định chế tạo vì cách điện có thể bị kém dokhông tuân thủ đúng quy trình chế tạo .

1.2. Kiểm nghiệm sau quá trình chế tạo

Mục đích là trong thiết bị có khuyết tật nào lớn không ? Thiết bị được chế tạo đúng thiết kế không ? Những thông số của thiết bị có phù hợp với quy trình không ?

1.3. Kiểm nghiệm trong quá trình vận hành

Được thực hiện theo một kế hoạch có hệ thống, gọi là triểm tra bảo dưỡng định kỳ theo kế hoạch. Nó có mục đích là theo dõi. Triểm tra xem cách điện có bị hư hỏng (hoá già , bị ẩm ...) trong quá trình vận hành không .

Tính chất quan trọng của cách điện là độ bền cách điện. Muốn thử độ bền cách điện thì thử bằng cách đánh thủng cách điện. Rõ ràng phương pháp này không thể áp dụng đối với cách điện đã thành phẩm. Vậy phải tìm cách kiểm nghiệm mà không làm hỏng cách điện đó là phương pháp thử nghiệm không phá huỷ bằng cách đo các thông số của cách điện, theo dõi sự biến đổi của chúng đối với điện áp, nhiệt độ tần số,... Những thông số có thể đo bằng phương pháp thử không phá huỷ là dòng điện rò, hệ số tổn hao điện môi, điện áp ngưỡng của ion hoá ... Thông số được đo cho ta kết luận và chất của độ phá huỷ bền cách điện, nhưng không thể kết luận về lượng được .

2. THỬ CÁCH ĐIỆN KHÔNG PHÁ HỦY

Thử thách điện không phá huỷ gồm ba loại như sau:

2.1. Đo tổn hao cách điện và điện trở cách điện

Mục đích: nhằm phát hiện được tình trạng hút ẩm của cách điện .

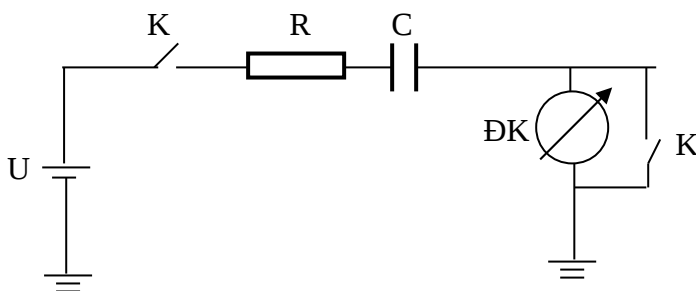
Chú ý: trị số tgδ và R_{cd} phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ và điện áp. Vì vậy các lần đo đều phải tiến hành trong các điều kiện giống nhau .

2.2- Đo điện trở cách điện bằng điện áp một chiều .

Sau khi đặt điện áp lên cách điện, thì ban đầu cách điện như là một tụ điện tích điện là LC, ở đó R là điện trở phụ nối tiếp cách điện C như hình 7.1

Điện dung của cách điện thường nhỏ(10⁻⁷ – 10⁻⁸ F). Nếu R=4 Ω, thì RC có giá trị 10⁻⁴ – 10⁻⁵ ms.

Việc chọn Mega ôm kế có điện áp bao nhiêu tuy thuộc vào điện áp định mức của thiết bị thử.



Hình 7.1. Đo điện trở cách điện bằng điện áp một chiều

Điện áp định mức của thiết bị , V	Điện áp của Mêgôm kế, V
< 100	500
100-380	1000
> 1000	2500

Tiêu chuẩn điện trở tùy thuộc từng loại sản phẩm:

Theo quy trình TBĐ thì $U_{dm} < 1000V$ thì $R_{cd} \geq 0,5M \Omega$

$U_{dm} > 1000V$ thì R_{cd} tùy thuộc từng loại TBĐ

Thông thường để chọn điện trở cách điện, người ta đọc trị số đo được ở thời điểm 60". Với thiết bị quan trọng, ngoài trị số 60", người ta còn đọc trị số đo được ở thời điểm 15". Tỷ số của hai trị số này gọi là hệ số hấp thụ

$$K_{ht} = R_{60}''/R_{15}''.$$

Nếu $K_{ht} \geq 1,3$ thì cách điện của TB còn tốt.

Nếu $K_{ht} < 1,3$ thì cách điện của TB bị ẩm cần phải sấy lại, hoặc thay thế cục.

Phương pháp cũng đo tương tự như ở trên, người ta đọc trị số đo được ở thời điểm 15" và 10 phút. Tỷ số của hai trị số này gọi là hệ số hấp thụ

$$K_{ht} = R_{10}'/R_{15}''.$$

Nếu ≥ 4 thì cách điện của TB còn tốt .

Nếu ≥ 8 thì cách điện của TB còn rất tốt .

2.3- Đo tổn hao điện môi tgđ

Đo tgđ bằng cầu đo tgđ , cầu đo dựa trên nguyên lý cầu Schering (tham khảo thông tài liệu).

Điện áp tăng làm cho công suất tổn hao điện môi tgđ tăng (gọi tắt tổn hao điện môi tgđ tăng $P = U^2 \cdot C \cdot \omega \cdot Tg \delta$)

Trong trường hợp cách điện có bọt khí thì sẽ có điểm ghi rõ rệt sau điểm này biểu thị sự tăng vọt đột biến của tgđ, đó là hậu quả của sự tổn hao ion hoá trong không khí. Điện áp mà xảy ra sự tăng vọt của tgđ gọi là điện áp ngưỡng của ion hoá U_{ion} .

2.4.Thử bằng điện áp

Mục đích : Để phát hiện hư hỏng cục bộ

Mấy vấn đề cần chú ý :

- Chỉ thử một lần với toàn phần trị số điện áp thử quy định (100 % U thử quy định) Khi kiểm nghiệm cách điện theo bảo dưỡng định kỳ, thì chỉ được thử 50 -80 % trị số điện áp thử quy định.Với TBĐ quan trọng, thử theo quy định của nhà chế tạo

- Khi thử với điện áp tần số công nghiệp , $U_t = (2 \div 3) U_{dm}$ thời gian duy trì là 1 phút. Với TBĐ quan trọng, thử theo quy định của nhà chế tạo .

-Thử bằng điện áp 1 chiều áp dụng cho máy điện 1chiều, MFĐ, cáp điện,thời gian thử là 1 phút, trị số điện áp thử theo quy định của nhà chế tạo

-Thử bằng điện áp xung (xác định khả năng chịu đựng của TB với quá điện áp khi quyển) mức cách điện theo dự thảo của IEC-71/1972.

3. KIỂM NGHIỆM CÁCH ĐIỆN CỦA MÁY BIẾN ÁP

3.1. Kiểm nghiệm cách điện trong quá trình chế tạo.

- Cần kiểm nghiệm bằng đo lường hoặc ít nhất phải kiểm tra bằng mắt thật kỹ vật cách điện như: nệm, ống ...

- Đo R_{cd} và tg δ để kiểm tra chất lượng của việc sấy chân không.

- Thử ngắn mạch giữa các vòng dây bằng điện áp xung hoặc bằng điện áp tần số cao trong vài giây .

3.2. Kiểm nghiệm trên máy mới chế tạo

Thử cách điện bằng điện áp tần số công nghiệp trong thời gian một phút. Điện áp đặt lên cuộn dây được cách điện với các cuộn dây khác được tiếp đất với lõi thép và với thùng máy biến áp. Điện áp thử được quy định trong tiêu chuẩn.

Để đề phòng sự đánh thủng có thể xảy ra trong khi thử, người ta nối giữa cuộn dây được thử với một cái phóng điện có khả năng phóng điện nhỏ.

Trong quá trình thử, không được có tiếng kêu lách cách, không có khói bốc lên. Tiêu chuẩn quốc tế gọi việc thử này là thử với nguồn điện áp ngoài.

3.3. Kiểm nghiệm cách điện MBA trong quá trình vận hành

- Việc kiểm nghiệm được tiến hành theo kế hoạch bảo dưỡng định kỳ khoảng 2-5 năm một lần.

- Để có thể dễ dàng so sánh những số liệu đo được trong mỗi lần kiểm nghiệm. Thì ngay sau mỗi lần lắp đặt MBA mới ta phải lấy mẫu dầu của nó và kiểm nghiệm kỹ.

- Trước mỗi lần kiểm nghiệm định kỳ, ta lại phải lấy mẫu dầu MBA được thử. Nếu dầu giảm sút về phẩm chất (kinh nghiệm thực tế cho thấy, nếu mẫu dầu kiểm nghiệm lần sau thấp dưới 70% kết quả thí nghiệm so với lần trước thì phải lọc lại và đưa vào chế độ theo dõi đặc biệt) sau đó mới tiến hành kiểm nghiệm với nội dung sau

- Đo điện trở cách điện

Với Megaôm kế ít nhất là 2500V.

Điện trở cách điện R_{60} theo quy định của nhà chế tạo. $R = f(T^{\circ}C)$.

- Khảo sát sự thấm thấu (đo hệ số hấp thụ: K_{ht})

$$K_{ht} = R_{60} / R_{15}$$

Cách điện càng hút ẩm thì K_{ht} càng bé, ở nhiệt độ bình thường $K_{ht} > = 1,3$

($K_{ht} = f(T^{\circ}C)$)

Ngoài ra đánh giá tình trạng hút ẩm của cách điện, cần đo điện dung ở hai tần số khác nhau, cụ thể ở tần số 2Hz và 50Hz được ký hiệu là C2 và C50 đo tần số có ảnh hưởng rõ rệt đến trị số của điện dung, nên C2 và C50 sẽ khác nhau nhiều. Cách điện càng hút ẩm thì C2/C50 càng lớn, nếu $C2/C50 > 1.3$ thì điện bị ẩm trầm trọng .

- Thử bằng điện áp tần số công nghiệp hoặc điện áp một chiều

Thử bằng điện áp tần số công nghiệp thì $U_t = < 70\% U_t$ đối với máy mới chế tạo.

Thử bằng điện áp một chiều theo quy định của nhà chế tạo, thường được tiến hành trước khi thử điện áp tần số công nghiệp, và trong quá trình thử thường kết hợp với đo dòng rò nhằm xác định độ ẩm của cách điện.

- Đo tổn hao điện môi tg δ

Nhằm xác định mức độ ẩm của cách điện

Tiến hành các phép đo : +) CA – HA + đất .

+) HA – CA + đất .

+) CA + HA - đất .

Với cuộn dây có $U_{dm} = < 35KV$ không cần đo tgđ vì cách điện cuộn dây điện áp thấp thường rất tốt.

4. KIỂM NGHIỆM CÁCH ĐIỆN CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN

4.1. Kiểm nghiệm trong quá trình chế tạo:

- Đo R_{cd} .
- Đo tgđ
- Thử bằng điện áp U_{\sim}

4.2. Kiểm nghiệm trên máy mới chế tạo

- Đo điện trở cách điện và mức độ thẩm thấu .
- Đo tgđ và đồng thời đo điện áp ion hoá : U_{ion}
- Thử bằng điện áp tần số công nghiệp: U_{\sim} .
- Đo lại R_{cd} nhằm kiểm tra hư hỏng cục bộ nếu có trong quá trình thử bằng điện áp.

4.3. Kiểm nghiệm cách điện MFĐ trong quá trình vận hành .

Trong quá trình vận hành, cách điện của máy phát điện thường bị già hoá, nguyên nhân chủ yếu là do nhiệt độ, rung động, thời gian...

- Đo điện trở cách điện và mức độ thẩm thấu : R_{cd} , K_{ht}
- Đo tgđ và đồng thời đo điện áp ion hóa : $Tgđ$ và U_{ion}
- Thử bằng điện áp một chiều và điện áp tần số công nghiệp: U_{-} , U_{\sim}
- Đo lại R_{cd} nhằm kiểm tra hư hỏng cục bộ nếu có trong quá trình thử bằng điện áp.

5. KIỂM NGHIỆM CÁCH ĐIỆN MÁY CẮT

Cách điện chính của máy cắt gồm :

- Cách điện so với đất của máy cắt .
- Cách điện giữa tiếp điểm cố định và tiếp điểm di động khi máy cắt ở vị trí cắt.

Kiểm nghiệm cách điện gồm:

- Đo R_{cd} (2 mục trên)
- Đo tgđ

6. KIỂM NGHIỆM CÁCH ĐIỆN CỦA KHÍ CỤ ĐIỆN HẠ THẾ

- Với thiết bị có $U_{dm} < 1000V$ thì chỉ cần đo R_{60} , thì $R_{cd} > = 0,5M \Omega$
- Với thiết bị mới lắp đặt trong quá trình vận hành nếu bị sự, cần thử bằng điện áp xoay chiều tăng cao, với $U_t = 2kV$ trong thời gian một phút. Hoặc nếu do điện trở cách điện bằng Megaôm kế loại 2500V thì khởi cần thử bằng điện áp, (thực tế thì quy định thứ U_{\sim} là $U_t = 1KV$, trong thời gian 1 phút)

CÂU HỎI THỰC HÀNH

1. Hãy phân loại nhóm kiểm nghiệm cách điện?
2. Trình bày nhóm kiểm nghiệm không cách điện?
3. Trình bày cách kiểm nghiệm cách điện của Máy biến áp?
4. Trình bày cách kiểm nghiệm cách điện của Máy phát điện?

5. Trình bày cách kiểm nghiệm cách điện của Máy cắt điện?

IV. Điều kiện thực hiện giáo trình:

Vật liệu:

- + Dây dẫn điện, dây điện từ các loại.
- + Giấy, gen, sứ, thủy tinh... cách điện các loại.
- + Mạch từ của các loại máy biến áp gia dụng.
- + Chì hàn, nhựa thông, giấy nhám các loại.
- + Hóa chất dùng để tẩy sấy cuộn dây máy điện (keo, vec-ni cách điện...).

Dụng cụ và trang thiết bị:

- + Bộ đồ nghề điện, cơ khí cầm tay.
- + Tủ sấy điều khiển được nhiệt độ.
- + Các mô hình dàn trải thiết bị, hoạt động được:
- + Thiết bị cấp nhiệt: Nồi cơm điện, bàn ủi, máy nước nóng, lò nướng...
- + Tủ lạnh, máy điều hoà nhiệt độ...
- + Thiết bị gia dụng: Quạt điện, máy bơm nước, survolteur, Ổn áp tự động...

- + VOM, Mêgômmet.
- + Thiết bị thử độ bền cách điện.
- + Biến áp tự ngẫu: điều chỉnh tinh, điện áp vào 220V, điện áp ra (0 - 400) V (điều chỉnh được).

Nguồn lực khác:

- + PC, phần mềm chuyên dùng.
- + Projector, overhead.
- + Máy chiếu vật thể ba chiều.
- + Video và các bản vẽ, tranh mô tả thiết bị.

V. Phương pháp và nội dung đánh giá:

Có thể áp dụng hình thức kiểm tra viết hoặc kiểm tra trắc nghiệm. Các nội dung trọng tâm cần kiểm tra là:

Nhận dạng được các loại vật liệu.

Một số đặc tính cơ bản và phạm vi ứng dụng của từng loại vật liệu.

VI. Hướng dẫn giáo trình :

5. Phạm vi áp dụng giáo trình:

Chương trình môn học này được sử dụng để giảng dạy cho trình độ Trung cấp nghề và Cao đẳng nghề.

6. Hướng dẫn một số điểm chính về phương pháp giảng dạy theo giáo trình:

Trước khi giảng dạy, giáo viên cần căn cứ vào nội dung của từng bài học để chuẩn bị đầy đủ các điều kiện cần thiết nhằm đảm bảo chất lượng giảng dạy.

Nên áp dụng phương pháp đàm thoại để Người học ghi nhớ kỹ hơn.

Nên bố trí thời gian giải bài tập, nhận dạng các loại vật liệu, hướng dẫn và sửa sai tại chỗ cho Người học.

Cần lưu ý kỹ về các đặc tính của từng nhóm vật liệu.

7. Những trọng tâm cần chú ý:

Phân loại vật liệu, vai trò của vật liệu.

Đặc tính cơ bản và phạm vi ứng dụng của từng nhóm vật liệu.

Tính chọn một số vật liệu trong trường hợp đơn giản.

Tài liệu cần tham khảo:

- Công nghệ chế tạo và tính toán sửa chữa máy điện 1, 2, 3 - Nguyễn Trọng Thắng, NXB Giáo Dục, 1995.

- Máy điện 1, 2 - Trần Khánh Hà, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1997.

- Quấn dây, sử dụng và sửa chữa động cơ điện xoay chiều và một chiều thông dụng - Nguyễn Xuân Phú (chủ biên) - NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1997.

- Kỹ Thuật Điện - Đặng Văn Đào – Lê Văn Doanh, NXB KH&KT, Hà Nội 1997.

- Thực hành kỹ thuật cơ điện lạnh - Trần Thế San, Nguyễn Đức Phấn - NXB Đà Nẵng, 2001.

- Khí cụ điện - Kết cấu, sử dụng và sửa chữa - Nguyễn Xuân Phú, NXB Khoa học và Kỹ thuật , 1998.

- Vật liệu điện - Nguyễn Xuân Phú, NXB Khoa học và Kỹ thuật , 1998.

- Giáo trình Vật liệu điện – Nguyễn Đình Thắng, NXB Giáo dục (Tái bản lần 3), 2007.

**CÁC TIÊU CHÍ VÀ TIÊU CHUẨN ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG
GIÁO TRÌNH DẠY NGHỀ TRÌNH ĐỘ TRUNG CẤP NGHỀ, CAO ĐẲNG NGHỀ**

Số TT	Các tiêu chí đánh giá	Mức độ đánh giá			Ghi chú
		<i>Đạt yêu cầu đề nghị ban hành ngay</i>	<i>Đạt yêu cầu nhưng phải chỉnh sửa</i>	<i>Chưa đạt yêu cầu phải xây dựng lại</i>	
	VỀ giáo trình				
1	<i>Có kết cấu nội dung theo đúng mẫu định dạng</i>				
2*	<i>Có các kiến thức, kỹ năng trong các hoạt động giảng dạy lý thuyết và</i>				

Số TT	Các tiêu chí đánh giá	Mức độ đánh giá			Ghi chú
		Đạt yêu cầu đề nghị ban hành ngay	Đạt yêu cầu nhưng phải chỉnh sửa	Chưa đạt yêu cầu phải xây dựng lại	
	<i>thực hành chuẩn xác</i>				
3	Có đầy đủ các nội dung theo đề cương chi tiết của môn học/mô đun				
4*	Các nội dung đánh giá đã bao gồm được kiến thức, kỹ năng tổng hợp của bài/chương, của môn học/mô đun				
5	Các hình vẽ rõ ràng, chính xác và mô tả được nội dung của kiến thức, kỹ năng				
6	Cân đối và phù hợp giữa kênh hình và kênh chữ				

Ghi chú:

1. Các tiêu chí có đánh dấu * có ý nghĩa rất quan trọng đối với chất lượng giáo trình đã biên soạn.
2. Các mức độ đánh giá:
 - Đạt yêu cầu: Không phải sửa chữa gì hoặc chỉ cần sửa chữa vài lỗi nhỏ về biên tập.
 - Đạt yêu cầu nhưng phải chỉnh sửa: Phải sửa chữa một số lỗi về nội dung chuyên môn và biên tập, sau đó trình chủ tịch, phó chủ tịch và thư ký hội đồng xem xét, nếu thông qua được thì đạt yêu cầu đề nghị phê duyệt.
 - Không đạt yêu cầu: Có nhiều lỗi về nội dung chuyên môn và biên tập, phải biên soạn lại để trình Hội đồng thẩm định lại.
 - Ý kiến nhận xét khác.

Ý KIẾN NHẬN XÉT CỦA DOANH NGHIỆP
