PHẠM VĂN CHỚI
BÙI TÍN HỮU
NGUYỄN TIẾN TÔN

KHÍ CỤ ĐIỆN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC KỸ THUẬT

PHẠM VĂN CHỚI, BÙI TÍN HỮU, NGUYỄN TIẾN TÔN

KHÍ CỤ ĐIỆN

(In lần thứ 3, có sửa chữa và bổ sung)

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI – 2006

LỜI NÓI ĐẦU

"Khí cụ điện" là giáo trình dùng cho sinh viên của ngành hệ thống điện, tự động hóa, thiết bị điện - điện tử thuộc khoa Điện trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Nó cũng có thể làm tài liệu tham thảo cho sinh viên các trường kỹ thuật, các kỹ sư, kỹ thuật viên công tác trong các lĩnh vực liên quan đến nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, vận hành, bảo dưỡng, sửa chữa các loại khí cụ điện.

Nội dung chia cuốn sách bao gồm 18 chương, được *chia làm ba phần chính:*

Phần I: Cơ sở lý thuyết khí cụ điện;

Phần II: Khí cụ điện hạ áp;

Phần III: Khí cụ điện cao áp.

Giáo trình dược phân công biên soạn như sau:

T.S. Phạm Văn Chới chủ biên và biên soạn các chương 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18.

TS. Bùi Tín Hữu biên soạn các chương 7, 9, 10.

KS. Nguyễn Tiến Tôn biên soạn chương 8.

Các tác giả chân thành cảm ơn bạn bè, đồng nghiệp đã quan tâm, *động viên trong việc biên soạn cuốn sách này và rất mong nhận được nhiều nhận xét, góp ý của bạn đọc.*

Địa chỉ liên hệ: Bộ môn Thiết bị điện - Điện tử, trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Các tác giả

MỤC LỤC

Lời nói đầu 3
KHÁI NIỆM CHUNG VỀ KHÍ CỤ ĐIỆN (KCĐ) 7

PHẦN I: **CƠ SỞ LÝ THUYẾT KCĐ**

CHƯƠNG 1. NAM CHÂM ĐIỆN (NCĐ)

1.1. Đại cương về NCĐ 12
1.2. Từ dẫn của khe hở không khí 15
1.3. Mạch từ một chiều 23
1.4. Mạch từ xoay chiều 34
1.5. Cuộn dây của NCĐ 37
1.6. Lực hút điện từ của NCĐ một chiều 44
1.7. Lực hút điện từ của NCĐ xoay chiều 49
1.8. Đặc tính động của NCĐ 52
1.9. Phương pháp tính toán NCĐ 61
1.10. Ví dụ tính toán NCĐ 62
1.11. Mạch từ có nam châm vĩnh cửu 66
1.12. Cơ cấu điện từ phân cực 69

CHƯƠNG 2. SỰ PHÁT NÓNG CỦA KHÍ CỤ ĐIỆN

2.1. Khái niệm chung 73
2.2. Các dạng tổn hao năng lượng 74
2.3. Các phương pháp trao đổi nhiệt 78
2.4. Tính toán nhiệt ở chế độ xác lập 83
2.5. Sự phát nóng của KCĐ ở chế độ quá độ 88
2.6. Quá trình phát nóng khi ngắn mạch 92
2.7. Các phương pháp xác định nhiệt độ bằng thực nghiệm 94
2.8. Ví dụ về tính toán nhiệt 96

CHƯƠNG 3. LỰC ĐIỆN ĐỘNG (LĐĐ) TRONG KHÍ CỤ ĐIỆN

3.1. Các phương pháp tính LĐĐ 100
3.2. Tính toán LĐĐ ở các trường hợp thường gặp 104
3.3. Lực điện động ở dòng điện xoay chiều 111
3.4. Ví dụ tính toán LĐĐ 116

CHƯƠNG 4. HỒ QUANG ĐIỆN (HQĐ)
4.1. Khái niệm chung vb HQĐ 117
4.2. Hồ quang điện một chiều 121
4.3. Hồ quang điện xoay chiều 125
4.4. Các biện pháp dập hồ quang 129

CHƯƠNG 5. TIẾP XÚC ĐIỆN
5.1. Khái niệm chung về tiếp xúc điện 135
5.2. Điện trở tiếp xúc 136
5.3. Các chế độ làm việc của tiếp điểm 140
5.4. Vật liệu tiếp điểm 144
5.5. Kết cấu tiếp điểm 146

CHƯƠNG 6. CÁCH ĐIỆN TRONG KHÍ CỤ ĐIỆN
6.1. Khái niệm chung 151
6.2. Các yếu tố ảnh hưởng tới cách điện 152
6.3. Điện áp thử nghiệm của KCĐ 154
6.4. Khoảng cách cách điện 156
6.5. Kiểm tra cách điện ở KCĐ cao áp 158

PHẦN II. **KHÍ CỤ ĐIỆN HẠ ÁP**
CHƯƠNG 7. KHÍ CỤ ĐIỆN BẢO VỆ VÀ PHÂN PHỐI
7.1. Cầu chì 161
7.2. Máy cắt hạ áp 172

CHƯƠNG 8. RƠLE
8.1. Khái niệm chung 198
8.2. Những đặc tính và tham số cơ bản của rơle 201
8.3. Rơle điện từ 205
8.4. Rơle trung gian 207
8.5. Rơle điều khiển 217
8.6. Rơle tín hiệu 221
8.7. Rơle dòng điện 223
8.8. Rơle điện áp 233
8.9. Rơle cảm ứng 238
8.10. Rơle công suất 245
8.11. Rơle công suất cảm ứng điện động 247

8.12. Rơle tần số 250
8.18. Rơle tổng trở 251
8.14. Rơle từ điện 251
8.15. Rơle điện động 255
8.16. Rơle phân cực 259
8.17. Rơle nhiệt 264
8.18. Rơle thời gian 279
8.19. Rơle tốc độ 300
8.20. Rơle mức chất lỏng 302
8.21. Rơle kỹ thuật số 305

CHƯƠNG 9. CÁC KHÍ CỤ ĐIỆN ĐIỀU KHIỂN BẰNG TAY
9.1. Cầu dao 328
9.2. Công tắc 331
9.3. Các bộ khống chế và điều khiển 336
9.4. Điện trở và biến trở 342

CHƯƠNG 10. CÔNG TẮC TƠ VÀ KHỞI ĐỘNG TỪ
10.1. Công tắc tơ 349
10.2. Khởi động từ 361
10.3. Các số liệu về công tắc tơ và khởi động từ 367

CHƯƠNG 11. KHUẾCH ĐẠI TỪ (KĐT)
11.1. Khái niệm chung về KĐT 371
11.2. Khuếch đại từ đơn 373
11.3. Khuếch đại từ kép 375

CHƯƠNG 12. THIẾT BỊ ỔN ÁP ĐIỆN XOAY CHIỀU
12.1. Khái niệm chung 377
12.2. Ổn áp sắt từ 378
12.3. Ổn áp kiểu biến áp tự ngẫu 379
12.4. Ổn áp kiểu bù 383

CHƯƠNG 13. CƠ CẤU ĐIỆN TỪ CHẤP HÀNH
13.1. Khái niệm chung 386
13.2. Khớp ly hợp điện từ 386
13.3. Cần cẩu điện từ 391

13.4. Bàn gá từ 392
18.5. Phân ly điện từ 392
18.6. Van điện từ 392
13.7. Phanh điện từ 393

CHƯƠNG 14. THIẾT BỊ CẤP NGUỒN DỰ PHÒNG
14.1. Thiết bị cấp nguồn liên tục UPS 395
14.2. Thiết bị tự động đổi nguồn ATS 396

PHẦN III. **KHÍ CỤ ĐIỆN CAO ÁP**
CHƯƠNG 15. MÁY CẮT ĐIỆN CAO ÁP
15.1. Khái niệm chung 405
15.2. Máy cắt dầu 407
15.3. Máy cắt ít dầu 409
15.4. Máy cắt không khí nén 411
15.5. Máy cắt khí SF_6 416
15.6. Máy cắt chân không 420
15.7. Máy cắt tự sinh khí 426
15.8. Máy cắt điện từ 427
15.9. Nguyên lý thao tác của máy cắt 428

CHƯƠNG 16. DAO CÁCH LY, DAO NGẮN MẠCH, THIẾT BỊ CHỐNG SÉT, KHÁNG ĐIỆN
16.1. Dao cách ly 431
16.2. Dao ngắn mạch 435
16.3. Thiết bị chống sét 437
16.4. Kháng điện 441

CHƯƠNG 17. MÁY BIẾN DÒNG ĐIỆN VÀ MÁY BIẾN ĐIỆN ÁP
17.1. Máy biến dòng điện (BI) 445
17.2. Máy biến điện áp (BU) 454
17.3. Các số liệu của một số loại khí cụ điện cao áp 463

CHƯƠNG 18. THIẾT BỊ HỢP BỘ VÀ CẤP BẢO VỆ IP
18.1. Thiết bị hợp bộ 476
18.2. Cấp bảo vệ IP 481
Tài liệu tham khảo 483

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ KHÍ CỤ ĐIỆN

Khí cụ điện (KCĐ) là thiết bị điện dùng để điều khiển, kiểm tra, tự động điều chỉnh, khống chế các đối tượng điện cũng như không điện và bảo vệ chúng trong trường hợp sự cố.

Khí cụ điện có rất nhiều chủng loại với chức năng, nguyên lý làm việc và kích cỡ khác nhau, được dùng rộng rãi trong mọi lĩnh vực của cuộc sống.

Trong phạm vi của giáo trình này, các vấn đề được đề cập đến là cơ sở lý thuyết, nguyên lý làm việc, kết cấu và đặc điểm của các loại KCĐ dùng trong ngành điện và trong công nghiệp.

Khí cụ điện thường được phân loại theo chức năng, theo nguyên lý và môi trường làm việc, cũng như theo điện áp.

- *Theo chức năng*, KCĐ được phân thành các nhóm chính sau:

1- Nhóm KCĐ đóng cắt: Chức năng chính của nhóm này là đóng cắt tự động hoặc bằng tay mạch điện ở các chế độ làm việc khác nhau. Các KCĐ đóng cắt gồm cầu dao, dao cách ly, dao phụ tải, máy cắt tự động (áp tô mát), máy cắt mạch, cầu chì, các bộ chuyển đổi nguồn. Dao cách ly dùng để cắt mạch khi không có dòng điện và đóng cắt dòng điện không tải của máy biến áp và đường dây. Dao phụ tải dùng để đóng cắt mạch điện khi có tải. Còn cầu chì, máy cắt dùng để tự động cắt mạch điện khi bị ngắn mạch.

Đặc điểm của nhóm KCĐ đóng cắt là tần số thao tác thấp (thỉnh thoảng mới phải thao tác), do đó tuổi thọ của chúng thường không cao (đến hàng chục ngàn lần đóng cắt).

2- Nhóm KCĐ hạn chế dòng điện, điện áp: Nhóm này có chức năng hạn chế dòng điện, điện áp trong mạch không tăng quá cao khi bị sự cố. Kháng điện dùng để hạn chế dòng ngắn mạch, còn van chống sét dùng để hạn chế điện áp.

3- Nhóm KCĐ mở máy, điều khiển: Nhóm này gồm các loại KCĐ như các bộ mở máy, khống chế, điện trở mở máy, công tắc tơ, khởi động từ v.v.. Đặc điểm của nhóm này là tần số thao tác cao, có thể tới 1500 lần/giờ, vì vậy tuổi thọ của nó có thể tới hàng triệu lần đóng cắt.

4- Nhóm KCĐ kiểm tra, theo dõi: Nhóm này có chức năng kiểm tra, theo dõi sự làm việc của các đối tượng và biến đổi các tín hiệu không điện thành tín hiệu điện. Các KCĐ thuộc nhóm này gồm các loại rơle, các bộ cảm biến... Đặc điểm của nhóm KCĐ này là công suất thấp, thường được nối mạch ở thứ cấp để biến đổi, truyền tín hiệu.

5- Nhóm KCĐ tự động điều chỉnh, khống chế, duy trì chế độ làm việc và các tham số của đối tượng như các bộ ổn định điện áp, ổn định tốc độ, ổn định nhiệt độ...

6- Nhóm KCĐ biến đổi dòng điện, điện áp gồm máy biến dòng điện và máy biến điện áp. Chúng có chức năng biến đổi dòng điện lớn, điện áp cao thành dòng điện và điện áp có trị số thích hợp, an toàn cho việc đo lường, điều khiển, bảo vệ.

- *Theo nguyên lý làm việc*, KCĐ được chia theo các nhóm với nguyên lý điện cơ, điện từ, từ điện, điện động, nhiệt, có tiếp xúc và không tiếp xúc.

- *Theo nguồn điện*, ta có KCĐ một chiều và KCĐ xoay chiều. Theo độ lớn của điện áp làm việc, KCĐ điện chia thành KCĐ hạ áp (có điện áp đến 1000 V) và KCĐ cao áp (điện áp từ 1000 V trở lên).

Trong nhóm KCĐ cao áp, người ta lại chia thành ba nhóm: KCĐ trung áp có điện áp đến 36 kV, KCĐ cao áp có điện áp từ 36 đến 400 kV và KCĐ siêu cao áp có điện áp từ 400 kV trở lên.

- *Theo điều kiện môi trường*, có các loại KCĐ lắp đặt trong nhà, KCĐ lắp đặt ngoài trời, KCĐ làm việc trong môi trường dễ cháy nổ...

Việc phân loại KCĐ chỉ là tương đối, không có ranh giới rõ ràng. Ví dụ như máy biến áp điện lực và máy biến điện áp có nguyên lý làm việc hoàn toàn như nhau, song máy biến áp điện lực lại là máy điện, còn máy biến điện áp lại là KCĐ. Với máy biến áp điện lực, các chỉ tiêu về năng lượng, hiệu suất, tổn hao được quan tâm đặc biệt; còn ở máy biến điện áp, độ chính xác mới là đại lượng cần quan tâm. Vì vậy trong thiết kế và tính toán các thông số về từ cảm, mật độ dòng điện của máy biến điện áp thường lấy thấp hơn nhiều so với máy biến áp điện lực.

Sự phân biệt giữa máy điện và KCĐ còn chưa rõ ràng, ví dụ như trong một máy điện có thể có vài KCĐ, và ngược lại trong một KCĐ cũng có vài loại máy điện. Ở máy biến áp điện lực có các KCĐ là bộ điều chỉnh điện áp, rơle nhiệt độ, rơle hơi..., còn ở máy cắt điện có các máy điện như động cơ điện làm nhiệm vụ tích lũy cơ năng cho thao tác, các máy biến áp công suất nhỏ cấp nguồn nuôi cho mạch điều khiển...

Tùy theo chức năng, các KCĐ có các yêu cầu cụ thể, riêng biệt, nhưng các yêu cầu cơ bản nhất vẫn là các yêu cầu về kỹ thuật và các yêu cầu về kinh tế.