

Lời nói ®Çu

Trong sự nghiệp công nghiệp hoá, hiện đại hoá đất nước cần phải tiến hành điện khí hoá, cơ khí hoá và tự động hoá. Mạng điện nông nghiệp gắn liền với quá trình điện khí hoá nông thôn - là một mắt xích của công cuộc điện khí hoá toàn quốc, đáp ứng yêu cầu của phát triển sản xuất đem lại ánh sáng tinh thần cho nhân dân, rút ngắn khoảng cách giữa nông thôn và thành phố.

Để góp phần đáp ứng yêu cầu phát triển mạng lưới điện ở nông thôn, chúng tôi biên soạn cuốn " Mạng điện nông nghiệp". Nội dung cuốn sách dựa theo chương trình đã được Bộ Giáo dục và Đào tạo phê duyệt. Nó được dùng làm tài liệu học tập cho sinh viên ngành Điện khí hoá nông nghiệp. Đồng thời có thể làm tài liệu tham khảo cho cán bộ kỹ thuật và kỹ sư chuyên ngành.

Cuốn sách gồm 10 chương; trình bày khá đầy đủ và tỉ mỉ lý thuyết tính toán phân điện của mạng điện, những vấn đề có liên quan đến mạng điện ở chế độ xác lập; đặc biệt đi sâu tính toán mạng điện địa phương, cấp điện áp từ 35 kV trở xuống. Để đảm bảo độ bền cơ học của đường dây, cuốn sách trình bày tính toán phân cơ khí dây dẫn, cột và móng. Đồng thời tóm tắt quá trình thiết kế mạng điện. Ở cuối mỗi chương đều có các ví dụ mẫu minh hoạ cho lý thuyết để đọc giả tiện so sánh, vận dụng. Các số liệu tra cứu cho trong phần phụ lục.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn tập thể Bộ môn Cung cấp và Sử dụng điện, Khoa Cơ - Điện, Trường ĐHNH Hà Nội đã cho nhiều ý kiến đóng góp bổ ích.

Trong quá trình biên soạn chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót. Chúng tôi mong được tiếp thu những ý kiến đóng góp của độc giả và xin chân thành cảm ơn.

Địa chỉ liên hệ:
Bộ môn Cung cấp và Sử dụng Điện
Khoa Cơ - Điện, Trường ĐHNH Hà Nội

Tác giả

CHƯƠNG 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠNG ĐIỆN

§ 1-1. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA MẠNG ĐIỆN

Những năm 60 của thế kỷ XIX, máy phát điện ra đời người ta đã tìm cách đưa dòng điện từ nguồn sản xuất đến nơi tiêu thụ. Tuy nhiên thành tựu mới nhất lúc bấy giờ chỉ là đưa dòng điện một chiều điện áp 100 V đi xa vài trăm mét. Những năm 70 hình thành một số đường dây điện áp thấp. Những năm 80 của thế kỷ XIX, mạng điện mới thực sự trở thành một ngành khoa học kỹ thuật được lý luận soi sáng. Năm 1880, nhà khoa học Nga Latrinốp nghiên cứu về vấn đề truyền tải điện năng đi xa đã chỉ ra rằng: Với khoảng cách càng xa, công suất truyền càng lớn thì có lợi nhất là nâng cao cấp điện áp truyền. Các nước Pháp, Anh, Nga, Mỹ đều tích cực nghiên cứu nâng cao điện áp để vận chuyển điện năng đi xa hơn.

Năm 1882 ở Pháp có đường dây dòng điện một chiều điện áp 1,5 kV. Năm 1891 cùng với việc chế tạo máy phát điện, máy biến áp, động cơ dị bộ, điện áp đã được nâng lên 15 kV. Cuối thế kỷ XIX ở Pháp đã xây dựng đường dây 35 kV. Đầu thế kỷ XX mạng điện phát triển hết sức mạnh mẽ, công suất, điện áp và chiều dài đường dây tăng lên không ngừng.

Từ năm 1908 - 1910 xuất hiện đường dây 110 kV. Những năm 20 của thế kỷ XX điện áp nâng lên 220 kV. Trong những năm 50 đã khánh thành đường dây 500 kV. Hiện nay đường dây truyền tải dòng điện xoay chiều điện áp 750 kV và cao hơn, dòng điện một chiều điện áp 1500 kV đã được xây dựng và thử nghiệm ở nhiều nơi trên thế giới.

Ở nước ta dưới thời Pháp thuộc, đầu thế kỷ thứ XX xây dựng được một vài nhà máy điện như Yên Phụ - Hà Nội, Thượng Lý - Hải Phòng, Thủ Đức - Sài Gòn. Những năm 20 điện áp truyền tải lớn nhất là 35 kV.

Từ năm 1965 miền Bắc nước ta đã xây dựng đường dây 110 kV. Sau khi đất nước thống nhất ta đã xây dựng và mở rộng hàng loạt nhà máy điện như Thác Bà công suất 108 MW, Hoà Bình 1920 MW, Yaly 700 MW, thuỷ điện Trị An 400 MW, nhiệt điện Uông Bí 300 MW, nhiệt điện Phả Lại I 400 MW, Phả lại II 600 MW, nhiệt điện chạy khí Phú Mỹ I 900 MW, Phú Mỹ 2.1 và 2.2 gần 600 MW, ... Và đang dự kiến xây dựng hàng loạt các nhà máy thuỷ điện, nhiệt điện chạy than, chạy khí và nghiên cứu sử dụng các nguồn năng lượng mới để phát điện như năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng thuỷ triều, năng lượng địa nhiệt, nhà máy điện nguyên tử... Từ năm 1978 nước ta tiến hành xây dựng đường dây 220 kV chuyên tải điện từ Uông Bí về Hà Nội và các tỉnh miền Trung. Tuy nhiên hệ thống điện đó vẫn chưa đáp ứng được nhu cầu sử dụng điện cho cả nước; đòi hỏi phải có đường dây điện áp cao hơn chuyên tải điện vào các tỉnh phía nam. Trong các năm 1992 - 1993 ta tiến hành xây dựng đường dây siêu cao áp 500 kV. Năm 1994 đường dây 500 kV từ Hoà Bình vào Phú Lâm (thành phố Hồ Chí Minh) dài 1487 km đã đưa vào vận hành.

Cùng với việc tăng công suất, chiều dài đường dây cao áp thì mạng điện hạ áp cũng phát triển rộng khắp ở các tỉnh đồng bằng, nông thôn. Đến nay một số tỉnh 100% số xã đã có điện như Hà Nội, Hải Phòng (trừ hải đảo), thành phố Hồ Chí Minh, Thái Bình, Hải Dương, Hưng Yên, Bắc Ninh, Nam Định, Hà Nam, Tiền Giang... Các tỉnh miền Nam do nguồn năng lượng thiếu nên điện khí hoá nông thôn và mạng điện nông nghiệp phát triển chậm hơn nhất là các tỉnh vùng cao, vùng sâu, vùng xa. Tới nay cả nước có trên 60%^(*) số xã đã có điện.

Điện năng tiêu thụ tính theo đầu người trong một năm ở mức gần 300 kWh. Trong một vài năm tới cả nước phấn đấu sẽ có 80% số xã có điện và sản lượng điện bình quân đầu người là 400 kWh.

§ 1-2. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠNG ĐIỆN

1. Những khái niệm cơ bản

Hệ thống dây dẫn, dây cáp, cột xà sứ, thiết bị nối... dùng để truyền tải điện năng gọi là *đường dây tải điện*.

Đường dây có điện áp $U_{dm} \leq 1$ kV gọi là đường dây điện áp thấp, đường dây có điện áp định mức lớn hơn 1 kV gọi là đường dây điện áp cao.

Mạng điện là tập hợp các đường dây trên không, dây cáp, các trạm biến áp và trạm đóng cắt điện ở các cấp điện áp khác nhau.

Hệ thống điện là tập hợp bao gồm các nguồn điện và các phụ tải điện nối liền với nhau bởi các trạm biến áp, trạm cắt, trạm biến đổi dòng điện và đường dây tải điện ở các cấp điện áp định mức khác nhau. Nói cách khác, hệ thống điện bao gồm nguồn điện, mạng điện và phụ tải. Hệ thống điện là 1 bộ phận của hệ thống năng lượng, nó làm nhiệm vụ sản xuất, truyền tải và sử dụng điện năng.

Mỗi thiết bị cấu thành hệ thống điện được gọi là phần tử của hệ thống. Có những phần tử trực tiếp làm nhiệm vụ sản xuất, biến đổi, chuyên tải và tiêu thụ điện như máy phát, đường dây, máy biến đổi dòng điện và điện áp... Có những phần tử làm nhiệm vụ điều khiển, điều chỉnh và bảo vệ quá trình sản xuất và phân phối điện năng như tự động điều chỉnh kích từ, bảo vệ rơ le, máy cắt điện....

Mỗi phần tử của hệ thống được đặc trưng bởi các thông số, các thông số này xác định bởi các tính chất vật lý, sơ đồ nối các phần tử và các điều kiện giản ước tính toán khác. Nói chung thông số của các phần tử có giá trị phụ thuộc vào quá trình công tác của hệ thống song trong nhiều trường hợp có thể xem các thông số đó là bất biến. Các thông số của các phần tử trong hệ thống điện được gọi là thông số hệ thống điện như: tổng trở, tổng dẫn, hệ số biến áp ...

Tập hợp các quá trình tồn tại trong hệ thống điện và xác định trạng thái làm việc của nó trong một thời điểm hoặc một khoảng thời gian nào đó gọi là chế độ của hệ thống điện. Nó được đặc trưng bởi các chỉ tiêu định lượng về trạng thái làm việc của nó. Các chỉ tiêu đó là công suất, điện áp, dòng điện, góc lệch pha giữa dòng và áp, hao tổn công suất.... Các chỉ tiêu này được gọi là thông số chế độ, nó chỉ xuất hiện khi hệ thống điện làm việc và biến đổi không ngừng theo thời gian, tuân theo quy luật ngẫu nhiên và có mối liên hệ qua lại với các thông số phần tử.

Hệ thống điện có 2 chế độ làm việc là chế độ xác lập và chế độ quá độ.

Chế độ xác lập là chế độ có các thông số chế độ không đổi theo thời gian, nó có chế độ xác lập bình thường và chế độ xác lập sau sự cố. Chế độ xác lập bình thường là chế độ làm việc thường xuyên của hệ thống nên yêu cầu phải đảm bảo độ tin cậy, chất lượng điện và các chỉ tiêu kinh tế. Đối với chế độ xác lập sau sự cố thì các yêu cầu trên được giảm đi nhưng không được kéo dài. *Chế độ quá độ* có các thông số biến đổi mạnh theo thời gian như ngắn mạch, dao động công suất của máy phát... nên không có lợi, phải nhanh chóng đưa về chế độ xác lập.

2. Phân loại mạng điện và thụ điện

Căn cứ vào nhiệm vụ, cấp điện áp, dòng điện người ta phân mạng điện thành các loại như sau:

+ Theo loại dòng điện có

Mạng dòng điện một chiều,

Mạng điện xoay chiều một pha tần số từ 50 - 60 Hz,

Mạng điện xoay chiều 3 pha tần số từ 50 - 60 Hz.

+ Theo điện áp

Mạng cao áp có $U_{dm} > 1$ kV

Mạng hạ áp có $U_{dm} \leq 1$ kV.

Hiện nay, trên thế giới người ta phân loại theo cấp điện áp như sau:

Đường dây hạ áp (LV - Low voltage) $U_{dm} < 1$ kV

Đường dây trung áp (MV - Medium voltage) $1 \text{ kV} \leq U_{dm} < 66$ kV

Đường dây cao áp (HV - High voltage) $66 \text{ kV} \leq U_{dm} \leq 220$ kV

Đường dây siêu cao áp (EHV -Extra high voltage) $330 \text{ kV} \leq U_{dm} \leq 750$ kV

Đường dây cực cao áp (UHV -Ultra high voltage) $U_{dm} \geq 800$ kV

+ Theo số dây dẫn có mạng một chiều và một pha 2 dây dẫn, mạng xoay chiều 3 pha 3 dây, mạng xoay chiều 3 pha 4 dây và 5 dây.

+ Theo hình dáng có mạng điện hở và mạng điện kín.

Mạng hở là mạng có nguồn cung cấp từ một phía,

Mạng kín là mạng mà mỗi phụ tải có khả năng nhận năng lượng từ hai phía.

+ Theo cấu trúc có mạng điện bên trong và mạng điện bên ngoài, nó được xây dựng trong nhà và ngoài nhà. Mạng bên ngoài được xây dựng bằng dây trần và dây bọc gọi là đường dây trên không (ĐDK) và thực hiện bằng cáp gọi là mạng cáp.

+ Theo nhiệm vụ người ta phân ra làm 2 loại:

Đường dây cung cấp (truyền tải) có điện áp định mức $U_{dm} \geq 220$ kV dùng để truyền tải công suất lớn với khoảng cách hàng trăm km cho một khu vực rộng lớn.

Đường dây phân phối có điện áp định mức $U_{dm} \leq 110$ kV dùng để phân phối điện tới các địa phương với khoảng cách vài chục km và trong một phạm vi nhỏ hơn.

+ Phân loại theo vùng cung cấp:

Mạng khu vực là mạng cung cấp điện năng cho một khu vực rộng lớn, điện áp thường từ 110 - 220 kV trở lên và các đường dây có chiều dài lớn.

Mạng địa phương truyền tải năng lượng đến các hộ tiêu thụ trong phạm vi nhỏ hơn, thường có điện áp từ 110 kV trở xuống, chiều dài đường dây ngắn.

+ Điện áp định mức của mạng điện (ký hiệu là U_{dm}).

Mỗi mạng điện đặc trưng bởi một điện áp đã được tiêu chuẩn hoá, nó đảm bảo cho thiết bị làm việc bình thường và kinh tế nhất gọi là điện áp định mức. Điện áp định mức có ghi trên lý lịch và trên nhãn của máy điện và các thiết bị điện. Trong các thiết bị điện 3 pha, U_{dm} là điện áp dây. Điện áp định mức của mạng điện và của thụ điện phải bằng nhau. Do

phụ tải luôn luôn thay đổi theo quy luật ngẫu nhiên, có hao tổn điện áp trong mạng điện nên điện áp trên các điểm của mạng điện thường xuyên khác U_{dm} . Người ta phải điều chỉnh điện áp của đầu ra thanh cái máy phát điện và các nấc điều chỉnh của máy biến áp thường cao hơn điện áp định mức để bù vào phần hao tổn trên đường dây, sao cho độ lệch điện áp của thụ điện tại mọi điểm không vượt quá giới hạn cho phép.

Điện áp định mức của mạng điện và thiết bị điện được tiêu chuẩn hoá gồm các giá trị như:

U_{dm} : 0,22 kV; 0,38 kV; 6 kV; 10 kV; 15 kV; 22 kV; 35 kV; 110 kV; 150 kV; 220 kV; 330 kV; 400 kV; 500 kV ...

Cấp điện áp tiêu chuẩn hoá cho phép giảm bớt một số cỡ máy và thiết bị điện, giảm bớt chi phí xây dựng mạng điện.

Hệ tiêu thụ điện là các thiết bị sử dụng điện riêng lẻ hoặc là tập hợp tất cả các thiết bị đó. *Phụ tải điện* là đại lượng đặc trưng cho công suất tiêu thụ của các hệ tiêu thụ điện. Dựa vào yêu cầu cung cấp điện và tính chất quan trọng của hệ tiêu thụ người ta chia thụ điện thành 3 loại:

- *Thụ điện loại I* là những phụ tải quan trọng; ngừng cung cấp điện sẽ gây tai nạn nguy hiểm cho con người; làm tổn thất lớn đến nền kinh tế quốc dân làm hư hỏng hàng loạt sản phẩm, thiết bị; làm rối loạn quá trình sản xuất phức tạp (ví dụ như thông gió hầm lò, cấp điện cho phòng mổ, các lò luyện thép, nhà khách ngoại giao...).

Thụ điện loại I phải được cung cấp điện liên tục bằng 2 đường dây độc lập. Việc cung cấp điện chỉ được gián đoạn trong thời gian đóng điện dự phòng bằng thiết bị tự động.

- *Thụ điện loại II* là phụ tải khi ngừng cung cấp điện sẽ làm sản xuất bị đình trệ; hàng loạt sản phẩm bị phế bỏ; vi phạm hoạt động bình thường của nhân dân thành phố (ví dụ như các nhà máy công cụ, dây chuyền SX tự động, công trình thuỷ nông lớn, hệ thống điện thành phố thị xã,...) Thụ điện loại II được phép gián đoạn trong thời gian cần thiết để đóng điện bằng tay chuyển sang nguồn dự phòng.

- *Thụ điện loại III* bao gồm tất cả các thụ điện còn lại. Thụ điện loại III cho phép ngừng cung cấp điện trong thời gian sửa chữa, khắc phục những hư hỏng xảy ra nhưng phải khẩn trương, nhanh chóng.

§ 1-3. NHỮNG ĐIỂM ĐẶC BIỆT VỀ PHÂN PHỐI ĐIỆN TRONG NÔNG NGHIỆP

1. Những yêu cầu chung của mạng điện

Để đảm bảo cung cấp một lượng điện năng có chất lượng điện tốt và liên tục, yêu cầu đặt ra đối với mạng điện là:

- Đảm bảo độ bền cơ học của đường dây để mạng điện làm việc vững chắc và an toàn.
- Cung cấp điện thường xuyên liên tục, nhất là các thụ điện loại I.
- Giới hạn vị trí hư hỏng để sửa chữa bằng các thiết bị bảo vệ có tính chất chọn lọc.
- Cung cấp một điện năng có chất lượng tốt. Độ lệch điện áp tại thụ điện nằm trong giới hạn cho phép.
- Bảo đảm điều kiện kinh tế: vốn đầu tư cơ bản và chi phí vận hành là ít nhất.
- Có khả năng phát triển trong tương lai mà không cần cải tạo lại mạng điện.

Để thoả mãn những yêu cầu trên, khi thiết kế, thi công mạng điện cần lưu ý như sau:

Tính toán mạng điện theo các chỉ tiêu kinh tế, chọn điện áp, vật liệu, tiết diện dây dẫn phù hợp; lựa chọn sơ đồ nối dây tối ưu. Tính tiết diện dây theo hao tổn điện áp cho phép hoặc theo điều kiện kinh tế, kiểm tra độ lệch tại thụ điện nằm trong giới hạn cho phép. Kiểm tra dây dẫn theo điều kiện đốt nóng. Tính toán cơ khí đường dây bảo đảm độ bền cơ học của dây dẫn, cột và móng. Ngoài ra còn chú ý tới các biện pháp điều chỉnh điện áp.

2. Những điểm đặc biệt về phân phối điện năng trong nông nghiệp

Mạng điện nông nghiệp phục vụ cho các thụ điện nông nghiệp, có đặc điểm riêng so với mạng điện thành phố. Điểm nổi bật là, đường dây kéo dài, phân tán, công suất truyền tải tương đối nhỏ, phần lớn thụ điện làm việc có tính chất thời vụ, đồ thị tải không bằng phẳng và cực đại vào một số giờ cao điểm, chênh lệch giữa phụ tải cực đại và cực tiểu lớn nên thời gian máy biến áp làm việc non tải kéo dài. Kết quả là giá thành của mạng điện nông nghiệp tính theo công suất truyền tải rất cao. Qua tính toán người ta thấy rằng, giá thành mạng điện kể cả các trạm biến áp chiếm tới 2/3 tổng giá thành những thiết bị điện trong đó chi phí về vật liệu và dây dẫn chiếm tới 95% giá thành mạng điện. Vì vậy, khi thiết kế mạng điện phải giảm tới mức thấp nhất chi phí vật liệu và kim loại làm dây dẫn.

Các thụ điện trong nông nghiệp phần lớn là thụ điện loại II và loại III nên yêu cầu cung cấp điện không chặt chẽ như thụ điện loại I. nhiều trường hợp không cần phải dùng đường dây cấp điện dự phòng.

Để giảm giá thành mạng điện nông nghiệp người ta có thể sử dụng nhiều biện pháp khác nhau như nâng cao cấp điện áp định mức sử dụng từ mạng 220/127 V lên 380/220 V đưa sâu điện áp cao vào trung tâm phụ tải và nâng cao cấp điện áp vận hành từ 6 - 10 kV lên 22 kV hay 35 kV, đưa điện áp một pha trên lưới cao áp để cung cấp cho các thụ điện nhỏ nằm phân tán, rải rác Sử dụng hợp lý kim loại làm dây dẫn bằng cách thay vật liệu nhôm và thép nhâm cho đồng, nâng cao hao tổn điện áp cho phép để giảm tiết diện dây dẫn bằng cách lựa chọn và điều chỉnh các đầu phân áp hợp lý.

Ngoài ra để đạt hiệu quả kinh tế giảm giá thành truyền tải và phân phối điện năng còn sử dụng các loại kết cấu cột điện hợp lý, sử dụng đất làm dây dẫn bằng cách chọn hệ thống điện hai pha một đất, một pha một đất, rút ngắn thời gian thi công bằng cơ giới ...

§ 1-4. KẾT CẤU DÂY DẪN

1. Dây dẫn của đường dây trên không

Đường dây trên không thường dùng kim loại không bọc cách điện (dây trần), ngày nay tại các thành phố, thị trấn sử dụng dây bọc và dây vện xoắn để đảm bảo an toàn và chống hao tổn kinh doanh. Dây bọc ít sử dụng vì nó dễ bị phá huỷ bởi điều kiện thời tiết và môi trường, làm tăng tải trọng đường dây, tăng giá thành dây dẫn và giảm khả năng tỏa nhiệt ra môi trường. Dây dẫn cho đường dây bao gồm loại một sợi hay nhiều sợi. Dây dẫn một sợi thường có tiết diện không lớn lắm ($F \leq 10 \text{ mm}^2$). Dây dẫn nhiều sợi chế tạo với tiết diện lớn $F \geq 16 \text{ mm}^2$ trở lên.

Về cấu tạo, dây dẫn đường dây bao gồm

Dây dẫn một sợi làm bằng một kim loại,

Dây dẫn nhiều sợi làm bằng một kim loại,

Dây dẫn nhiều sợi làm bằng 2 kim loại,

Dây dẫn lưỡng kim,

Dây dẫn rỗng.

Dây dẫn nhiều sợi được chế tạo bao gồm một sợi ở chính giữa, xung quanh quấn nhiều sợi xoắn với nhau theo nhiều lớp. Thường lớp ngoài nhiều hơn lớp trong 6 sợi và mỗi lớp xoắn lại theo chiều ngược nhau để dây dẫn không tự xoắn và có dạng tròn.

Tùy theo vật liệu và cách chế tạo dây mà nó có những mã hiệu khác nhau. Mã hiệu dây dẫn gồm chữ cái chỉ vật liệu làm dây dẫn và con số chỉ tiết diện (mm^2) hoặc đường kính (mm). Ví dụ: A - dây nhôm; AC - thép nhôm; M - đồng; C - thép, ACO - dây thép nhôm có lõi thép giảm nhẹ; ACY - dây thép nhôm có lõi thép tăng cường...

Tiết diện dây dẫn được tiêu chuẩn hoá gồm các giá trị như sau:

1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 90; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 600; 700 (mm^2).

Những số ghi trong mã hiệu dây dẫn rất gần với tổng tiết diện thực của tất cả các sợi dây riêng rẽ. Trong tính toán ta lấy đường kính ngoài và đường kính tính toán của dây dẫn như trong phụ lục.

- *Dây đồng (M)*: là một trong những vật liệu dẫn điện tốt nhất. Dây đồng trần được chế tạo như sau: bằng nhiệt luyện, người ta có sợi đồng đường kính từ 5 - 10 mm, đưa vào kéo ở trạng thái nguội đến khi đường kính đạt 2,5 - 4 mm ta được dây đồng cứng dùng làm dây dẫn của ĐDK, ký hiệu MT. Dây đồng cứng có điện trở suất ở nhiệt độ 20°C là $\rho = 18,2 \Omega\text{mm}^2/\text{km}$ và sức cản đứt tức thời là $F_{cd} = 382 \text{ N/mm}^2$. Dây đồng cứng đem đốt nóng và làm lạnh từ từ (ủ) ta được đồng mềm, ký hiệu MM thường dùng làm lõi cáp. Dây đồng mềm có $\rho = 17,5 \Omega\text{mm}^2/\text{km}$ và $F_{cd} = 196 \text{ N/mm}^2$.

Dây dẫn bằng đồng chịu đựng tốt ảnh hưởng của khí quyển và đa số các phản ứng hoá học xảy ra trong không khí. Khi làm việc, trên bề mặt của dây dẫn tạo một lớp oxit dày bảo vệ cho các lớp bên trong không bị phá huỷ tiếp vì vậy nó không cần sử dụng các biện pháp chống ăn mòn. Về độ bền cơ, nó chỉ thua kém dây thép và các hợp kim đồng. Tuy nhiên do dây đồng đắt nên nó bị hạn chế sử dụng, thường dùng khi có những khoảng vượt lớn và điều kiện môi trường có hàm lượng muối hay hoá chất mà các vật liệu khác không sử dụng được.

- *Dây nhôm (A)*: Đường dây trên không thường sử dụng nhôm kéo cứng không bọc cách điện. Điện trở suất của dây nhôm là $\rho = 29,5 \Omega\text{mm}^2/\text{km}$ và sức cản đứt tức thời $F_{cd} = 147 - 157 \text{ N/mm}^2$. Dây nhôm dẫn điện kém đồng khoảng 1,6 lần. Tuy nhiên nó nhẹ, giá thành hạ nên được sử dụng rộng rãi làm dây dẫn ĐDK. Dưới tác động của khí quyển, nhôm bị oxy hoá tạo thành lớp vỏ bảo vệ giống như dây đồng, lớp này có thể bị phá huỷ bởi một số chất hoá học. Vì độ bền cơ học kém nên được chế tạo thành nhiều sợi tiết diện từ 16 mm^2 trở lên và đường dây nhôm khi lắp đặt sẽ có độ võng lớn nên chỉ sử dụng ở khoảng vượt ngắn ($l < 150 \text{ m}$), và điện áp thấp ($U < 35 \text{ kV}$).

Để tăng độ bền cơ học, dây nhôm có pha thêm mangan và Silic ($\leq 1,2\%$) gọi là dây Andre (AA); Nó có $F_{cd} = 243 - 294 \text{ N/mm}^2$.

- *Dây thép nhôm (AC)* để tăng độ bền cơ học cho dây dẫn và thực hiện được những khoảng vượt lớn người ta chế tạo dây dẫn làm bằng hai kim loại (dây phức hợp) Thông dụng nhất là dây thép nhôm được làm từ nhôm và thép. Nó là dây nhiều sợi, lớp trong cùng là một hoặc một số sợi thép tráng kẽm có độ bền cơ học cao, bên ngoài là các lớp nhôm để dẫn điện. Nó có độ bền cơ học cao hơn dây nhôm, dùng cho các khoảng vượt lớn và điện áp cao (Điện áp từ 35 kV trở lên). Dây thép nhôm được chế tạo ở 3 loại

- *Dây AC* có tỷ số tiết diện giữa nhôm và thép là 5,5 - 6, tiết diện từ 10 - 400 mm².

- *Dây ACO* là thép nhôm có lõi thép giảm nhẹ, có tỷ số tiết diện giữa nhôm và thép là 7,5 - 8, tiết diện chế tạo từ 150 - 700 mm².

- *Dây ACY* là thép nhôm có lõi thép tăng cường, có tỷ số tiết diện giữa nhôm và thép là 4,5 và có tiết diện từ 120 - 400 mm². Dây dẫn được dùng trong các khoảng vượt rất lớn cần tăng cường khả năng chịu lực của dây, chiều dài khoảng vượt có khi tới hàng ngàn mét.

- *Dây thép*: gồm loại một sợi (ký hiệu là PICO) và nhiều sợi (PIC), con số kèm theo chỉ đường kính dây thép. Dây nhiều sợi có ký hiệu PIMC là dây thép có đồng, con số kèm theo chỉ tiết diện (mm²). Vì dây thép dẫn điện kém, sử dụng không hợp lý nên nó dần được thay thế bằng dây A và AC.

- *Dây dẫn rỗng*: để tăng đường kính của dây tránh hiện tượng vầng quang điện, giảm tổn thất điện năng nhưng không tăng chi phí vật liệu làm dây dẫn người ta chế tạo dây dẫn rỗng. Nó có 2 loại: một loại gồm các sợi dây bằng đồng vện xoắn từng lớp theo chiều ngược nhau và rỗng ở giữa; loại khác gồm các thanh đồng ghép lại với nhau theo chiều xoắn. Loại này vì chế tạo phức tạp, đấu nối khó khăn và đắt nên hiện nay không dùng làm dây dẫn của đường dây, số ít dùng làm thanh cái trong trạm biến áp từ 330 kV trở lên.

2. Dây cáp điện lực

Những cấu trúc của dây dẫn được cách điện riêng biệt và được bảo vệ bằng lớp vỏ bọc ngoài gọi là dây cáp. Dây cáp có thể đặt trực tiếp trong đất, nước và không khí. Cấu trúc của cáp phụ thuộc vào cấp điện áp, loại dòng điện và phương thức lắp đặt trong đó ảnh hưởng lớn nhất là điện áp.

Theo điện áp người ta chia cáp thành các loại như sau: cáp từ 10 kV trở xuống (có từ 1 - 4 lõi); cáp 3 lõi điện áp 20 và 35 kV; cáp 2 lõi điện áp 110 và 220 kV.

- *Cáp điện lực điện áp $U \leq 10$ kV*:

Lõi cáp sử dụng vật liệu bằng những sợi đồng hay nhôm được ủ sơ bộ. Mỗi lõi có lớp vỏ bọc cách điện riêng gọi là cách điện pha. Vật liệu làm cách điện pha thường bằng giấy tẩm hoá chất đặc biệt hay một số lớp cao su, kết cấu tùy thuộc vào điện áp định mức của cáp. Các pha được vện xoắn với nhau và chèn bằng các nêm giấy ngâm tẩm để tạo cho vỏ cáp có dạng tròn đều. Tiếp theo, tính từ trong ra ngoài vỏ cáp gồm các lớp sau:

- Đai cách điện bằng giấy tẩm các thành phần đặc biệt hay các lớp cao su.

- Vỏ bằng chì hay nhôm bảo vệ cho đai.

- Lớp giấy cáp và sợi tẩm dùng để bảo vệ cho vỏ chì hay nhôm không bị phá huỷ bởi axit và kiềm.

- Cuốn bằng những giải thép (băng thép) phẳng hay tròn.

- Bọc bằng sợi gai tẩm dùng để chống gỉ cho giải thép.

- Vỏ bảo vệ bằng chì, nhôm hay nhựa tổng hợp.

Vỏ chì chế tạo bằng cách kéo sợi còn vỏ nhôm là hàn lạnh, chúng rất kín nên có thể đặt trực tiếp trong các môi trường đất, nước và không khí. Cáp vỏ chì có độ dẻo lớn nhưng đắt và ảnh hưởng tới môi trường nên ít được dùng, đa số là vỏ nhôm. Vỏ nhôm có ưu điểm là nhẹ, sức bền cao hơn nên ít bị rạn nứt khi đất bị lún sụt.

Đối với mạng điện hạ áp, cáp đều có cách điện và chất bảo vệ bằng nhựa tổng hợp, Polyclovinin, hay polyetylen (ví dụ ABB; АПІВ). Tiết diện dây cáp thường từ 2,5 - 185 mm²; cáp có thể có từ 1 đến 4 lõi. Ký hiệu cáp có các chữ chỉ vật liệu, chỉ cách điện và vỏ bọc. Ví dụ: cáp Liên Xô cũ: chữ đầu tiên là A chỉ lõi nhôm; không có chữ A là lõi đồng; vỏ ký hiệu C là chì; A là nhôm; B là polyclovinin; П là polyetylen ; P là cao su.

Vỏ bảo vệ ngoài có chữ b là thép; chữ Г là không bọc bảo vệ.

- *Cáp điện lực 20 và 35 kV:*

Khi số lõi bằng nhau thì cấu trúc của cáp 20 kV và 35 kV giống như với cáp 10 kV nhưng cách điện được tăng cường hơn, nó có 3 lõi tiết diện lên đến 240 mm². Thường thường cáp 20 kV và 35 kV được chế tạo với lớp vỏ bảo vệ riêng cho từng lõi, việc chế tạo như vậy sẽ tạo ra một điện trường hướng tâm có cường độ phân bố đều trên bề mặt lõi và trong các lớp cách điện đồng thời chống ngắn mạch giữa các pha. Các pha được đặt trong cùng vỏ bọc ngoài.

Muốn nối cáp người ta hàn ruột, bọc cách điện đặt trong hộp hay vỏ bảo vệ rồi đổ bitum hay êpôxi.

- *Cáp điện lực 110 và 220 kV:*

Được chế tạo khác với cáp có điện áp từ 35 kV trở xuống, nó gồm 2 loại: cáp nạp dầu và nạp khí.

Cáp dây dầu: Lõi cáp là ống kim loại rỗng chứa đầy dầu có áp suất từ 2 đến 4 at. Để duy trì áp suất dầu trong một giới hạn khi có tải thay đổi người ta dùng các thùng điều hoà áp suất. Ngoài lớp cách điện bằng giấy tẩm dầu, lõi cáp còn có các lớp bảo vệ như: băng cuốn tráng kẽm hoặc chì, băng đồng được phủ lớp chống rỉ, ngoài cùng là lớp vỏ bọc thép có bảo vệ chống rỉ.

Cáp dây khí: mỗi cáp đều được cách điện bằng giấy và vỏ bảo vệ riêng biệt đặt trong các ống thép chứa đầy khí trơ, áp suất từ 10 -15 at. Mặt trong của ống thép có lót cách điện bằng giấy tẩm dầu. Chúng có bộ phận đặc biệt để duy trì áp suất khí khi tải thay đổi bằng các nôi hơi ở hai đầu đường dây. Các loại cáp này lớp bảo vệ lõi cũng được tăng cường hơn,

3. Dây dẫn có bọc cách điện

Những mạng điện được xây dựng trong nhà, trong các công xưởng, nhà máy xí nghiệp ... gọi là mạng điện bên trong, thường dùng dây dẫn có bọc cách điện, cáp hay thanh dẫn với các phương pháp lắp đặt khác nhau. Dây bọc có lõi bằng đồng hay nhôm, cách điện cao su, polyclovinin hay polyetylen. Đối với dây dẫn loại nhiều lõi thì mỗi lõi được cách điện riêng biệt và trong cùng một vỏ bọc ngoài.

Ký hiệu dây bọc có các chữ chỉ cách điện và con số chỉ tiết diện dây dẫn. Ở Việt Nam gọi chung là dây bọc nhựa hoặc cao su (Ví dụ PVC). Còn ở Liên Xô cũ nhập về các loại như :

PIP là dây đồng cách điện cao su 1 lõi đặt trong ống sợi dệt tẩm dầu.

APIP là dây nhôm cách điện như trên.

AP là dây đồng 1 lõi cách điện cao su.

PIB là dây đồng 1 lõi cách điện polyclovinin.....

Dây bọc có 2 cách đặt là đặt kín và đặt hở.

- Đặt hở dùng cho điện áp $U \leq 220$ V. Dây dẫn đi trên tường hoặc trần bằng cách đặt trong ống ghen nhựa, thuỷ tinh, móc sắt... và bắt chặt vào trần hoặc tường bằng vít hoặc bắt bằng puli sứ. Đối với những nơi ẩm ướt, có hoá chất, dễ xảy ra hoả hoạn thì dây bọc phải dùng loại có vỏ bảo vệ bằng chì hay thép như PPIΓ hay CPTΓ.

- Đặt kín dùng ở nơi khô ráo điện áp ≤ 500 V. Khi đặt dây kín tiết diện dây phải lớn hơn hoặc bằng $1,5 \text{ mm}^2$ đối với dây đồng và lớn hơn hoặc bằng $2,5 \text{ mm}^2$ với dây nhôm. Dây đặt kín có thể lồng trong ống nhựa tổng hợp, ống cao su, thuỷ tinh hay kim loại rồi trát kín bằng vữa. Khi đặt theo nền gỗ giữa ống và nền phải được lót bằng cách điện như amiăng ... Mỗi ống có thể đặt từ 1 đến 4 dây nhưng không dây quá $2/3$ diện tích ống.

TÍNH TOÁN DÂY DẪN VÀ CÁP THEO ĐỐT NÓNG

§ 2-1. ĐIỆN TRỞ CỦA DÂY DẪN VÀ CÁP

1. Điện trở tác dụng

Khi có dòng điện một chiều đi qua dây dẫn, dòng điện sẽ phân bố đều đặn trên toàn bộ bề mặt tiết diện của dây. Điện trở Ôm mức trên 1 km chiều dài dây dẫn ở nhiệt độ tiêu chuẩn ($\theta_0 = 20^0 \text{ C}$) xác định theo công thức:

$$R_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1000}{\gamma F} \quad (\Omega/\text{km}) \quad (2-1$$

)

ρ - là điện trở suất ($\Omega\text{mm}^2/\text{km}$).

F - là tiết diện dây dẫn (mm^2).

γ - là điện dẫn xuất ($\text{m}/\Omega\text{mm}^2$).

Điện trở của dây dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ. Khi nhiệt độ khác tiêu chuẩn thì điện trở xác định theo công thức:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (\theta - 20)] \quad (\Omega/\text{km}) \quad (2-2$$

)

α - là hệ số nhiệt điện trở, với đồng và nhôm $\alpha = 0,004 (\frac{1}{0\text{C}})$.

Đối với đường dây trên không thì nhiệt độ cực đại cho phép là $\theta = 70^{\circ}\text{C}$ do đó điện trở dây dẫn tăng lên là:

$$R_k = 1 + 0,004 (70 - 20) = 1,2 \text{ lần hoặc } 20\%.$$

Dây dẫn đạt đến nhiệt độ cực đại 70°C có thể xảy ra nhưng khoảng thời gian rất ngắn trong năm. Thực tế người ta thường tính với nhiệt độ thường gặp nhất là $35 - 45^{\circ}\text{C}$, ở nhiệt độ này ta có:

Đối với đồng $\rho_M = 18,8 \Omega\text{mm}^2/\text{km}$; Đối với nhôm $\rho_A = 31,5 \Omega\text{mm}^2/\text{km}$.

Đối với đồng $\gamma_M = 53 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$; Đối với nhôm $\gamma = 31,7 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$.

Đối với cáp đồng và nhôm, trong khi làm việc nhiệt độ thường từ $40 - 50^{\circ}\text{C}$ do đó điện trở suất và điện dẫn suất của cáp có thể lấy như với đường dây trên không.

Điện trở của dây dẫn với dòng điện một chiều gọi là điện trở Ôm mic, khác với điện trở dòng điện xoay chiều gọi là điện trở tác dụng. Điện trở tác dụng lớn hơn điện trở Ôm mic vì có hiệu ứng ngoài và hiệu ứng gần. Hiệu ứng mặt ngoài do từ trường xoay chiều trong dây dẫn gây ra sự phân bố không đều của dòng điện trên bề mặt dây. Hiệu ứng gần là ảnh hưởng của từ trường giữa các dây dẫn đặt gần nhau sinh ra. Các hiệu ứng này phụ thuộc vào tần số của dòng xoay chiều, ở tần số $f = 50 \text{ Hz}$ và dây dẫn làm bằng kim loại màu thì sự chênh nhau không đáng kể (khoảng 1%) nên trong tính toán ta lấy điện trở tác dụng bằng điện trở Ôm mic.

Để tiện tính toán điện trở tác dụng được cho trong phụ lục, nó sai khác so với tính toán theo công thức trên từ 6 -10 % do dây dẫn bị vặn xoắn nên chiều dài thực lớn hơn chiều dài đo từ 2 -3 % và tiết diện của dây vặn xoắn lớn hơn tổng tiết diện của các sợi dây nhỏ cấu tạo nên nó.

2.Điện trở cảm kháng (X)

È mạng điện xoay chiều, xung quanh dây dẫn có từ trường biến thiên tạo ra độ tự cảm L, đồng thời dây dẫn đặt gần nhau sinh ra hồ cảm M. Do đó ta phải xét đến điện trở cảm kháng X của đường dây.

Khi dây dẫn bố trí trên 3 đỉnh của tam giác đều, khoảng cách là D mm thì cảm kháng trên một pha của một km đường dây 3 pha có giá trị là:

$$X_0 = \omega (4,6 \lg \frac{D}{r} + 0,5\mu). 10^{-4} \quad (\Omega/\text{km}) \quad (2-3)$$

)

$\omega = 2\pi f$ - là tần số góc.

D - là khoảng cách giữa các dây dẫn (mm).

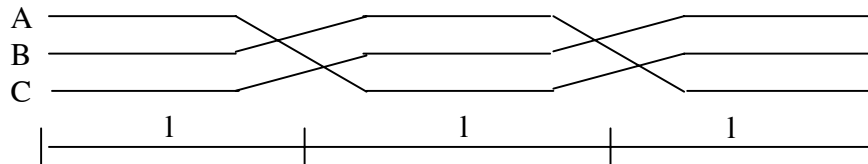
r - là bán kính dây dẫn (mm).

μ - là hệ số từ thẩm của vật liệu dây dẫn (H/m).

È tần số 50 Hz dây dẫn dùng kim loại màu, $\mu = 1$ ta có:

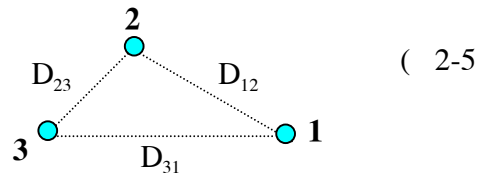
$$X_0 = 0,144 \lg \frac{D}{r} + 0,016 \quad (\Omega/\text{km}) \quad (2-4)$$

Khi dây dẫn bố trí không đối xứng: cảm kháng của các dây là như nhau còn hồ cảm thì không giống nhau nên mặc dù phụ tải các pha như nhau nhưng điện áp rơi trên các pha là khác nhau (Z pha khác nhau). Người ta khắc phục bằng cách hoán vị dây dẫn các pha, sau mỗi khoảng dây l lại hoán vị một lần, sau 3 lần hoán vị dây thì cảm kháng của các pha là như nhau. Với đường dây 110 kV - 220 kV thì thường l = 30 km tiến hành hoán vị dây pha.



Khi dây dẫn bố trí bất kỳ, có hoán vị dây với khoảng cách giữa các pha là D_{12} , D_{23} , D_{31} thì cảm kháng vẫn tính như (2-4) nhưng thay D bằng D_{TB} là khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn 3 pha:

$$D_{TB} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$$



Nếu dây dẫn 3 pha đặt cách nhau trên cùng một mặt phẳng, dây nọ cách dây kia là D thì:

$$D_{TB} = \sqrt[3]{2D^3} = 1,26D$$

Trường hợp đường dây có hai tuyến đi trên một cột thì ảnh hưởng của tuyến thứ nhất đến tuyến thứ hai là không lớn (từ 4 - 6%) do đó khi tính toán có thể bỏ qua.

Cảm kháng X_0 được tính sẵn và cho trong phụ lục. Trong bảng ta thấy khi tiết diện dây và khoảng cách giữa các dây dẫn thay đổi đều thì trị số của X_0 thay đổi rất ít (trong khoảng 0,3 - 0,45 Ω /km). Vì vậy khi cần thiết, gần đúng ta có thể lấy một giá trị trung bình của X_0 để tính toán.

Để giảm X_0 tức là giảm hao tổn công suất và điện áp, ta phải tăng r hoặc giảm D_{TB} . Vì D_{TB} phụ thuộc vào điện áp nên chỉ giảm ở mức độ nhất định, quá sẽ gây ra ngắn mạch giữa các pha. Hiệu quả nhất là tăng r của dây dẫn, nhưng nếu tăng tiết diện dây sẽ gây lãng phí vật liệu mà điện kháng giảm đi không nhiều, người ta tìm cách phân nhỏ dây dẫn của các pha. kinh nghiệm cho thấy:

Phân làm 2 dây phân nhỏ thì điện kháng X_0 giảm đi 19%;

Phân làm 3 dây phân nhỏ thì điện kháng X_0 giảm đi 28%;

Phân làm 4 dây phân nhỏ thì điện kháng X_0 giảm đi 32,5%;

Ta thấy phân làm 3 dây là có lợi nhất, nếu tăng lên nữa thì cấu trúc đường dây phức tạp lên nhiều trong khi điện kháng lại giảm đi ít. Trong thực tế, đường dây điện áp 220 - 330 kV phân làm 2 hoặc 3 dây, 500 kV phân làm 3 hoặc 4 dây, 750 kV phân thành 5 dây và 1150 kV phân thành 8 dây.

Điện kháng của đường dây sau khi phân nhỏ mỗi pha thành n dây, bán kính thực của mỗi sợi dây phân nhỏ là r, khoảng cách giữa các dây pha phân nhỏ là a_1, a_2, \dots, a_n (thường từ 300 - 600 mm) thì X_0 xác định theo biểu thức:

$$X_0 = 0,1441g \frac{D_{TB}}{r_{dt}} + \frac{0,016}{n} \left(\frac{\Omega}{km} \right) \quad (2-7)$$

$$r_{dt} = \sqrt[n]{r \cdot a_{TB}^{n-1}}; \quad a_{TB} = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n} \quad (2-8)$$

r_{dt} - là bán kính đẳng trị của dây dẫn;

a_{TB} là trị số trung bình giữa các dây dẫn phân nhỏ của một pha,

a_1, a_2, \dots, a_n - là khoảng cách giữa các pha phân nhỏ.

Thông thường phân nhỏ dây dẫn chỉ được áp dụng đối với các đường dây có điện áp từ 220 kV trở lên. Điện kháng của dây cáp nhỏ hơn đáng kể so với ĐDK, khi tính cho mạng cáp thường tra các thông số r_0 và x_0 theo các số liệu đã cho sẵn của nhà máy.

3. Tổng trở của dây thép

Dây thép có μ lớn và biến thiên theo dòng điện nên tổng trở của nó cũng biến thiên theo dòng điện. Điện kháng của dây thép gồm 2 thành phần là cảm kháng trong X_0'' và cảm kháng ngoài X_0' :

$$X_0 = X_0'' + X_0' = 0,1441g \frac{D}{r} + 0,016\mu \left(\frac{\Omega}{km} \right) \quad (2-9)$$

)

$$X_0' = 0,016 \mu; \quad X_0'' = 0,1441g \frac{D}{r} \quad (2-10)$$

Vì tổng trở của dây thép khó tính theo biểu thức giải tích nên nó được xác định bằng phương pháp thực nghiệm và cho trong phụ lục. Muốn tra bảng tìm X_0'' ta phải biết tiết diện và dòng điện chạy qua dây dẫn.

§ 2-2. SỰ PHÁT NÓNG CỦA DÂY TRÊN DƯỚI TÁC DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN

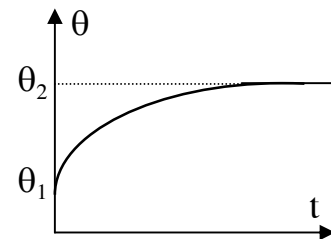
Khi có dòng điện chạy qua, dây dẫn sẽ bị đốt nóng theo hiệu ứng Joule. Nhiệt lượng phát ra có hai tác dụng: làm tăng nhiệt độ bản thân dây dẫn và tỏa ra môi trường xung quanh.

Gọi Q là nhiệt lượng phát ra khi có dòng điện đi qua dây

$$Q = Q_1 + Q_2$$

Trong đó Q_1 là nhiệt lượng dùng để đốt nóng dây dẫn, Q_2 là nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh.

Q_2 truyền từ dây dẫn ra môi trường nhiều hay ít tùy thuộc vào chênh lệch nhiệt độ giữa dây dẫn và môi trường quyết định. Giả thiết sau một khoảng thời gian t nhiệt độ của dây dẫn tăng từ nhiệt độ môi trường θ_1 lên θ_2 . Lúc đầu khi mới đóng điện thì nhiệt lượng chủ yếu làm tăng nhiệt độ dây dẫn, còn nhiệt lượng tỏa ra môi trường rất nhỏ ($Q \approx Q_1$). Giai đoạn tiếp theo, dây dẫn đạt tới một nhiệt độ ổn định. Khi đó có sự cân bằng nhiệt: tất cả nhiệt lượng sinh ra đều



truyền vào môi trường xung quanh còn nhiệt độ của dây dẫn là ổn định và không đổi ($Q \approx Q_2$), trong khi dòng điện và điều kiện làm mát của môi trường không đổi. Dòng điện qua dây dẫn càng lớn thì nhiệt lượng phát ra càng nhiều và độ tăng nhiệt của dây dẫn $\tau = \theta_2 - \theta_1$ càng lớn. Nhưng đối với mỗi loại dây dẫn chỉ chịu đựng được một nhiệt độ nhất định. Nhiệt độ lớn quá sẽ làm dây dẫn bị hỏng do đó mỗi một dây dẫn chỉ cho phép một dòng điện nhất định đi qua. Dòng điện lớn nhất cho phép qua dây dẫn mà nó không bị nóng quá nhiệt độ quy định gọi là dòng điện lâu dài cho phép (I_{cp}). Muốn tăng dòng điện lâu dài cho phép thì phải giảm θ_1 hoặc cải thiện điều kiện làm mát để tăng θ_2 .

Đối với dây trần, khi có dòng điện chạy qua thì chúng sẽ bị phát nóng. Nếu tất cả nhiệt lượng sinh ra dùng để đốt nóng thì nhiệt độ dây dẫn tăng lên không ngừng nhưng vì có sự tản nhiệt ra môi trường xung quanh nên sau một thời gian nào đó có sự cân bằng nhiệt: toàn bộ nhiệt lượng sinh ra trong dây dẫn bằng nhiệt lượng toả ra môi trường. Dây trần phát nóng mạnh nhất là ở chỗ các mối nối vì tại đó thường ép hai đầu dây lại với nhau bằng các mặt tiếp xúc hoặc vặn xoắn nên dẫn điện không được tốt và điện trở tiếp xúc lớn. Dòng đi qua càng lớn thì điện trở tiếp xúc càng tăng, phát nóng tại đó càng nhiều và sinh ra lớp oxy hoá phủ trên bề mặt dẫn đến phát nóng ngày càng mạnh. Vì vậy đối với dây trần, người ta quy định nhiệt độ cho phép là đảm bảo cho các mối nối dây không bị phá huỷ và bằng 70°C . Ông với điều kiện nhiệt độ môi trường, người ta xác định được dòng điện cho phép đi qua dây dẫn để thoả mãn được điều kiện trên, dòng điện đó gọi là dòng điện cho phép đối với dây trần (I_{cp}). Nhiệt độ môi trường θ_1 được lấy với điều kiện trung bình của tháng nóng nhất trong năm (ví dụ ở Việt Nam là 35°C , Liên Xô cũ là 25°C).

Dây dẫn đặt trong không khí toả nhiệt ra môi trường theo 3 cách là bức xạ đối lưu và truyền nhiệt. Hệ số truyền nhiệt của không khí rất thấp nên nhiệt lượng truyền vào môi trường bằng sự truyền dẫn nhiệt là không lớn. Mặt khác để đảm bảo độ bền cho dây người ta khống chế dòng đi qua dây không làm cho dây dẫn bị nóng quá nhiệt độ cho phép là $\theta_{cp} = 70^{\circ}\text{C}$ nên vai trò của bức xạ là nhỏ (tỷ lệ với lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ tuyệt đối). Vai trò làm mát dây dẫn chính là đối lưu tức là mang nhiệt bằng dòng chảy của không khí.

Nhiệt lượng của dây dẫn toả ra môi trường xung quang trong một giây là:

$$P = C.S.(\theta_2 - \theta_1) \quad (W) \quad (2-11)$$

Trong đó:

C - là hệ số truyền nhiệt, bằng nhiệt lượng tản ra trong một giây từ một cm^2 diện tích bề mặt dây dẫn khi hiệu số nhiệt độ dây dẫn và của môi trường là 1°C . ($W/\text{cm}^2\text{độ}$);

S - là diện tích bề mặt tản nhiệt $S = \pi.d.l$ (cm^2);

θ_1, θ_2 - là nhiệt độ của dây dẫn và môi trường ($^{\circ}\text{C}$);

$\tau = \theta_2 - \theta_1$ gọi là độ tăng nhiệt của dây dẫn.

Nhiệt lượng phát ra từ dây dẫn trong một giây khi có dòng điện I chạy qua là:

$$P = I^2 R_{\theta_2} \quad (W) \quad (2-12)$$

R_{θ_2} - là điện trở của dây dẫn ở nhiệt độ θ_2 .

Khi có sự cân bằng nhiệt, toàn bộ nhiệt lượng do dòng điện sinh ra cân bằng với nhiệt lượng toả ra môi trường, phương trình cân bằng nhiệt có dạng:

$$C.S.(\theta_2 - \theta_1) = I^2 R_{\theta_2} \quad (2-13)$$

$$\text{Rút ra: } I = \sqrt{\frac{CS(\theta_2 - \theta_1)}{R_{\theta_2}}} \quad (2-14)$$

Thay $S = \pi \cdot d \cdot l$; $R_{\theta_2} = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{F}$; $d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$ và gộp các hệ số thành hệ số chung K ta có:

$$I = K \sqrt[4]{F^3} \sqrt{\gamma(\theta_2 - \theta_1)} \quad (2-15)$$

Từ biểu thức (2-15) ta có thể tìm được dòng điện lâu dài cho phép của dây dẫn ứng với một tiết diện nhất định. Vì tính toán trực tiếp công thức trên khá phức tạp nên người ta tính sẵn và cho trong phụ lục.

Dòng điện lâu dài cho phép của dây dẫn I_{CP} cho trong bảng phụ lục ứng với các tiết diện khác nhau, được thành lập theo điều kiện tiêu chuẩn như sau: nhiệt độ cho phép của dây dẫn $\theta_2 = 70^\circ\text{C}$; nhiệt độ không khí môi trường là $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$.

Một số chú ý:

+ Ta thấy rằng dòng điện tỷ lệ với $\sqrt{\tau} = \sqrt{\theta_2 - \theta_1}$, nếu τ thay đổi thì dòng điện cũng thay đổi theo hệ thức:

$$\frac{I_{cp1}}{I_{cp2}} = \frac{\sqrt{\tau_1}}{\sqrt{\tau_2}} \text{ Suy ra: } I_{cp2} = I_{cp1} \sqrt{\frac{\tau_2}{\tau_1}} \quad (2-16)$$

Vậy, nếu nhiệt độ môi trường θ_1' khác với nhiệt độ tiêu chuẩn là 25°C thì dòng điện cho phép của dây dẫn trong điều kiện thực tế phải hiệu chỉnh theo hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ K_θ :

$$K_\theta = \sqrt{\frac{70 - \theta_1'}{70 - 25}} \quad (2-17)$$

Để tiện tính toán, K_θ được tính sẵn cho trong phụ lục.

Khi đó dòng điện cho phép tính toán có giá trị là:

$$I_{CP} = K_\theta \cdot I_{CP} \quad (2-18)$$

+ Vì S tỷ lệ thuận với đường kính của dây dẫn nên khi d thay đổi thì dòng điện cho phép cũng thay đổi theo hệ thức:

$$\frac{I_{cp1}}{I_{cp2}} = \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} \text{ suy ra: } I_{cp2} = I_{cp1} \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} \quad (2-19)$$

Mặt khác, tiết diện tăng tỷ lệ thuận với bình phương của d nên khi d tăng thì F tăng nhanh hơn S. Biểu thức cho ta xác định được dòng điện cho phép của một dây dẫn có đường kính thay đổi, cùng vật liệu dẫn điện và có cùng tiết diện dẫn điện khi biết dòng điện cho phép của dây dẫn kia (dùng tính I_{CP} của dây ACO và ACY khi biết của dây AC)

+ Từ (2-15) cho ta thấy dòng điện tỷ lệ với $\sqrt{\gamma}$, nếu hai dây dẫn có cùng tiết diện, thì ứng với γ_1 ta có dòng điện cho phép I_{cp1} ; dây thứ hai có γ_2 thì dòng điện cho phép là:

$$I_{cp2} = I_{cp1} \sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}} = I_{cp1} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad (2-20)$$

Xác định dòng điện cho phép của dây dẫn chỉ dùng để kiểm tra dây dẫn trong mạng kín khi bị sự cố mà không dùng để tính chọn tiết diện dây dẫn, Dây trần chỉ tính chọn tiết diện theo điều kiện hao tổn điện áp cho phép hoặc theo điều kiện mật độ dòng điện kinh tế. Căn cứ vào tiết diện đã chọn, tra bảng phụ lục ta xác định giá trị I_{cp} ứng với tiết diện ở điều kiện tiêu chuẩn và phải thỏa mãn điều kiện sau để nhiệt độ không vượt quá 70°C :

$$I_u \leq I_{cp} \quad (2-21)$$

I_{cp} - là dòng điện lâu dài cho phép của dây dẫn ứng với nhiệt độ chuẩn cho trong phụ lục.

§ 2-3. SỰ PHÁT NÓNG CỦA DÂY BỌC VÀ CÁP

1. Sự phát nóng của dây có bọc cách điện

Nhiệt độ cho phép của dây bọc và cáp xác định bằng lớp cách điện bọc xung quanh dây dẫn như vải, cao su, polyclovinin Khi dùng lâu dài, các chất cách điện được đảm bảo khi nhiệt độ của dây bọc không vượt quá 65°C . Đối với những chất cách điện khác như thủy tinh, amiăng thì nhiệt độ cho phép có thể lên đến $100 - 120^{\circ}\text{C}$. Nếu nhiệt độ tăng quá 65°C làm cao su trở lên giòn và nứt, polyclovinin bị mềm và sức bền giảm xuống.

Điều kiện tản nhiệt của dây bọc có khác so với dây trần do có lớp cách điện, nhiệt lượng do dòng điện sinh ra truyền ra môi trường bên ngoài phải thắng được nhiệt trở của lớp cách điện. Trị số này phụ thuộc vào tính chất của lớp cách điện và độ dày của nó. Sự tản nhiệt từ bề mặt của dây bọc ra môi trường bên ngoài cũng giống như dây trần. Phương trình cân bằng nhiệt giống biểu thức (2 - 13) nhưng thay đổi hệ số truyền nhiệt C.

Dòng điện lâu dài cho phép của dây bọc cũng được tính sẵn cho trong phụ lục ở điều kiện tiêu chuẩn là: nhiệt độ cho phép của dây bọc là $\theta_2 = 65^{\circ}\text{C}$; nhiệt độ môi trường là $\theta_1 = 25^{\circ}\text{C}$.

Khi nhiệt độ của môi trường đặt dây bọc khác 25°C thì dòng điện cho phép phải kể đến hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ K_{θ} , được cho trong phụ lục. Khi đó dòng điện cho phép của dây dẫn ứng với nhiệt độ thực tế được xác định theo công thức:

$$I_{cp} = K_{\theta} \cdot [I]_{cp}$$

Phương pháp đặt dây bọc trong ống cũng có ảnh hưởng đến điều kiện tỏa nhiệt và tăng nhiệt độ của môi trường đặt dây, tức là ảnh hưởng đến dòng điện cho phép của nó. Do điều kiện làm mát xấu đi nên dòng điện cho phép của dây bọc cũng giảm đi. Qua thực nghiệm thấy rằng:

Đặt 2 dây dẫn trong một ống thì phụ tải giảm đi 17% .

Đặt 3 dây dẫn trong một ống thì phụ tải giảm đi 25%.

Đặt 4 dây dẫn trong một ống thì phụ tải giảm đi 33%.

Nếu trong ống đặt dây dẫn 2 hay 3 lõi bọc cách điện trong vỏ bọc chung thì điều kiện làm mát còn kém hơn nữa, dòng điện cho phép còn giảm thêm 10% với dây 2 lõi và 15% đối với dây 3 lõi.

2. Sự phát nóng của dây cáp

Thông thường, dây cáp thường dùng giấy tẩm dầu để cách điện, khi nhiệt độ cao quá giới hạn cho phép thì chất cách điện của cáp có thể bị phá hoại do bị dòn, nứt gây phóng điện các pha hoặc với đất. Mặt khác, dòng điện qua dây cáp làm nó phát nóng và dẫn nở. Hệ số dẫn nở của các chất cách điện và vỏ bọc khác nhau nên chúng giãn nở khác nhau. Nếu dòng điện tăng quá cao, nhiệt độ quá lớn thì khi dòng điện giảm, chất cách điện và vỏ bọc co lại khác nhau nhiều và tạo ra các khoảng trống. Từ trường phân bố không đều, trong lớp vỏ cáp có thể sinh ra phóng điện gây sự cố. Vì vậy các loại cáp ở cấp điện áp khác nhau có lớp vỏ bọc khác nhau, nhiệt độ cho phép khác nhau và dòng điện cho phép khác nhau.

Cáp được đặt trong các môi trường khác nhau nên điều kiện làm mát của nó cũng khác nhau. Sau đây ta xét sự làm việc của cáp đặt trong các môi trường đất, nước và không khí.

a) Cáp đặt trong đất

Khi đặt cáp trong đất, thường chôn ở độ sâu 0,7 - 1 m nên nhiệt độ của đất nói chung là ổn định, mát hơn trong không khí. Nhiệt truyền từ lõi cáp qua lớp vỏ vào đất bằng con đường truyền dẫn nhiệt. Định luật truyền nhiệt giống như định luật «m và phương trình cân bằng nhiệt có dạng:

$$nI^2R = \frac{\theta - \theta_0}{R_{cd} + R_{vc} + R_d} \quad (2-22)$$

trong đó: n - là số lõi cáp;

θ, θ_0 - là nhiệt độ của lõi cáp và nhiệt độ tiêu chuẩn của đất;

R_{cd}, R_{vc}, R_d - là nhiệt trở của lớp cách điện, vỏ cáp và của đất.

Thay điện trở R trên đơn vị chiều dài, gộp các giá trị R_{cd}, R_{vc}, R_d thành hệ số C_k và biến đổi ta nhận được:

$$I = C_k \sqrt{\frac{\gamma F (\theta - \theta_0)}{n}} \quad (2-23)$$

Từ quan hệ giữa I và F ta xác định được dòng điện lâu dài cho phép của cáp. Dòng điện lâu dài cho phép của cáp được tính sẵn cho trong phụ lục ứng với các điều kiện tiêu chuẩn như sau: nhiệt độ của đất là nhiệt độ trung bình cực đại hàng năm của đất ở tháng nóng nhất, lấy bằng $\theta_0 = 15^\circ\text{C}$; cáp đặt trong đất ở độ sâu lớn hơn hoặc bằng 0,7 mét.

Nhiệt độ cho phép của lõi cáp phụ thuộc vào điện áp như sau:

Điện áp: (kV)	≤ 1	3	6	10	20	35
Nhiệt độ cho phép (°C)	80	80	65	60	50	50

Khi nhiệt độ nơi đặt cáp khác nhiệt độ tiêu chuẩn trong bảng phụ lục thì đưa vào hệ số điều chỉnh nhiệt độ K_θ :

$$K_\theta = \sqrt{\frac{\theta - \theta_0}{\theta - 15}} \quad (2-24)$$

Nếu có nhiều cáp đặt chung trong một hầm cáp thì điều kiện làm mát sẽ bị xấu đi, nó phụ thuộc vào khoảng cách giữa các cáp và số lượng cáp. Dòng điện lâu dài cho phép của mỗi cáp sẽ bị giảm xuống và trong tính toán cần đưa thêm vào hệ số hiệu chỉnh số cáp đặt song song K_n . (K_n được cho trong phụ lục).

Trường hợp cần phải hiệu chỉnh cả về nhiệt độ và số cáp thì dòng điện cho phép tương ứng của cáp xác định theo biểu thức:

$$I_{cp} = K_{\theta} \cdot K_n \cdot [I]_{cp} \quad (2-25)$$

Khi biết dòng điện phụ tải (I_{pt}) muốn tìm tiết diện dây cáp, ta xác định dòng điện cho phép tính toán của dây cáp khi đã kể đến sự sai khác nhiệt độ của môi trường đặt cáp và số lượng cáp đặt song song là:

$$I_{cp} = \frac{I_{pt}}{K_{\theta} \cdot K_n} \quad (2-26)$$

Từ dòng điện cho phép tính toán, chọn giá trị dòng điện gần nhất cho trong bảng phụ lục ứng với từng loại cáp đảm bảo điều kiện: $I_{cp} \leq [I]_{cp}$.

Nếu cáp không mang đầy tải thì cho phép nó quá tải trong thời gian nhất định. Ví dụ cáp mang 80% phụ tải thì cho phép quá tải 30% trong thời gian 5 ngày đêm.

b) Cáp đặt trong không khí

Cáp đặt trong không khí thì nhiệt lượng truyền ra môi trường xung quanh bằng đối lưu và dẫn nhiệt. Vì vậy phương trình cân bằng nhiệt giống như dây trần.

Phụ tải lâu dài cho phép của cáp đặt trong không khí cho trong phụ lục ứng với các điều kiện tiêu chuẩn: nhiệt độ môi trường là $\theta_0 = 25^{\circ}\text{C}$ và nhiệt độ cho phép của cáp như trên.

Khi nhiệt độ khác 25°C cần phải đưa vào hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ K_{θ} cho trong phụ lục.

Đối với cáp đặt trong rãnh và tường không cần đưa vào hệ số hiệu chỉnh số cáp K_n .

c) Phụ tải lâu dài cho phép của cáp đặt trong nước

Cáp đặt trong nước, điều kiện làm mát tốt hơn so với đặt trong đất và không khí do nước dẫn nhiệt tốt hơn. Toả nhiệt từ cáp ra môi trường nhờ sự truyền nhiệt bằng đối lưu do sự chuyển dời của các lớp nước nóng. Vì vậy cáp đặt trong nước cho phép phụ tải lớn hơn khoảng 30% so với cáp đặt trong đất. Dựa vào phương trình cân bằng nhiệt, người ta cũng rút ra dòng điện lâu dài cho phép của cáp và tính sẵn cho trong phụ lục, ứng với nhiệt độ chuẩn môi trường là: $\theta = 15^{\circ}\text{C}$.

Khi nhiệt độ môi trường khác 15°C thì cần phải đưa vào hệ số hiệu chỉnh K_{θ} .

Cáp đặt trong nước cũng không cần hệ số hiệu chỉnh số cáp K_n .

§ 2-4. BẢO VỆ DÂY DẪN VÀ CÁP BẰNG CẦU CHẢY TRONG MẠNG HẠ ÁP

Nếu vì một lý do nào đó dòng điện tăng lên đột ngột hay quá tải mà không cắt mạch điện thì chất cách điện sẽ bị hư hỏng hoặc cháy dây dẫn. Để đảm bảo an toàn cho mạng điện, ngăn ngừa sự cố, người ta dùng thiết bị tự động cắt mạng điện khỏi nguồn điện. Thiết bị bảo vệ phổ biến và đơn giản nhất là cầu chảy.

1. Đặc tính của dây chảy

Bộ phận chủ yếu nhất của cầu chảy là dây chảy. Nó được chế tạo bằng kim loại có nhiệt độ nóng chảy thấp như: chì, nhôm, đồng, kẽm. Ở điều kiện làm việc bình thường dây chảy như 1 đoạn dây dẫn. Khi sự cố, dòng điện tăng lên đột ngột và nhiệt độ tăng lên vượt quá giá trị nóng chảy thì dây chảy tự động đứt, tách mạng điện khỏi nguồn, bảo vệ an toàn cho thiết bị và đường dây.

Thân của cầu chảy có dạng hình ống tròn, hình bản phiến hay hình hộp chữ nhật. Trong cầu chảy có thể chứa đầy môi trường không cháy như cát, thạch anh.

Dây chảy chia làm 2 loại:

Loại không có quán tính (dung lượng nhiệt lớn), chế tạo bằng kim loại có điện trở suất nhỏ như đồng, bạc, chì và hợp kim của nó.

Loại có quán tính lớn (dung lượng nhiệt nhỏ) chế tạo bằng kim loại có điện trở suất lớn như nhôm, kẽm và hợp kim của nó.

Dòng điện định mức của dây chảy (ký hiệu là I_{dc}) là dòng điện mà dây chảy có thể làm việc lâu dài không bị chảy và không nóng quá nhiệt độ quy định từ 60 - 70°C. Dòng điện dây chảy được chế tạo với các thang tiêu chuẩn như sau:

6; 10; 15; 20; 25; 35; 60; 80; 100; 125; 160; 200; 225; 260; 300; 350; 430; 500; 600; 700; 850 và 1000A.

Dây chảy được thử nghiệm bằng 2 thông số sau đây:

Dòng điện thử nghiệm nhỏ nhất (I_{min}) là dòng điện có thể chạy qua dây chảy trong thời gian từ 1 -2 giờ mà dây chảy không bị chảy. $I_{min} = (1,3 - 1,5) I_{dc}$.

Dòng điện thử nghiệm lớn nhất (I_{max}) là dòng điện qua dây chảy làm cho nó chảy ngay.

$$I_{max} = (1,6 - 2,1) I_{dc}$$

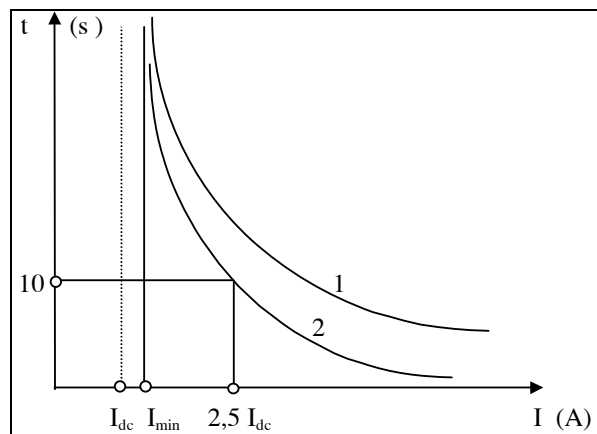
Dòng điện qua dây chảy càng lớn hơn I_{dc} thì thời gian chảy càng nhanh. Sự phụ thuộc giữa thời gian chảy và dòng điện qua dây chảy gọi là đặc tính dây chảy có dạng như hình 2-1.

Hình 2-1.

Đặc tính của dây chảy

1- dây chảy có quán tính;

2- dây chảy không có quán tính.



Thực tế đặc tính dây chảy có sự tản mạn rất lớn. Ví dụ dây chảy có $I_{dc} = 60$ A sẽ chảy trong thời gian từ 0,006 - 0,1 s khi dòng điện chạy qua là 1000 A. Sự tản mạn của đặc tính

dây chấy phải được đề cập đến khi tiến hành chọn dây chấy trên các đường dây chính và nhánh rẽ để đảm bảo tác động chọn lọc.

2. Lựa chọn dây chấy

Yêu cầu khi chọn dây chấy là:

- ề điều kiện làm việc bình thường phải đảm bảo dẫn điện liên tục và an toàn.
- Lúc sự cố phải lập tức cắt điện và chỉ cắt mạch nơi có sự cố.
- Bảo đảm tính chọn lọc: khi sự cố, đường dây nhánh phía sau phải được cắt trước đường dây chính.

a) Đối với phụ tải không có dòng điện nhảy vọt như mạng điện thấp sáng, sinh hoạt ... thì dây chấy được chọn theo dòng điện làm việc của mạng điện:

$$I_{dc} \geq I_{lv} \cdot \quad (2-27)$$

I_{lv} - là dòng điện làm việc của mạng điện.

Trường hợp phụ tải là động cơ điện một chiều, động cơ rôto dây quấn có điện trở mở máy thì dòng điện khởi động không vượt quá $(1,5 - 2) I_H$, dòng điện này không nguy hiểm đối với dây chấy cho nên dây chấy có thể chọn theo dòng điện làm việc như (2-27). Nếu động cơ khởi động mang tải thì dòng điện dây chấy cần phải chọn tăng lên một ít, lúc đó chọn $I_{dc} \geq 1,25 I_{lv}$.

b) Đối với phụ tải có dòng điện nhảy vọt như động cơ rô to lồng sóc. Dòng điện lúc mở máy có thể tăng lên từ 5 - 7 lần dòng điện định mức. Ta phải chọn dây chấy, sao cho chúng không bị chấy trong thời gian khởi động (khoảng 10 s). Điều kiện chọn dây chấy là:

$$I_{dc} = \frac{I_{mm}}{\alpha} \quad (2-28)$$

trong đó:

I_{mm} - là dòng điện mở máy của động cơ;

α - là hệ số phụ thuộc vào điều kiện khởi động;

$\alpha = 1,6$ - khi khởi động nặng nề (đầy tải) hoặc tự khởi động;

$\alpha = 2$ - khi khởi động ngắn hạn;

$\alpha = 2,5$ - khi khởi động nhẹ (không tải hay tải nhỏ).

c) Đối với cầu chấy bảo vệ đường dây chính, trên đó có các động cơ điện và một số thụ điện khác

Dây chấy chọn giá trị lớn nhất của một trong 2 điều kiện sau:

$$I_{dc} = K_{dt} \sum_1^n I_{lv} \quad (2-29)$$

$$I_{dc} = \frac{I_{mmMax}}{\alpha} + K_{dt} \sum_1^{n-1} I_{lv} \quad (2-30)$$

K_{dt} - là hệ số đồng thời;

$\sum_1^n I_{lv}$ - là tổng các dòng điện làm việc;

I_{minMax} - là dòng điện khởi động lớn nhất của một động cơ;

$\sum_1^{n-1} I_{lv}$ - là tổng các dòng điện làm việc trừ dòng điện khởi động lớn nhất.

Nếu số động cơ của một đường dây chính lớn hơn 10 thì có thể không cần xét điều kiện thứ hai.

Để bảo vệ đường dây chính có tính chọn lọc thì dây chảy ở đường dây chính phải lớn hơn dây chảy ở đường dây nhánh phía sau nó từ một đến 2 cấp.

Đối với cầu dao thì chọn lớn hơn dây chảy một cấp.

3. Chọn dây dẫn và cáp phối hợp với dây chảy

Để chọn dây dẫn và cáp ta phải bố trí cầu dao, cầu chảy, xác định dòng điện dây chảy, dòng điện làm việc của mạng điện. Sau đó xác định dòng điện lâu dài cho phép theo điều kiện đốt nóng có kể đến hệ số hiệu chỉnh K_θ , K_n .

Dòng điện cho phép tính toán xác định theo 3 trường hợp là: mạng điện có bảo vệ quá tải và ngắn mạch; mạng điện có bảo vệ ngắn mạch và mạng điện cho đường dây chính.

a) Mạng điện có bảo vệ quá tải và ngắn mạch

Các mạng điện thấp sáng, sinh hoạt, nhà ở công cộng, tư nhân, các cửa hàng, ... mà phụ tải có thể tăng thêm; dây dẫn và cáp cần phải bảo vệ quá tải và ngắn mạch thì dòng điện cho phép tính theo công thức.

$$I_{cp} \geq 1,25 I_{dc} \quad (2-31)$$

Khi đó dòng điện thử nghiệm nhỏ nhất của dây chảy là:

$$I_{\text{min}} = 1,3 I_{dc} = 1,3 \cdot 0,8 I_{cp} = 1,04 I_{cp}$$

Dây chảy trong trường hợp này sẽ bảo vệ được dây dẫn khỏi quá tải và ngắn mạch.

b) Mạng điện có bảo vệ ngắn mạch

Ở mạng điện thấp sáng xí nghiệp nhà máy ... mà các phụ tải đã được tính toán kỹ, không có khả năng tăng thêm nữa thì cầu chảy dùng để bảo vệ ngắn mạch. Lúc này dòng điện cho phép của dây dẫn chọn theo dòng điện dây chảy:

$$I_{cp} \geq I_{dc} \quad (2-32)$$

Đối với các động cơ điện, mạng điện không có khả năng quá tải tiết diện dây dẫn được chọn theo dòng điện làm việc.

$$I_{cp} \geq I_{lv} \quad (2-33)$$

Đồng thời phải thỏa mãn điều kiện:

$$3I_{cp} \leq I_{dc}; \quad I_{cp} \geq \frac{1}{3} I_{dc} \quad (2-34)$$

Sở dĩ như vậy là vì dòng điện mở máy lớn nhất $I_{mm} \leq 7,5 I_H$ suy ra $I_{dc} = 3I_H$.

Nếu không thoả mãn điều kiện (2-34) thì phải tăng tiết diện dây dẫn.

c) Đối với đường dây chính có nhiều phụ tải

Dòng điện cho phép của dây dẫn chọn theo tổng các dòng điện làm việc có kể đến hệ số làm việc đồng thời:

$$I_{cp} = K_{dt} \sum I_{lv} \quad (2-35)$$

Sau khi tính toán dòng điện lâu dài cho phép của dây dẫn, dòng điện dây chảy cần kiểm tra theo điều kiện (2-34). Nếu không thoả mãn điều kiện (2-34) thì phải tăng tiết diện dây dẫn.

Dòng điện làm việc của động cơ điện được tính như sau:

$$I_{lv} = \frac{K_{pt} \cdot P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (2-36)$$

trong đó:

K_{pt} - là hệ số phụ tải;

η - là hiệu suất của động cơ;

Khi P: kW, U: V thì I tính bằng A.

Dòng điện làm việc của mạng điện chiếu sáng 3 pha là:

$$I_{lv} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3}U} \quad (A) \quad (2-37)$$

§ 2-5. MỘT SỐ VÍ DỤ TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN THEO ĐỐT NÓNG

Ví dụ 1

Từ trạm biến áp đến trạm phân phối 10 kV dùng 3 cáp lõi đồng tiết diện 50 mm² đặt trong đất, khoảng cách giữa các cáp là 200 mm cáp có cách điện bằng giấy tẩm nhựa, có nhiệt độ cho phép là: $\theta = 60^{\circ}C$; nhiệt độ của môi trường là $20^{\circ}C$. Phụ tải của máy biến áp là 5500 kW, $\cos \varphi = 0,85$. Tìm nhiệt độ phát nóng của cáp

Giải.

Tra bảng phụ lục với nhiệt độ $\theta_{cp} = 60^{\circ}C$, nhiệt độ của môi trường là $\theta = 20^{\circ}C$ có $K_{\theta} = 0,94$.

Với số cáp $n = 2$; $D = 200$ mm ta có hệ số hiệu chỉnh $K_n = 0,87$.

Cáp lõi đồng đặt trong đất tiết diện $F = 50$ mm² có $[I]_{cp} = 180$ (A)

Dòng điện phụ tải của mỗi cáp là:

$$I = \frac{P}{n\sqrt{3}U \cos \varphi} = \frac{5500}{3\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,85} = 124,67(A)$$

Dòng điện cho phép ứng với điều kiện thực tế là:

$$I_{cp} = K_{\theta} \cdot K_n [I]_{cp} = 0,94 \cdot 0,87 \cdot 180 = 147 \text{ (A)}.$$

Nhiệt độ của cáp xác định theo công thức:

$$\frac{I}{I_{cp}} = \sqrt{\frac{\theta - 20}{60 - 15}} \rightarrow \theta = \left(\frac{I}{I_{cp}}\right)^2 (60 - 15) + 20$$

$$\theta = \left(\frac{124,67}{147}\right)^2 (60 - 15) + 20 = (32,3 + 20) = 52,3 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Nhiệt độ của cáp bảo đảm điều kiện: $\theta < \theta_{cp}$

Ví dụ 2

Để truyền tải từ trạm biến áp 35/6 kV tới một cụm động cơ điện và phụ tải, tổng công suất $P_t = 3000 \text{ kW}$, $\cos\varphi = 0,8$, người ta dùng 2 cáp lõi đồng đặt trong hầm cách nhau 100 mm. Nhiệt độ cực đại của đất là 20°C . Tìm tiết diện của dây dẫn.

Giải.

Tra bảng phụ lục ứng với điều kiện đã cho ta tìm được $K_{\theta} = 0,95$; $K_n = 0,9$.

Dòng điện phụ tải của mỗi cáp là:

$$I_t = \frac{P}{n\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{3000}{2\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,8} = 180 \text{ (A)}$$

Dòng điện này tương ứng với dòng điện cho trong bảng phụ lục có kể đến hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ K_{θ} và hiệu chỉnh số cáp K_n .

Dòng điện cho phép tính toán của phụ tải là:

$$I_{cp} = \frac{I_t}{K_{\theta} K_n} = \frac{180}{0,95 \cdot 0,9} = 210,2 \text{ (A)}$$

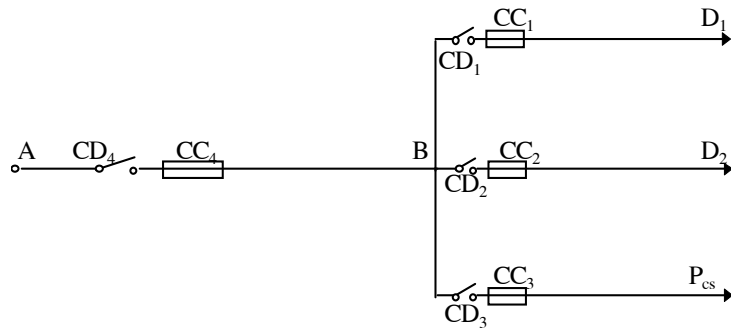
Dựa vào I_{cp} tra bảng chọn cáp 3 lõi tiết diện bằng đồng, cách điện bằng giấy tẩm, vỏ chì tiết diện là $F = 70 \text{ mm}^2$ có $[I]_{cp} = 245 \text{ (A)} > I_{cp} = 210,2 \text{ (A)}$

Ví dụ 3

Tính chọn dây dẫn, dây chảy và cầu dao cho mạng điện như hình (2-2). Điện áp của mạng điện là 380 V. Công suất điện chiếu sáng là $P_{cs} = 7 \text{ kW}$ với hệ số đồng thời $K_{dt} = 0,85$. Dây dẫn và cáp dùng lõi đồng bọc cách điện cao su và Polyclovinin. Các động cơ có số liệu như sau:

Số	Công suất (kW)	Kiểu rôto	cosφ	η	k _{mm}	K _{pt}	α
1	14	Pha	0,85	0,86	1,5	0,95	1,6
2	20	Lồng sóc	0,88	0,89	5,5	0,95	2,5

Hình 2-2.
Mạng điện tính toán



Giải

1. Xác định dòng điện làm việc.

$$I_{lv1} = \frac{K_{pt} \cdot P_{H1} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{0,95 \cdot 14 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,86} = 27,6(A)$$

$$I_{lv2} = \frac{K_{pt} \cdot P_{H2} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{0,95 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,89} = 36,8(A)$$

$$I_{lv3} = \frac{K_{dt} \cdot P}{\sqrt{3}U} = \frac{0,85 \cdot 7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 9,05(A).$$

2. Chọn cầu chảy và cầu dao.

$$I_{dc1} = I_{lv1}; \text{ Căn cứ vào thang dây chảy ta chọn } I_{dc1} = 35 (A).$$

Chọn cầu dao lớn hơn cầu chảy một cấp: $I_{cd} = 60 (A)$

$$I_{dc2} = \frac{K_{mm} \cdot I_{lv}}{\alpha} = \frac{5,5 \cdot 36,8}{2,5} = 80,96 (A).$$

Chọn dây chảy: $I_{dc2} = 100 (A)$; Cầu dao $I_{cd2} = 125 (A)$

$$I_{dc3} = I_{lv3}; \text{ Căn cứ vào thang dây chảy chọn } I_{dc3} = 10 (A); I_{cd3} = 15 (A).$$

Đối với đường dây chính đoạn AB, chọn dây chảy theo 2 điều kiện sau:

$$I_{dc} = \sum I_{lv} = 27,6 + 36,8 + 9,05 = 75,25(A).$$

Theo thang dây chảy chọn I_{dc} đoạn AB là $I_{cd4} = 80 (A)$.

$$I_{dc} = \frac{K_{mm} \cdot I_{lv1}}{\alpha} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{lv} = \frac{5,5 \cdot 36,8}{2,5} + (27,6 + 9,05) = 117,6(A)$$

Theo thang dây chảy chọn $I_{dc4} = 125 (A)$

So sánh 2 điều kiện trên ta chọn dây chảy lớn hơn, $I_{dc4} = 125 (A)$; Chọn cầu dao $I_{cd4} = 160 (A)$.

3. Chọn tiết diện dây dẫn:

$$I_{cp1} = I_{lv1} = 27,6 (A).$$

Tra bảng phụ lục chọn dây dẫn đồng 3 lõi: $3 \times 4 \text{mm}^2$ có $[I]_{cp} = 35 (A)$.

Kiểm tra điều kiện $I_{dc1} < 3[I]_{cp} = 105$ (A), bảo đảm.

$$I_{cp2} = I_{lv2} = 36,8 \text{ (A)}.$$

Tra bảng phụ lục chọn dây dẫn đồng 3 lõi $3 \times 6 \text{ mm}^2$ có $[I]_{cp} = 42$ (A).

Kiểm tra điều kiện: $I_{dc2} < 3[I]_{cp}$ bảo đảm .

$$I_{cp3} = 1,25I_{dc3} = 1,25 \cdot 10 = 12,5 \text{ (A)}.$$

Tra bảng phụ lục chọn dây đồng 4 lõi tiết diện $4 \times 1,5 \text{ mm}^2$ có $[I]_{cp} = 16$ (A).

Đối với đường dây chính đoạn AB, chọn dây dẫn theo tổng các dòng điện làm việc: $\sum I_{lv} = 75,25$ A.

Tra bảng phụ lục 9, chọn dây đồng 4 lõi tiết diện $4 \times 25 \text{ mm}^2$, có $[I]_{cp} = 90$ A.

CHƯƠNG 3

TỔN THẤT CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG TRONG MẠNG ĐIỆN

§ 3-1. TỔN THẤT CÔNG SUẤT TRÊN ĐƯỜNG DÂY

1. Ý nghĩa của việc xác định tổn thất công suất

Để Truyền tải điện năng đến các hộ tiêu thụ người ta dùng dây dẫn và các máy biến áp. Khi có dòng điện chạy qua, do chúng có điện trở và điện kháng nên gây ra tổn thất công suất tác dụng ΔP và công suất phản kháng ΔQ . Ở đây ta tiến hành xét mạng điện ở chế độ xác lập là chế độ các thông số không thay đổi hoặc thay đổi không đáng kể. Từ đó làm cơ sở cho việc thiết kế, quản lý và vận hành lưới điện một cách hợp lý nhất.

Năng lượng tổn thất do dòng điện truyền tải (ΔA) biến thành nhiệt năng làm nóng dây dẫn và máy biến áp, cuối cùng toả ra môi trường xung quanh. Trong mạng điện có chiều dài ngắn, công suất bé thì tổn thất công suất và năng lượng không nhiều; nhưng trong những mạng điện truyền tải công suất lớn và đi xa thì tổn thất công suất rất lớn (chiếm từ 10 -15 % công suất truyền tải).

Lượng điện bị tổn thất trong quá trình truyền tải do nhà máy điện cung cấp. Như vậy công suất nguồn phát phải tăng lên để bù vào phần công suất bị tổn thất, lượng nhiên liệu cũng tăng làm cho giá thành điện tăng cao. Mặt khác tổn thất công suất phản kháng tuy không ảnh hưởng đến chi phí nhiên liệu nhưng phải dùng thêm các thiết bị như tụ điện, máy bù đồng bộ cũng làm vốn đầu tư của mạng tăng lên. Như vậy việc nghiên cứu tổn thất công suất và năng lượng có ý nghĩa rất quan trọng. Trên cơ sở đó đề ra các biện pháp làm giảm tổn thất và hạ giá thành điện năng.

2. Tổn thất công suất trên đường dây có một phụ tải

Trong mạng điện địa phương, khi tính hao tổn công suất, trong mức độ chính xác cho phép, tổn thất công suất được tính theo điện áp định mức của mạng. Tổn thất công suất tác dụng trên đường dây dòng điện xoay chiều 3 pha được xác định theo công thức:

$$\Delta P = 3I^2R = 3(I_a^2 + I_p^2) R \quad (3-1)$$

trong đó:

I - là dòng điện toàn phần truyền tải trên đường dây;

I_a - là thành phần dòng điện tác dụng; $I_a = I \cos\varphi$ (3-2)

I_p - là thành phần dòng điện phản kháng; $I_p = I \sin\varphi$ (3-3)

R - là điện trở của dây dẫn.

Thay dòng điện bằng công suất 3 pha ($S = \sqrt{3}UI$) ta có:

$$\Delta P = 3 \left(\frac{S}{\sqrt{3}U} \right)^2 R = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad (3-4)$$

Tổn thất công suất phản kháng có giá trị là:

$$\Delta Q = 3I^2 X = 3(I_a^2 + I_p^2) X \quad (3-5)$$

hay
$$\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X \quad (3-6)$$

U - là điện áp điểm nút, mạng điện địa phương lấy bằng điện áp định mức U_{dm} .

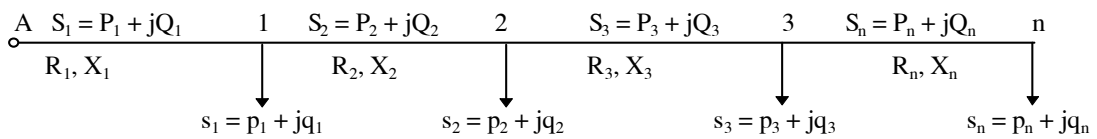
Nếu P là kW; Q là kVAr; U là V; R, X là Ω thì ΔP là W và ΔQ là VAr.

Khi yêu cầu tính toán chi tiết hơn thì các đại lượng công suất, điện áp phải lấy cùng một điểm trên đường dây.

3. Tổn thất công suất trên đường dây có nhiều phụ tải

Nếu đường dây có nhiều phụ tải thì tổn thất công suất của cả đường dây bằng tổn thất công suất của các đoạn cộng lại.

Giả sử đường dây có n phụ tải (hình 3-1)



Hình 3-1. Đường dây có nhiều phụ tải

Ký hiệu trên sơ đồ:

s_1, s_2, \dots, s_n - là công suất phụ tải tại các điểm 1, 2, ... n;

S_1, S_2, \dots, S_n - là công suất truyền tải trên các đoạn 1, 2 ... n;

R_1, R_2, \dots, R_n ; X_1, X_2, \dots, X_n - là điện trở tác dụng và phản kháng trên các đoạn 1, 2, ... n.

Công suất truyền tải trên đường dây khi không kể đến hao tổn công suất là:

$$S_1 = P_1 + jQ_1 = s_1 + s_2 + \dots + s_n$$

$$S_2 = P_2 + jQ_2 = s_2 + s_3 + \dots + s_n$$

.....

$$S_n = P_n + jQ_n = s_n$$

Hao tổn công suất trên các đoạn là:

$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_{dm}^2} R_1; \Delta Q_1 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_{dm}^2} X_1$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{dm}^2} R_2; \Delta Q_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{dm}^2} X_2$$

$$\Delta P_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{dm}^2} R_n; \Delta Q_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{dm}^2} X_n$$

Hao tổn công suất tổng cộng là:

$$\Delta S_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma} + j\Delta Q_{\Sigma} = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n = \sum_{i=1}^n \Delta S_i \quad (3-7)$$

$$\Delta S_{\Sigma} = (\Delta P_1 + \Delta P_2 + \dots + \Delta P_n) + j(\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \dots + \Delta Q_n) \quad (3-8)$$

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_{dm}^2} R_i + j \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_{dm}^2} X_i \quad (3-9)$$

Nếu đường dây nhiều phụ tải có tiết diện không đổi thì hao tổn công suất tính theo biểu thức:

$$\Delta S_{\Sigma} = R \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_{dm}^2} + jX \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_{dm}^2} \quad (3-10)$$

R, X - là điện trở tác dụng và phản kháng của cả đường dây.

4. Tổn thất công suất trên đường dây dòng điện một pha và dòng điện một chiều

Hao tổn công suất trong trường hợp này được tính tương tự như trên nhưng thay 3 pha bằng một pha 2 dây.

+ Với mạch điện xoay chiều một pha thì:

$$\Delta P = 2I^2R = 2\left(\frac{S}{U_{dm}}\right)^2 R = 2\frac{P^2 + Q^2}{U_{dm}^2} R \quad (3-11)$$

$$\Delta Q = 2I^2X = 2\left(\frac{S}{U_{dm}}\right)^2 X = 2\frac{P^2 + Q^2}{U_{dm}^2} X \quad (3-12)$$

ở đây: U_{dm} - là điện áp pha định mức.

+ Đối với mạng điện một chiều hao tổn công suất là:

$$\Delta P = 2I^2R = 2\left(\frac{P}{U_{dm}}\right)^2 R = 2\frac{P^2}{U_{dm}^2} R \quad (3-13)$$

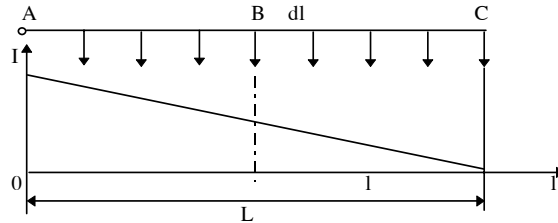
5. Tổn thất công suất trên đường dây có phụ tải phân bố đều

Những mạng điện có phụ tải phân bố đều như mạng điện thành phố hoặc khu dân cư mà cứ mỗi quãng ngắn có một phụ tải gần bằng nhau đầu vào ta có thể coi như mạng có phụ tải phân bố đều (hình 3-2). Một cách gần đúng ta có thể coi dòng điện biến thiên dọc theo chiều dài đường dây. Lấy một vi phân chiều dài dây là dl tại điểm B. Tương ứng tại đó có dòng điện là:

$$I_B = \frac{I.l}{L}$$

L, l - là chiều dài cả đường dây và chiều kể từ điểm xét B đến cuối đường dây

Hình 3-2.
Đường dây có phụ tải phân bố đều



Tổn thất công suất ΔP trên một đoạn vi phân chiều dài dl có điện trở là dr :

$$d\Delta P = 3I_B^2 \cdot dr = 3I_B^2 \cdot r_0 \cdot dl$$

$$d\Delta P = 3\left(\frac{I.l}{L}\right)^2 \cdot r_0 \cdot dl \quad (3-14)$$

r_0 - là điện trở của một đơn vị chiều dài đường dây. $dr = r_0 dl$

Lấy tích phân (3-14) ta được toàn bộ hao tổn công suất trên đường dây từ A đến C:

$$\Delta P = \int_0^L 3\left(\frac{I.l}{L}\right)^2 r_0 dl = 3 \frac{I^2 r_0}{L^2} \int_0^L l^2 dl = 3 \frac{I^2 r_0}{L^2} \frac{L^3}{3}$$

$$\Delta P = I^2 \cdot r_0 \cdot L = I^2 R \quad (3-15)$$

So sánh ta thấy hao tổn công suất trên đường dây phân bố đều bằng 1/3 hao tổn công suất khi phụ tải tập trung ở cuối đường dây.

§ 3-2. TỔN THẤT CÔNG SUẤT TRONG MÁY BIẾN ÁP

Tổn thất công suất trong máy biến áp gồm 2 thành phần là tổn thất trong lõi thép và trong cuộn dây của máy biến áp.

1. Tổn thất công suất trong cuộn dây của máy biến áp

Khi có dòng điện chạy trong cuộn dây của máy biến áp, sinh ra hao tổn công suất gọi là hao tổn đồng (ΔS_{cu}). Hao tổn đồng gồm 2 thành phần là hao tổn công suất tác dụng (ΔP_{cu}) và hao tổn công suất phản kháng (ΔQ_{cu}). Các thành phần hao tổn này phụ thuộc vào dòng điện tải nên giá trị của nó cũng thay đổi theo dòng điện phụ tải.

Ta xét ở chế độ tải định mức, tổn thất công suất tác dụng trong cuộn dây máy biến áp lấy bằng tổn thất công suất khi thí nghiệm ngắn mạch:

$$\Delta P_{Cudm} = \Delta P_K = 3I_{dm}^2 R_B \quad (3-16)$$

Tổn thất công suất phản kháng khi tải định mức lấy bằng tổn thất tản từ:

$$\Delta Q_{\text{Cudm}} = \frac{u_p \% S_{dm}}{100} \quad (3-17)$$

trong đó: $u_p \%$ - là điện áp phản kháng ngắn mạch % trong cuộn dây máy biến áp;

R_B - là điện trở tác dụng trong cuộn dây 1 pha của máy biến áp.

Đối với máy biến áp công suất lớn, điện trở R_B rất nhỏ so với điện kháng X_B nên ΔQ_{Cu} ở tải định mức có thể xác định theo điện áp ngắn mạch ($u_K \%$).

$$\Delta Q_{\text{Cudm}} = \frac{u_K \% S_{dm}}{100} = 3I_{dm}^2 X_B \quad (3-18)$$

Khi máy biến áp làm việc với tải khác định mức thì tổn thất công suất tác dụng và phản kháng tính theo biểu thức:

$$\Delta P_{\text{Cu}} = 3I^2 R_B; \quad \Delta Q_{\text{Cu}} = 3I^2 X_B \quad (3-19)$$

trong đó :

I - là dòng điện phụ tải;

R_B, X_B - là điện trở tác dụng và phản kháng trong cuộn dây của máy biến áp.

Từ (3-16) và (3-19) suy ra :

$$\Delta P_{\text{Cu}} = \Delta P_{\text{Cudm}} \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 = \Delta P_K \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 = \left(\frac{S}{U_{dm}} \right)^2 R_B \quad (3-20)$$

Từ (4-17) và (4-19) suy ra:

$$\Delta Q_{\text{Cu}} = \Delta Q_{\text{Cudm}} \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 = \frac{u_K \% S^2}{100 S_{dm}} = \left(\frac{S}{U_{dm}} \right)^2 X_B \quad (3-21)$$

Hao tổn công suất trong máy biến áp là:

$$\Delta S_{\text{Cu}} = \Delta P_{\text{Cu}} + j\Delta Q_{\text{Cu}} = \left(\frac{S}{U_{dm}} \right)^2 R_B + j \left(\frac{S}{U_{dm}} \right)^2 X_B \quad (3-22)$$

U_{dm} - là điện áp định mức của cuộn sơ cấp máy biến áp.

2. Tổn thất công suất trong lõi thép của máy biến áp

Tổn thất công suất trong lõi thép của máy biến áp gồm 2 thành phần là thành phần hao tổn công suất tác dụng (ΔP_{Fe}) và hao tổn công suất phản kháng (ΔQ_{Fe}). Các giá trị này không phụ thuộc vào dòng phụ tải mà phụ thuộc vào cấu tạo và vật liệu của máy biến áp, được xác định theo thông số kỹ thuật của máy biến áp:

$$\Delta S_{\text{Fe}} = \Delta P_{\text{Fe}} + j\Delta Q_{\text{Fe}} \quad (3-23)$$

Hao tổn công suất tác dụng trong lõi thép máy biến áp do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra, xác định theo biểu thức:

$$\Delta P_{\text{Fe}} = \Delta P_0 \quad (3-24)$$

Hao tổn công suất phản kháng trong lõi thép máy biến áp do tổn hao từ sinh ra tính theo công thức:

$$\Delta Q_{Fe} = \frac{I_0 \% S_{dm}}{100} \quad (3-25)$$

Các giá trị ΔP_K , ΔP_0 , $u_K \%$, I_0 được cho trong lý lịch của máy biến áp theo S_{dm} .

Hao tổn công suất tổng cộng trong máy biến áp là:

$$\begin{aligned} \Delta S_B &= \Delta P_B + j\Delta Q_B \\ \Delta S_B &= (\Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu}) + j(\Delta Q_{Fe} + \Delta Q_{Cu}) \\ \Delta S_B &= [\Delta P_0 + \Delta P_K \left(\frac{S}{S_{dm}}\right)^2] + j \left[\frac{I_0 \% S_{dm}}{100} + \frac{u_K \% \cdot S^2}{100 \cdot S_{dm}} \right] \end{aligned} \quad (3-26)$$

§ 3-3. TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG TRÊN ĐƯỜNG DÂY

Phần năng lượng điện bị mất đi trong quá trình truyền tải gọi là tổn thất điện năng.

Nếu trong khoảng thời gian t phụ tải của mạng điện không thay đổi thì tổn thất điện năng là:

$$\Delta A = \Delta P \cdot t.$$

Thực tế phụ tải của đường dây luôn luôn biến thiên theo thời gian, nó biến đổi theo sự thay đổi của phụ tải và là một đại lượng ngẫu nhiên nên tính toán theo biểu thức trên sẽ không chính xác. Khi tính toán, dòng điện hay công suất phụ tải biến thiên theo thời gian và dạng đồ thị rất phức tạp. Người ta có thể sử dụng dạng đường cong của phụ tải hoặc phải biểu diễn gần đúng đường cong $i(t)$; và $s(t)$ dưới dạng bậc thang hoá để tính toán tổn thất năng lượng với điện áp lấy bằng định mức.

Từ biểu thức: $d\Delta A = 3i^2 r \cdot dt$ ta có:

$$\Delta A = \int_0^t 3r \cdot I^2(t) \cdot dt = r \int_0^t \frac{S^2(t)}{U^2(t)} dt = r \int_0^t \frac{P^2(t) + Q^2(t)}{U^2(t)} dt$$

$$\text{hay} \quad \Delta A = \frac{r}{U_{dm}^2} \sum_{i=1}^n S_i^2 \Delta t_i = 3r \sum_{i=1}^n I_i^2 \Delta t_i \quad (3-27)$$

Tuy nhiên, trong tính toán thường không biết đồ thị $I(t)$, $S(t)$. Để tính hao tổn năng lượng ta phải dùng phương pháp gần đúng dựa theo một số khái niệm quy ước như thời gian sử dụng phụ tải cực đại (T_{max}), thời gian hao tổn công suất cực đại (τ) và dòng điện trung bình bình phương (I_{tbbp}).

1. Thời gian sử dụng công suất cực đại

Giả sử một phụ tải biến thiên trong một năm ($t = 8760$ h) có đồ thị phụ tải như trên hình vẽ 3-3.

Xét một đơn vị thời gian khá bé là dt , dòng điện có giá trị là i coi như không đổi, năng lượng truyền tải trong khoảng thời gian dt là:

$$- dA = Pdt = \sqrt{3} U \cdot i \cdot \cos \varphi dt.$$

Năng lượng truyền tải trên đường dây trong suốt thời gian t là:

$$A = \int_0^t \sqrt{3} U \cdot i \cdot \cos \varphi dt$$

Nếu coi hệ số công suất là không đổi và điện áp của mạng không đổi và lấy bằng điện áp định mức $U = U_{dm}$

$$A = \sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \int_0^t i \cdot dt = \sqrt{3} U_{dm} \cdot \cos \varphi \int_0^t i \cdot dt$$

Đường cong $\int_0^t i dt = S$ - chính là diện tích giới hạn bởi đường cong biểu diễn $i(t)$ và các trục tọa độ.

Vẽ một hình chữ nhật có chiều cao bằng phụ tải cực đại I_{max} (điểm A) và diện tích bằng diện tích giới hạn bởi đường biểu diễn $i(t)$ và các trục tọa độ thì đáy hình chữ nhật này gọi là thời sử dụng phụ tải cực đại, ký hiệu là T_{max} . Ta có :

$$A = \sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \int_0^t i \cdot dt = \sqrt{3} U_{dm} I_{max} \cos \varphi T_{max} = P_{max} \cdot T_{max} \quad (3-28)$$

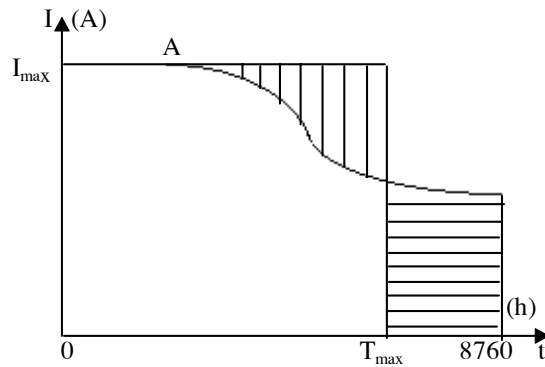
Từ đó tìm được thời gian sử dụng phụ tải cực đại:

$$T_{max} = \frac{A}{P_{max}} = \frac{A}{\sqrt{3} U_{dm} \cos \varphi \cdot I_{max}} = \frac{\int_0^t i \cdot dt}{I_{max}} = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \Delta t_i}{I_{max}} \quad (3-29)$$

Vậy, Thời gian sử dụng công suất cực đại là thời gian cần thiết để toàn bộ năng lượng cả năm truyền tải trên đường dây với dòng điện không đổi bằng dòng điện cực đại.

2. Thời gian hao tổn công suất cực đại

Ta vẽ một đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa bình phương dòng điện phụ tải với biến thiên theo thời gian như hình 3-4.



Hình 3-3. Đồ thị phụ tải hàng năm

Xét một đơn vị thời gian khá bé dt , dòng điện i coi như không đổi, hao tổn năng lượng trong khoảng thời gian dt là:

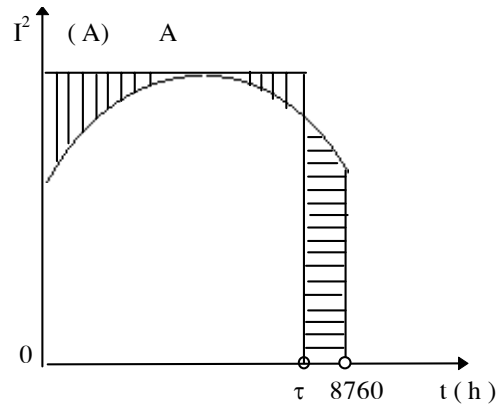
$$d\Delta A = 3.r.i^2 dt$$

Hao tổn năng lượng trong khoảng thời gian t là

$$\Delta A = \int_0^t 3.r.i^2(t).dt .$$

Diện tích giới hạn bởi đường cong biểu diễn $i^2(t)$ với hệ trục tọa độ là:

$$S = \int_0^t .i^2(t).dt = I_{\max}^2 \tau$$



Hình 3-4. Đồ thị của bình phương dòng điện phụ tải với thời gian

Ta vẽ một hình chữ nhật có chiều cao bằng bình phương dòng điện cực đại và diện tích bằng S thì đáy hình chữ nhật gọi là thời gian hao tổn công suất cực đại, ký hiệu là τ .

$$\Delta A = 3.r \int_0^t .i^2(t).dt = 3.r. I_{\max}^2 \tau \quad (3-30)$$

$$\tau = \frac{\Delta A}{\Delta P_{\max}} = \frac{\Delta A}{3.r I_{\max}^2} = \frac{\int_0^t i^2 .dt}{I_{\max}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n i_i^2 \Delta t_i}{I_{\max}^2} \quad (3-31)$$

Thời gian hao tổn công suất cực đại τ là thời gian cần thiết để dòng điện phụ tải cực đại truyền tải trên đường dây gây ra hao tổn năng lượng bằng hao tổn năng lượng thực tế trong cả năm.

Từ (3-31) cho thấy, nếu biết đồ thị phụ tải hoặc I_{\max} và tổng trở đường dây thì chỉ cần xác định τ là ta tìm được ΔA .

Giữa τ và T_{\max} có mối quan hệ với nhau tùy thuộc vào hệ số $\cos\phi$. Để vẽ đường cong biểu diễn mối quan hệ $\tau = f(T_{\max})$ ta làm như sau:

Thu thập các đồ thị phụ tải của các hộ dùng điện khác nhau và phân loại chúng thành từng nhóm với $\cos\phi$ khác nhau, vẽ thành các đường cong. Dựa vào đường cong này ứng với mỗi giá trị của T_{\max} ta có một giá trị của τ . Căn cứ vào đó vẽ được đường cong $\tau = f(T_{\max})$ như trên hình 3-5.

Từ đồ thị hình 3-5, khi biết T_{\max} và $\cos\phi$ ta có thể tìm được τ và ngược lại. Mỗi nhóm thụ điện có một giá trị T_{\max} đặc trưng, ví dụ mạng điện chiếu sáng trong nhà, $T_{\max} = 1500 - 2000$ h. Nhà máy làm việc 1 ca, $T_{\max} = 2000 - 3000$ h, 2 ca $T_{\max} = 3000 - 5000$ h, 3 ca, $T_{\max} =$

5000 - 7000 h. Khi không biết đồ thị phụ tải, nếu biết T_{max} thì τ có thể được xác định bằng công thức thực nghiệm của KeZevit:

$$\tau = (0,124 + T_{max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 \quad (3-32)$$

Đối với các đường dây điện áp cao nhất là từ 330 kV trở lên, ngoài tổn thất điện năng do phát nóng dây dẫn còn có tổn thất điện năng do vầng quang điện gây ra. Như vậy đối với đường dây siêu cao áp hao tổn điện năng có giá trị là:

$$\Delta A = \Delta P_{max} \tau + \Delta P_{vq} \cdot T.$$

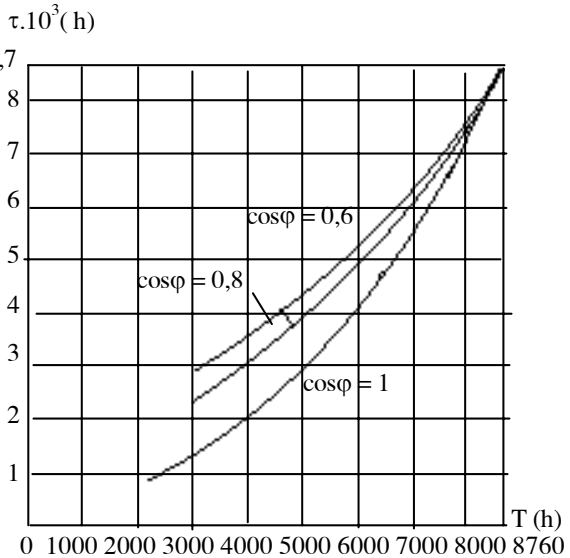
ΔP_{vq} - là tổn thất do vầng quang điện gây ra. Trong các bảng tra, người ta cho các giá trị cực đại và cực tiểu của hao tổn vầng quang để tính giá trị trung bình hao tổn ΔP_{vqtb} .

T - là thời gian xuất hiện vầng quang điện. Khi tính theo ΔP_{vqtb} thì thời gian tính hao tổn là một năm ($t = 8760$ h).

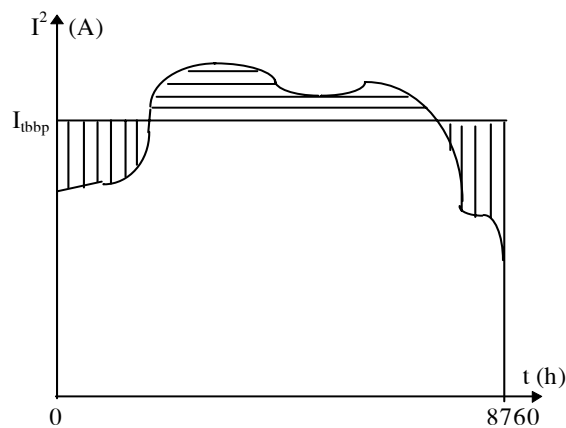
3. Dòng điện trung bình bình phương

Trên đồ thị biểu diễn bình phương dòng điện phụ tải với thời gian (hình 3-6), ta dựng một hình chữ nhật có đáy là 8760 h và có diện tích bằng diện tích giới hạn bởi đường cong $i^2(t)$ và các trục toạ độ thì chiều cao của hình chữ nhật gọi là dòng điện trung bình bình phương, ký hiệu là I_{tbbp} .

Hình 3-6.
Dòng điện trung bình bình phương



Hình 3-5.
Đường cong biểu diễn quan hệ $\tau = f(T_{max})$



Theo đồ thị ta có:

$$\Delta A = 3r \int_0^{8760} i^2 dt = 3r \cdot I_{\text{ibbp}}^2 \cdot 8760 \quad (3-33)$$

$$I_{\text{ibbp}} = \sqrt{\frac{\int_0^{8760} i^2 dt}{8760}} = \sqrt{\frac{I_{\text{max}}^2 \tau}{8760}} = I_{\text{max}} \sqrt{\frac{\tau}{8760}} \quad (3-34)$$

Nếu thời gian truyền tải trong khoảng thời gian t thì:

$$I_{\text{ibbp}} = \sqrt{\frac{\int_0^t i^2 dt}{t}} \quad (3-35)$$

Nếu đồ thị phụ tải cho bằng công suất thì tổn thất điện năng xác định theo biểu thức

$$\Delta A = \left[\left(\frac{S_1}{U_{dm}} \right)^2 t_1 + \left(\frac{S_2}{U_{dm}} \right)^2 t_2 + \dots + \left(\frac{S_n}{U_{dm}} \right)^2 t_n \right] \cdot r = \frac{S_{\text{ibbp}}^2}{U_{dm}^2} r \cdot t \quad (3-36)$$

trong đó:

S_1, S_2, S_n - là công suất truyền tải ứng với thời gian t_1, t_2, \dots, t_n ,

S_{ibbp} - là công suất trung bình bình phương.

r - điện trở đường dây.

4. Tổn thất điện năng trên đường dây có nhiều phụ tải

+ Khi các phụ tải có hệ số $\cos\varphi$ giống nhau thì tổn thất điện năng trong đường dây có nhiều phụ tải là:

$$\Delta A = \frac{\tau}{U_{dm}^2} (S_1^2 r_1 + S_2^2 r_2 + \dots + S_n^2 r_n) = \frac{\tau}{U_{dm}^2} \sum_{i=1}^n S_i^2 r_i \quad (3-37)$$

trong đó:

S_1, S_2, \dots, S_n - là công suất truyền tải trên các đoạn;

r_1, r_2, \dots, r_n - là điện trở của các đoạn.

+ Khi $\cos\varphi$ và T_{max} trên các đoạn đường dây khác nhau thì tổn thất năng lượng lấy bằng tổng tổn thất năng lượng của các đoạn:

$$\Delta A = \left(\frac{S_1}{U_{dm}} \right)^2 r_1 \tau_1 + \left(\frac{S_2}{U_{dm}} \right)^2 r_2 \tau_2 + \dots + \left(\frac{S_n}{U_{dm}} \right)^2 r_n \tau_n \quad (3-38)$$

Nếu $\cos\varphi$ và T_{max} của các phụ tải khác nhau không nhiều (≤ 500 h) ta dùng trị số $\cos\varphi_{\text{bq}}$ và T_{maxbq} để tính. Từ T_{maxbq} và $\cos\varphi_{\text{bq}}$ ta xác định giá trị của τ_{bq} và thay vào biểu thức (3-37) để tính hao tổn năng lượng. Trường hợp các giá trị khác nhau nhiều (≥ 500 h), ta phải tính giá trị bình quân trên từng đoạn và thay vào biểu thức (3-38) để tính hao tổn năng lượng.

$$\cos\varphi_{bq} = \frac{s_1 \cos\varphi_1 + s_2 \cos\varphi_2 + \dots + s_n \cos\varphi_n}{s_1 + s_2 + \dots + s_n} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \cos\varphi_i}{\sum_{i=1}^n s_i}$$

$$\text{Và } T_{\max bq} = \frac{p_{1\max} T_{1\max} + p_{2\max} T_{2\max} + \dots + p_{n\max} T_{n\max}}{p_{1\max} + p_{2\max} + \dots + p_{n\max}} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{i\max} T_{i\max}}{\sum_{i=1}^n p_{i\max}}$$

Trong đó:

s_i - công suất phụ tải thứ i

$\cos\varphi_i$ - hệ số công suất của phụ tải thứ i

$p_{i\max}$ - công suất tác dụng của phụ tải thứ i

$T_{i\max}$ - thời gian sử dụng công suất cực đại của phụ tải thứ i

§ 3-4. Tổn thất điện năng trong máy biến áp và trạm biến áp

Tổn thất trong máy biến áp gồm 2 thành phần: một thành phần phụ thuộc vào phụ tải và một thành phần không phụ thuộc vào phụ tải. Vì vậy tổn thất năng lượng trong máy biến áp cũng có 2 thành phần: thành phần không phụ thuộc vào phụ tải, xác định theo thời gian làm việc của máy biến áp, thành phần phụ thuộc tải xác định theo thời gian tổn thất công suất cực đại τ . Sau đây ta xét tổn thất năng lượng trong trạm biến áp có một máy và trong trạm có nhiều máy làm việc song song.

1. Tổn thất điện năng trong trạm biến áp có một máy biến áp

+ *Nếu không biết đồ thị phụ tải*: Khi biết công suất tiêu thụ và τ thì ta có thể tính được năng lượng tổn thất theo biểu thức:

$$\Delta A_B = \Delta A_{Fc} + \Delta A_{cu}$$

$$\Delta A_B = \Delta P_{Fc} \cdot t + \Delta P_{cu} \cdot \tau = \Delta P_0 \cdot t + \Delta P_k \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 \tau \quad (3-39)$$

trong đó:

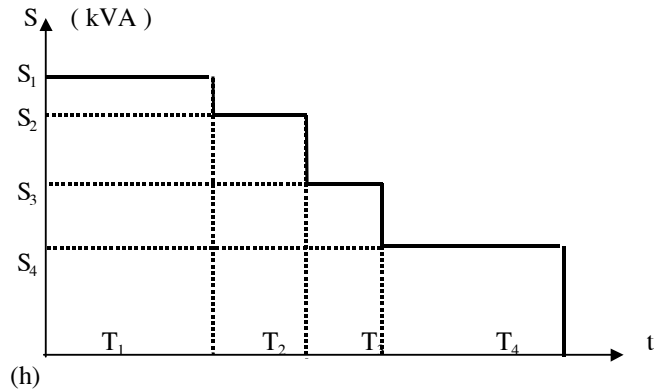
t, τ - là thời gian vận hành và thời gian hao tổn công suất cực đại của máy biến áp;

S, S_{dm} - là công suất phụ tải cực đại và công suất định mức của máy biến áp.

+ *Trường hợp biết phụ tải của máy biến áp*:

Giả sử biết S_{dm} và đồ thị phụ tải hàng năm của máy biến áp (hình 3-7).

Hình 3-7.
Đồ thị phụ tải hàng năm



trong đó:

S_1, S_2, \dots, S_4 - là phụ tải của máy biến áp;

T_1, T_2, \dots, T_4 - là thời gian xảy ra tương ứng với phụ tải S_1, S_2, \dots, S_4 .

Tổn thất điện năng trong máy biến áp với $t = 8760h$ là:

$$\Delta A_B = \Delta P_0 \cdot t + \Delta P_k \left(\frac{S_1}{S_d} \right)^2 T_1 + \Delta P_k \left(\frac{S_2}{S_{dm}} \right)^2 T_2 + \dots + \Delta P_k \left(\frac{S_4}{S_{dm}} \right)^2 T_4 \quad (3-40)$$

trong đó:

ΔP_k - là tổn thất ngắn mạch trong máy biến áp;

$T_1 = t_1; T_2 = t_2 - t_1; T_3 = t_3 - t_2; T_4 = 8760 - t_3$.

2. Tổn thất năng lượng trong trạm biến áp có nhiều máy biến áp làm việc song song.

+ Các máy biến áp có các thông số giống nhau:

Các máy biến áp làm việc song song nhiều hay ít là do phụ tải tăng hay giảm và tùy thuộc vào chế độ vận hành của trạm.

Giả sử trạm biến áp có đồ thị phụ tải hàng năm như hình 3-7. Trong thời gian T_1 phụ tải của trạm biến áp là S_1 và dùng n_1 máy làm việc song song. Thời gian T_2 phụ tải là S_2 có n_2 máy làm việc song song...

Tổn thất điện năng của trạm biến áp khi điện áp bằng điện áp định mức là:

$$\Delta A_T = n_1 \Delta P_0 T_1 + n_2 \Delta P_0 T_2 + \dots + n_n \Delta P_0 T_n + n_1 \Delta P_k \left(\frac{S_1}{n_1 S_{dm}} \right)^2 T_1 + n_2 \Delta P_k \left(\frac{S_2}{n_2 S_{dm}} \right)^2 T_2 + \dots + n_2 \Delta P_k \left(\frac{S_n}{n_n S_{dm}} \right)^2 T_n$$

$$\Delta A_T = \Delta P_0 (n_1 T_1 + n_2 T_2 + \dots + n_n T_n) + \Delta P_k \left[\frac{T_1}{n_1} \left(\frac{S_1}{S_{dm}} \right)^2 + \frac{T_2}{n_2} \left(\frac{S_2}{S_{dm}} \right)^2 + \dots + \frac{T_n}{n_n} \left(\frac{S_n}{S_{dm}} \right)^2 \right] \quad (3-41)$$

Tổng quát:

$$\Delta A_T = \Delta P_0 \sum_{i=1}^n n_i T_i + \Delta P_k \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{n_i} \left(\frac{S_i}{S_{dm}} \right)^2 \quad (3-42)$$

Nếu có n máy biến áp làm việc song song vận hành suốt cả năm, S_{max} là công suất cực đại của phụ tải trạm thì:

$$\Delta A = n \Delta P_0 \cdot t + \frac{1}{n} \Delta P_k \left(\frac{S_{max}}{S_{dm}} \right)^2 \tau \quad (3-43)$$

+ Đối với các máy biến áp ghép song song có dung lượng khác nhau (điều kiện phải đảm bảo là các máy có $u_k\%$ như nhau) thì phụ tải phân bố giữa chúng tỷ lệ với công suất định mức của mỗi máy:

$$S_1 = S \cdot \frac{S_{dm1}}{\sum S_{dmi}}, \dots, S_n = S \cdot \frac{S_{dmn}}{\sum S_{dmi}}$$

Trong đó: $S_1 \dots S_n$ là phụ tải các máy biến áp nhận được,

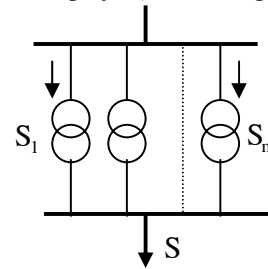
S_{dm1}, \dots, S_{dmn} là công suất định mức của các máy biến áp.

Sau khi xác định được công suất phụ tải đi qua từng máy biến áp,

ta tính được hao tổn công suất và điện năng của từng máy biến áp. Hao tổn công suất của trạm bằng tổng các hao tổn của các máy cộng lại

$$\Delta S_{\Sigma max} = \sum (\Delta P_{0i} + \Delta P_{cu max i}) + j(\Delta Q_{0i} + \Delta Q_{cu max i})$$

Hao tổn điện năng của trạm được tính theo thời gian làm việc của các máy biến áp và phụ tải tương ứng đi qua các máy biến áp. Nếu thời gian làm việc song song của các máy biến áp trong suốt cả năm thì tính theo công suất cực đại đi qua từng máy và τ của đồ thị phụ tải.



§ 3-5. ẢNH HƯỞNG CỦA TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG ĐẾN GIÁ THÀNH TRUYỀN TẢI

Tổn thất điện năng có ảnh hưởng đến giá thành truyền tải. Để nâng cao tính kinh tế trong vận hành mạng điện, trước hết ta đề ra một số biện pháp giảm tổn thất điện năng.

1. Các biện pháp làm giảm tổn thất điện năng trong mạng điện

+ Nâng cao hệ số công suất của phụ tải:

Sử dụng các thiết bị điện một cách hợp lý, không để chúng làm việc non tải là cách tốt nhất để nâng cao hệ số $\cos\phi$. Đối với các động cơ không đồng bộ người ta có sử dụng các biện pháp sau:

- Chọn công suất động cơ phù hợp với công suất của máy công tác.
- Chuyển đổi dây quấn động cơ từ đấu Δ sang đấu Y (động cơ rôto dây quấn) khi động cơ mang tải dưới 40%.
- Hạn chế động cơ làm việc không tải.
- Thay động cơ không đồng bộ bằng động cơ đồng bộ.
- + Giảm công suất phản kháng truyền tải trong mạng điện.

Khi đặt tụ điện hay máy bù đồng bộ tại hộ dùng điện phát ra công suất phản kháng là Q_B thì công suất phản kháng cần thiết để truyền tải trên đường dây sẽ giảm xuống bằng $(Q - Q_B)$. Do đó tổn thất công suất giảm đi:

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_B)^2}{U^2} R; \quad \Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_B)^2}{U^2} X \quad (3-44)$$

+ Nâng cao điện áp vận hành của hệ thống điện:

Nếu điện áp của mạng điện nâng cao hơn $a\%$ thì tổn thất công suất sẽ giảm đi một lượng là:

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} R - \frac{S^2}{\left[U + \frac{a}{100}\right]^2} R = \frac{S^2}{U^2} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^2} \right] R \quad (3-45)$$

Nâng cao điện áp của mạng điện có thể thực hiện bằng cách nâng cao cấp điện áp định mức của mạng điện, điều chỉnh đầu phân áp của máy biến áp hay nâng cao điện áp của máy phát điện và dùng các biện pháp bù.

+ Thay đổi số lượng máy biến áp vận hành song song.

Tùy mức độ phụ tải thay đổi mà số lượng máy biến áp làm việc song song cũng thay đổi.

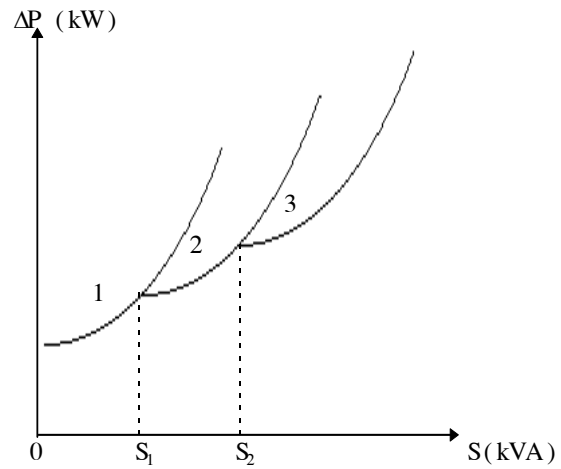
Ta biết rằng tổn thất công suất tác dụng trong máy biến áp là:

$$\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{cu} = \Delta P_0 + \frac{S^2}{U^2} R_B \quad (3-46)$$

Hình 3-8

Quan hệ giữa công suất S và tổn thất công suất tác dụng trong máy biến áp

- 1- một máy làm việc;
 - 2 - hai máy làm việc song song;
 - 3. ba máy làm việc song song.
- S_1, S_2 - là công suất giới hạn.



Dựa vào biểu thức (3-46), người ta lập đường cong biểu diễn mối quan hệ giữa ΔP và S. Sau đó

vẽ quan hệ $\Delta P = f(S)$ khi có 1, 2, 3 ... máy làm việc song song như trên hình 3-8.

Căn cứ vào phụ tải của máy biến áp ta chọn được số lượng máy biến áp làm việc song song phù hợp để có ΔP_{\min} . Theo giải tích người ta cũng tìm được công suất giới hạn để chuyển từ n máy làm việc song song về n - 1 máy vận hành song song:

$$S = \sqrt{\frac{\Delta P_{Fen} \left(\sum_{i=1}^n S_{dmi} \right)^2 \left(\sum_{i=1}^{n-1} S_{dmi} \right)^2}{\left[\left(\sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_{Ki} \right) \left(\sum_{i=1}^n S_{dmi} \right)^2 \right] - \left[\left(\sum_{i=1}^n \Delta P_{Ki} \right) \left(\sum_{i=1}^{n-1} S_{dmi} \right)^2 \right]}} \quad (3-47)$$

Nếu trạm biến áp có n máy dung lượng giống nhau bằng S_{dm} thì công suất giới hạn của n máy là:

$$S = S_{dm} \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_K}} \quad (3-48)$$

Công suất giới hạn của một máy là:

$$S_1 = \frac{S}{n} = S_{dm} \sqrt{\frac{(n-1) \Delta P_{Fe}}{n \Delta P_K}} \quad (3-49)$$

2. Ảnh hưởng của tổn thất điện năng đến giá thành truyền tải

Giá thành truyền tải điện năng gồm có vốn đầu tư cơ bản K và chi phí vận hành hàng năm Y.

+ Vốn đầu tư cơ bản K: vốn đầu tư cơ bản gồm 2 phần, một phần để mua sắm các thiết bị và tài sản (K_1) và phần đầu tư xây dựng, lắp đặt thiết bị (K_x).

$$K = K_1 + K_x.$$

Đối với mạng điện thì tùy thuộc vào kiểu nhà máy điện. Với nhà máy nhiệt điện giá trị $K_1 = 60\%$, nhà máy thủy điện $K_1 = 28 - 30\%$, với đường dây thì $K_1 = 85 - 90\%$.

+ Chi phí vận hành hàng năm Y : chi phí vận hành gồm có khấu hao, hao mòn thiết bị, chi phí phục vụ sửa chữa định kỳ và chi phí tổn thất điện năng hàng năm.

- Khấu hao hao mòn thiết bị dùng để thay thế thiết bị hư hỏng và lạc hậu, ký hiệu là $B_a\%$, nó được tính theo % so với vốn đầu tư cơ bản:

$$B_a\% = \frac{K - C}{T} \cdot \frac{100}{K} \quad (3-50)$$

trong đó:

T - là thời gian thu hồi vốn đầu tư của công trình;

C - giá thành đào thải của công trình sau T năm.

- Chi phí sửa chữa định kỳ và phục vụ ($B_p\%$) để trả công cho cán bộ quản lý, vận hành, mua sắm các thiết bị thí nghiệm và sửa chữa công trình, nó được tính theo % so với vốn đầu tư cơ bản.

+ Chi phí tổn thất điện năng hàng năm xác định theo công thức:

$$c \cdot \Delta A = c \cdot \Delta P_{\max} \tau \quad (3-51)$$

c - là giá thành tổn thất điện năng (đồng /kWh).

Chi phí vận hành hàng năm của mạng điện có giá trị là:

$$Y = (B_a\% + B_p\%) K + c \cdot \Delta A.$$

$$Y = a_{vh} K + c \cdot \Delta A \quad (3-52)$$

ở đây a_{vh} - là hệ số vận hành, nó là hệ số khấu hao hao mòn, sửa chữa định kỳ phục vụ mạng điện, tính theo % so với vốn đầu tư cơ bản.

Với cột bê tông $a_{vh} = 4\%$; cột gỗ $a_{vh} = 12\%$; trạm biến áp $a_{vh} = 14\%$.

Giá thành truyền tải điện năng là:

$$\beta = \frac{Y}{A} = \frac{Y}{P_{\max} \cdot T_{\max}} \quad (3-53)$$

A - là điện năng tiêu thụ hàng năm.

Muốn giá thành truyền tải điện năng β min thì ngoài việc a_{vh} nhỏ còn phải có ΔA nhỏ.

3. Tính toán, so sánh các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của mạng điện

Trong thực tế xác định được một phương án tối ưu thoả mãn cả hai điều kiện có vốn đầu tư ít và chi phí vận hành nhỏ là không thực hiện được. Để chọn phương án tối ưu, thường người ta phải so sánh về kinh tế và kỹ thuật. Mục đích của nó là xác định hiệu quả của các phương án đã đáp ứng yêu cầu kỹ thuật sau khi tiến hành so sánh về kinh tế.

Khi so sánh các phương án ta thường gặp các tình huống như sau:

Hai phương án có: $K_1 < K_2$; $Y_1 < Y_2$, thì phương án 1 kinh tế hơn phương án 2.

Trường hợp $K_1 = K_2$ nhưng $Y_1 > Y_2$ thì phương án 2 kinh tế hơn.

Nếu 2 phương án có: $K_1 < K_2$ nhưng $Y_1 > Y_2$ người ta không thể so sánh trực tiếp các phương án mà phải đánh giá theo thời gian thu hồi vốn đầu tư phụ tiêu chuẩn xác định theo công thức:

$$T = \frac{K_2 - K_1}{Y_1 - Y_2} \quad (3-54)$$

Sau đó tiến hành so sánh T với thời gian thu hồi vốn đầu tư tiêu chuẩn T_{tc} .

Nếu $T = T_{tc}$ thì 2 phương án đầu tư có giá trị như nhau.

$T < T_{tc}$, phương án 2 là phương án kinh tế hơn.

$T > T_{tc}$, phương án 1 kinh tế hơn.

Thời gian thu hồi vốn đầu tư tiêu chuẩn phụ thuộc vào điều kiện kinh tế của mỗi nước. Ví dụ ở Liên Xô (cũ) $T_{tc} = 8$ năm, ở Việt Nam T_{tc} chưa được khảo sát kỹ càng, nhưng trong tính toán người ta thường lấy thấp hơn (6 - 8 năm).

Từ (3-54) ta có:

$$\frac{K_2 - K_1}{Y_1 - Y_2} = T_{tc} \text{ hay } Y_1 T_{tc} + K_2 = Y_2 T_{tc} + K_2.$$

$$Y_1 + \frac{K_1}{T_{tc}} = Y_2 + \frac{K_2}{T_{tc}}$$

Đặt $z = Y + \frac{K}{T_{tc}}$ là chi phí tính toán hàng năm.

$$z = a_{tc} \cdot K + Y \quad (3-55)$$

trong đó: $a_{tc} = \frac{K}{T_{tc}}$ - là hệ số thu hồi vốn đầu tư phụ tiêu chuẩn.

Phương án kinh tế hơn là phương án có z min:

$$z = a_{tc} K + Y \rightarrow \text{Min.} \quad (3-56)$$

Khi so sánh phương án, nếu z chênh lệch nhau không quá 5% thì coi tương đương về mặt kinh tế. Nếu các phương án có độ tin cậy cung cấp điện khác nhau thì cần tính toán thiệt hại cho nền kinh tế do việc ngừng cung cấp điện gây ra.

§3-6. CHỌN TIẾT DIỆN DÂY DẪN VÀ CÁP THEO CHỈ TIÊU KINH TẾ

1. Mật độ dòng điện kinh tế

Đối với đường dây truyền tải ở mạng điện khu vực, do công suất lớn, điện áp cao, đường dây dài nên chi phí vận hành khá lớn. Mặt khác các thiết bị điều chỉnh điện áp khá tốt nên ít phải chú ý đến tổn thất điện áp. Vì vậy tiết diện dây dẫn và cáp được chọn theo điều kiện kinh tế. Tức là chọn F dây dẫn và cáp sao cho chi phí tính toán là nhỏ nhất. Hàm chi phí tính toán có giá trị là:

$$z = (a_{vh} + a_{tc})K + c\Delta A.$$

$$z = (a_{vh} + a_{tc})K + c3I_{\max}^2 \tau \frac{\rho l}{F} \quad (3-57)$$

Vốn đầu tư cơ bản cho đường dây phụ thuộc vào tiết diện, có thể xác định theo công thức:

$$K = K_0 + n(a + bF) \quad (3-58)$$

trong đó:

K_0 - là giá thành 1 km đường dây phần không phụ thuộc vào tiết diện (đồng/km);

n - là số mạch đường dây đi song song;

a - hệ số phụ thuộc vào điện áp đường dây (đồng/km);

b - là hệ số phản ảnh sự phụ thuộc của giá thành đường dây vào tiết diện dây dẫn (đồng/km.mm²).

Thay giá trị của K vào z ta có:

$$z = (a_{vh} + a_{tc}) [K_0 + n(a + bF)] + 3I_{\max}^2 \tau \cdot c \cdot \frac{\rho l}{F}.$$

(3-59)

Tiết diện tối ưu của dây dẫn, ký hiệu là F_{kt} được xác định khi đạo hàm $z = 0$

$$\frac{\partial z}{\partial F_{kt}} = (a_{vh} + a_{tc})nbl - 3I_{\max}^2 \tau c \rho \frac{l}{F_{kt}^2} = 0$$

$$\text{hay } F_{kt} = I_{\max} \sqrt{\frac{3\rho\tau c}{(a_{vh} + a_{tc})nb}} \quad (3-60)$$

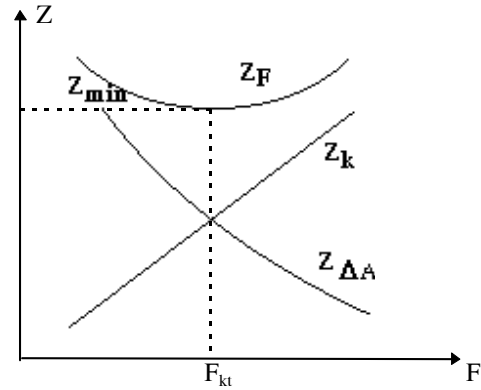
Tiết diện dây dẫn chọn theo (3-60) gọi là tiết diện ứng với hàm chi phí z cực tiểu. Theo (3-59) ta thấy hàm chi phí z của đường dây có 2 phần: một phần liên quan đến giá thành dây dẫn, ký hiệu là z_K và một phần liên quan đến tổn thất điện năng ký hiệu là $z_{\Delta A}$

$$z_{(F)} = z_K + z_{\Delta A} \quad (3-61)$$

Đường cong biểu diễn hàm chi phí $z_{(F)}$ có dạng như hình 3-9.

Hình 3-9.

Sự phụ thuộc giữa giá thành đường dây vào tiết diện dây dẫn



Ta thấy đồ thị có điểm thấp nhất ứng với z_{min} có một giá trị F . Tiết diện ứng với z_{min} gọi là tiết diện kinh tế (F_{kt}). Mật độ dòng điện ứng với F_{kt} gọi là mật độ dòng điện kinh tế, ký hiệu là J_{kt} :

$$J_{kt} = \frac{I_{max}}{F_{kt}} = \sqrt{\frac{(a_{vh} + a_{tc})nb}{3\rho\tau c}} \quad (3-62)$$

Tuỳ thuộc vào thời gian sử dụng công suất cực đại, vật liệu làm dây dẫn, các hệ số, số mạch nhánh, khu vực và lãnh thổ... ta xác định được J_{kt} theo biểu thức trên. Trong bảng 1 cho giá trị J_{kt} của Liên Xô cũ ứng với T_{max} và các vật liệu khác nhau làm dây dẫn.

Bảng 1. Mật độ dòng điện kinh tế J_{kt}

Loại dây dẫn	Thời gian sử dụng phụ tải cực đại T_{max} (h)		
	1000 - 3000	3000 - 5000	5000 - 8760
Dây đồng trần	2,5	2,1	1,8
Dây nhôm và thép nhôm trần.	1,3	1,1	1,0
Dây cáp bọc giấy tẩm và dây dẫn bọc cao su:			
- Lõi đồng.	3,0	2,5	2,0
- Lõi nhôm.	1,6	1,4	1,2
Dây cáp bọc cao su lõi đồng.	3,5	3,1	2,7

2. Phương pháp chung tính toán tiết diện dây dẫn theo J_{kt}

+ *Khi tiết diện dây dẫn thay đổi:* sử dụng khi các phụ tải cách xa nhau, mỗi đoạn đường dây ta chọn một tiết diện.

- Xác định dòng điện truyền tải trên các đoạn đường dây:

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3}U} = \frac{P_1}{\sqrt{3}U \cos \varphi_1}; I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3}U} = \frac{P_2}{\sqrt{3}U \cos \varphi_2}; \dots; I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U} = \frac{P_n}{\sqrt{3}U \cos \varphi_n}$$

trong đó:

P_1, P_2, \dots, P_n - là công suất truyền tải trên các đoạn;

U - là điện áp lấy bằng điện áp U_{dm} ;

$\cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \dots, \cos \varphi_n$ - là hệ số công suất trên các đoạn.

- Căn cứ vào loại dây dẫn và T_{max} chọn J_{kt} .

- Tính tiết diện dây dẫn:

$$F_1 = \frac{I_1}{J_{kt}}; F_2 = \frac{I_2}{J_{kt}}; \dots; F_n = \frac{I_n}{J_{kt}}$$

- Lựa chọn tiết diện quy chuẩn.

- Xác định tổn thất điện áp thực tế và so sánh với giá trị cho phép (đối với các mạng có điện áp định mức $U_{dm} < 35$ kV). Đối với mạng có nhiều phụ tải, thời gian T_{max} và $\cos \varphi$ khác nhau thì ta phải sử dụng T_{maxbq} và $\cos \varphi_{tb}$ tính cho từng đoạn.

+ Trường hợp tiết diện không đổi trên suốt chiều dài đường dây

- Xác định dòng điện đẳng trị I_{dt} .

Đường dây truyền tải dòng điện đẳng trị quy ước sẽ tương đương về mặt tổn thất công suất với đường dây truyền tải dòng điện thực, ta có:

$$3I_{dt}^2 \frac{\rho l}{F} = \frac{3\rho}{F} (I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2 + \dots + I_n^2 l_n).$$

$$\text{suy ra } I_{dt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 l_i}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}} = \frac{1}{\sqrt{3}U_{dm}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2 l_i}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}} \quad (3-63)$$

trong đó:

I_1, I_2, \dots, I_n - là dòng điện truyền tải trên đoạn 1, 2, ... n ;

l_1, l_2, \dots, l_n - là chiều dài các đoạn 1, 2, ...n.

- Tính giá trị trung bình của thời gian sử dụng phụ tải cực đại: trong trường hợp các phụ tải có T_{max} khác nhau, ta tính thời gian sử dụng công suất cực đại theo giá trị bình quân cho các đoạn đường dây

$$T_{\max bq} = \frac{T_1 p_1 + T_2 p_2 + \dots + T_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (3-64)$$

ở đây:

T_1, T_2, \dots, T_n - là thời gian sử dụng công suất cực đại của phụ tải 1, 2, ... n;

p_1, p_2, \dots, p_n - là công suất tác dụng cực đại của phụ tải 1, 2, ... n.

- Căn cứ vào loại dây dẫn và $T_{\max bq}$ chọn J_{kt}

- Tính tiết diện dây dẫn:

$$F = \frac{I_{dt}}{J_{kt}} \quad (3-65)$$

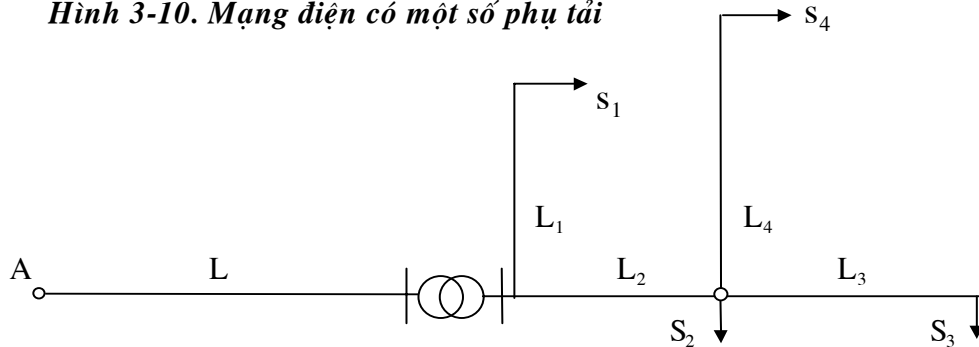
Đối với các mạng điện có $U_{dm} < 35$ kV, sau khi chọn xong tiết diện dây dẫn, ta xác định tổn thất điện áp thực tế và so sánh với giá trị cho phép.

§3-7. MỘT SỐ VÍ DỤ TÍNH TOÁN TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG

Ví dụ 1

Một mạng điện gồm đường dây cao áp, điện áp 10 kV dài $L = 5$ km cung cấp cho máy biến áp có công suất định mức $S_H = 180$ 10/0,4 kV (hình 3-10) phía hạ áp có các đoạn $l_1 = 0,1$ km dùng dây dẫn A-50, phụ tải là $s_1 = 40 + j30$ kVA, đoạn $l_2 = 0,1$ km dùng 2 dây A-50 phụ tải $s_2 = 66 + j49,5$ kVA; Đoạn $l_3 = 0,5$ km, dùng dây A-35, phụ tải $s_3 = 14 + j10,5$ kVA, đoạn thứ tư $l_4 = 0,5$ km dùng dây A-50 phụ tải $s_4 = 10 + j7,5$ kVA. Biết năng lượng truyền tải hàng năm là 455000 kWh. Tìm tiền chi phí tổn thất năng lượng trong một năm, cho giá tiền điện $c = 600$ đ/kWh.

Hình 3-10. Mạng điện có một số phụ tải



Giải .

1. Tính các thông số của mạng điện:

Tổn thất năng lượng trong mạng điện gồm 3 thành phần: trên đường dây cao áp, trong máy biến áp và trên đường dây hạ áp.

Công suất tiêu thụ cực đại của máy biến áp là:

$$S = P + jQ = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 = 40 + j30 + 66 + j49,5 + 14 + j10,5 + 10 + j7,5 \\ = 130 + j 97,5 = 162,5 \angle 0,8 \text{ kVA.}$$

Công suất truyền tải trên đoạn l_2 là:

$$S_2 = P_2 + jQ_2 = s_2 + s_3 + s_4 = 66 + j49,5 + 14 + j10,5 + 10 + j7,5 = 90 + j 67,5.$$

Thời gian sử dụng tải cực đại là:

$$T_{\max} = \frac{A}{P_{\max}} = \frac{455000}{130} = 3500(h)$$

Tra đường cong $\tau = f(T_{\max})$ với $\cos\varphi = 0,8$ ta được $\tau = 2300$ (h).

Tra bảng phụ lục tìm điện trở dây dẫn và tính điện trở của đường dây:

$$R = r_0 \cdot L = 0,65 \cdot 5 = 3,25 (\Omega).$$

$$R_1 = r_{01} \cdot l_1 = 0,64 \cdot 0,1 = 0,064 (\Omega).$$

$$R_2 = r_{02} \cdot l_2 = 0,5 \cdot 0,64 \cdot 0,1 = 0,032 (\Omega). \text{ (tính cho 2 đường dây đi song song)}$$

$$R_3 = r_{03} \cdot l_3 = 0,92 \cdot 0,5 = 0,46 (\Omega).$$

$$R_4 = r_{04} \cdot l_4 = 0,64 \cdot 0,5 = 0,32 (\Omega).$$

2. Tính tổn thất năng lượng trên đường dây hạ áp:

$$\Delta A_{dh} = \frac{\tau}{U_{dm}^2 \cdot \cos^2 \varphi} \sum P_i^2 R_i$$

$$\Delta A_{dh} = \frac{2300 \cdot 10^{-3}}{0,38^2 \cdot 0,8^2} (40^2 \cdot 0,064 + 90^2 \cdot 0,032 + 14^2 \cdot 0,32 + 10^2 \cdot 0,46) = 11755 \text{ (kWh).}$$

3. Tổn thất năng lượng trong máy biến áp:

Tra bảng phụ lục đối với máy biến áp 180 10/0,4 kV có $\Delta P_0 = 1$ kW, $\Delta P_K = 4$ kW.

$$\Delta A_B = \Delta P_0 \cdot t + \Delta P_K \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 \cdot \tau = 1.8760 + 4 \left(\frac{162,5}{180} \right)^2 \cdot 2300 = 16250 \text{ (kWh)}$$

4. Hao tổn năng lượng trên đường dây cao áp.

Dòng điện truyền tải là:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{162,5}{\sqrt{3}.10} = 9,4(A)$$

$$\Delta A_{dc} = 3RI^2\tau = 3.3.25.9,4^2.2300.10^{-3} = 1981 (kWh).$$

Tổng thất năng lượng tổng cộng là:

$$\Delta A = \Delta A_{dc} + \Delta A_B + \Delta A_{dh} = 11750 + 16250 + 1981 = 29986 (kWh).$$

$$\Delta A \% = \frac{\Delta A}{A} . 100 = \frac{29986}{455000} . 100 = 6,59\% .$$

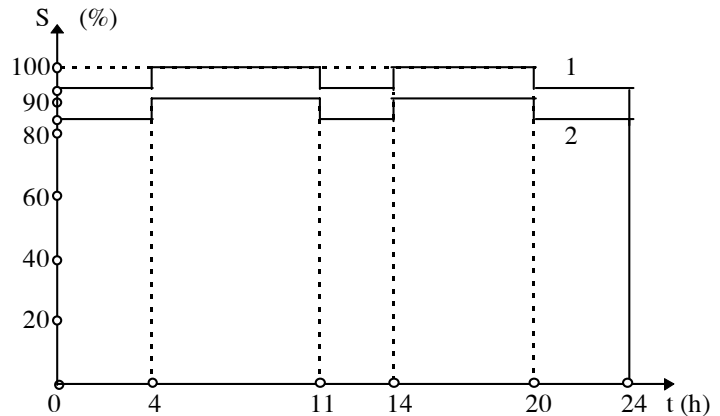
5. Giá tiền chi phí cho tổn thất năng lượng trong một năm là:

$$Y = c\Delta A = 600.29986 = 17.991 \cdot 10^3 (\text{đồng}).$$

Ví dụ 2

Xác định tổn thất công suất, tổn thất điện năng trong một năm của trạm biến áp 10/0,4 kV gồm 2 máy biến áp làm việc song song, công suất mỗi máy là $S_H = 560$ kVA. Đồ thị phụ tải hàng ngày của máy biến áp cho trên hình 3-11. Phụ tải cực đại của trạm biến áp là $S_{max} = 1000$ kVA, $\cos\varphi = 0,8$. Hai máy biến áp vận hành trong một năm có 182 ngày mùa hè, 183 ngày mùa đông.

Hình 3-11.
Đồ thị phụ tải hàng ngày của máy biến áp
1 - mùa đông;
2 - mùa hè.



Giải.

1. Xác định tổn thất công suất trong máy biến áp.

Tra loại máy biến áp $S_H = 560$ kVA ta có $\Delta P_0 = 2,5$ kW, $\Delta P_K = 9,4$ kW, $u_k \% = 5,5\%$; $i_0 \% = 6\%$.

$$\Delta P = n\Delta P_0 + \frac{1}{n} \Delta P_K \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 = 2.2,5 + 0,5.9,4. \left(\frac{1000}{560} \right)^2 = 19,98(kW).$$

$$\Delta Q = \frac{n.I_0 \% . S_{dm}}{100} + \frac{u_k \% . S^2}{n.100.S_{dm}} = \frac{2.6.560}{100} + \frac{5,5.1000^2}{2.100.560} = 67,3 + 49 = 116,3(kVAr).$$

$$\Delta S_B = 19,98 + j116,3 \text{ (kVA)}.$$

2. Xác định thời gian sử dụng phụ tải cực đại:

Dựa vào đồ thị phụ tải hàng ngày ta xác định được thời gian sử dụng phụ tải cực đại như sau:

- Mùa đông: công suất 100% có $T_{d1} = 183 (7 + 6) = 2379 \text{ (h)}$.

Công suất 95% có $T_{d2} = 183 (4 + 3 + 4) = 2013 \text{ (h)}$.

- Mùa hè: công suất 90% có: $T_{h1} = 182 (6 + 7) = 2366 \text{ (h)}$.

Công suất 85% có: $T_{h2} = 182 (4 + 3 + 4) = 2002 \text{ (h)}$.

$$T_{\max} = \frac{\sum S_i \cdot \Delta t_i}{S_{\max}} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \%}{S_{\max} \%} T_{di} + \sum_{i=1}^n \frac{S_i \%}{S_{\max} \%} T_{hi}$$

$$= \frac{100 \cdot 2379 + 95 \cdot 2013}{100} + \frac{90 \cdot 2366 + 85 \cdot 2002}{100} = 8120 \text{ (h)}$$

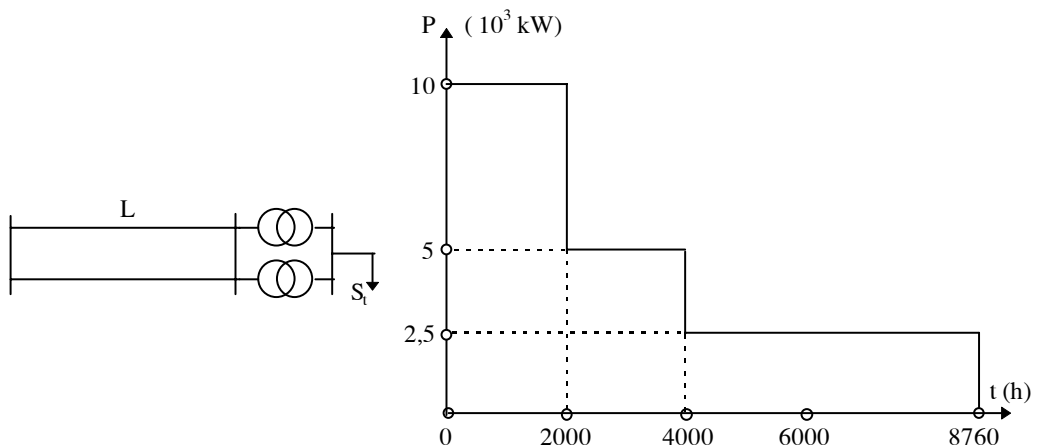
Tra đường cong $\tau = f(T_{\max})$, ứng với $\cos\varphi = 0,8$ ta được $\tau = 7500 \text{ h}$.

3. Xác định tổn thất năng lượng trong máy biến áp:

$$\Delta A = n \Delta P_0 \cdot t + \frac{\Delta P_K}{n} \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 \tau = 2 \cdot 2,5 \cdot 8760 + \frac{75}{2} \left(\frac{1000}{560} \right)^2 \cdot 7500 = 156204 \text{ (kWh)}$$

Ví dụ 3

Mạng điện gồm 2 tuyến dây điện áp 35 kV cung cấp cho 2 máy biến áp có đồ thị phụ tải như hình 3-12. Chiều dài đường dây là: $L = 15 \text{ km}$, dùng dây dẫn AC-150 ($d = 17 \text{ mm}$; $r_0 = 0,21 \Omega/\text{km}$; $x_0 = 0,415 \Omega/\text{km}$). Công suất định mức của một máy biến áp là: $S_{dm} = 7500 \text{ kVA}$, $\cos\varphi = 0,9$ có $\Delta P_0 = 24 \text{ kW}$, $\Delta P_K = 75 \text{ kW}$, $u_k \% = 7,5\%$, $i_0 \% = 3,5\%$. Xác định tổn thất công suất trong mạng điện khi phụ tải cực đại, tổn thất điện năng khi phụ tải cực đại và tổn thất điện năng hàng năm của mạng trong các chế độ vận hành khác nhau.



Hình 3-12. Sơ đồ mạng điện và đồ thị phụ tải để tính tổn thất điện năng

Giải.

1. Xác định tổn thất công suất trong trạm biến áp khi tải cực đại: (lúc đó 2 máy làm việc song song).

$$\Delta P_B = n\Delta P_0 + \frac{1}{n} \Delta P_K \left(\frac{P}{\cos \varphi \cdot S_{dm}} \right)^2 = 2.24 + \frac{75}{2} \left(\frac{10}{0,9 \cdot 7,5} \right)^2 = 48 + 82 = 130(kW)$$

$$\Delta Q_B = \frac{n i_0 \% S_{dm}}{100} + \frac{1}{n} \frac{u_k \% \left(\frac{P}{\cos \varphi} \right)^2}{100 S_{dm}} = \frac{2.3,5.7500}{100} + \frac{7,5}{2} \frac{\left(\frac{10}{0,9} \right)^2 \cdot 10^3}{1007,5 \cdot 10^3} = 525 + 617 = 1142(kVar).$$

$$\Delta S_B = \Delta P_B + j\Delta Q_B = 130 + j1142 \text{ (kVA)}$$

2. Tổn thất công suất trên đường dây khi phụ tải cực đại:

$$\Delta P_d = 0,5 r_0 L \cdot \frac{\left(\frac{P}{\cos \varphi} \right)^2}{U_{dm}^2} = 0,5 \frac{0,21 \cdot 15 \cdot \left(\frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} 10^3 = 158,7(kW).$$

$$\Delta Q_d = 0,5 x_0 L \cdot \frac{\left(\frac{P}{\cos \varphi} \right)^2}{U_{dm}^2} = 0,5 \frac{0,415 \cdot 15 \cdot \left(\frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} 10^3 = 313,6(kVar).$$

$$\Delta S_d = \Delta P_d + j\Delta Q_d = 158,7 + j313,6 \text{ (kVA)}.$$

3. Tổn thất công suất tổng cộng của đường dây và máy biến áp khi phụ tải cực đại là:

$$\Delta S = \Delta P + j\Delta Q = \Delta S_B + \Delta S_d = 288,7 + j1455,6 \text{ (kVA)}.$$

4. Xác định tổn thất năng lượng trên đường dây:

$$\tau = \frac{\sum P_i^2 \Delta t_i}{P_{max}^2} = \frac{10^2 \cdot 2000 + 5^2 \cdot 2000 + 2,5^2 \cdot 4760}{10^2} = 2797,5 \text{ (h)}.$$

$$\Delta A_d = \Delta P_d \cdot \tau = 158,7 \cdot 2797,5 = 443963 \text{ (kWh)}.$$

5. Xác định tổn thất năng lượng trong máy biến áp:

+ Khi hai máy vận hành song song trong suốt 1 năm, hao tổn năng lượng trong trạm biến áp là:

$$\Delta A_T = n \cdot \Delta P_0 \cdot t + \frac{\Delta P_K}{n} \left(\frac{S_{max}}{S_{dm}} \right)^2 \tau = 2.24 \cdot 8760 + \frac{75}{2} \left(\frac{10.000}{0,9 \cdot 7500} \right)^2 2797,5 = 650.726,9 \text{ (kWh)}$$

$$\text{Tổng hao tổn: } \Delta A_{1\Sigma} = \Delta A_d + \Delta A_T = 443963 + 650.726,9 = 1.094.689,9 \text{ (kWh)}$$

+ Khi chế độ vận hành thay đổi, nếu tải nhỏ cắt bớt một máy: căn cứ vào đồ thị phụ tải ta thấy khi phụ tải của trạm từ 5000 kW trở xuống thì cắt 1 máy.

Tổn thất năng lượng trong trạm biến áp tính dựa theo các khoảng thời gian của đồ thị tải và trị số công suất và số máy vận hành song song tương ứng

$$\Delta A_T = \Delta P_0 \sum n_i \Delta t_i + \Delta P_K \sum \frac{\Delta t_i}{n_i} \left(\frac{S_i}{S_{dm}} \right)^2 = 24(2.2000 + 1.2000 + 1.4760) + 75 \left(\frac{2000}{2} \left(\frac{10.000}{0,9.7500} \right)^2 + \frac{2000}{1} \left(\frac{5000}{0,9.7500} \right)^2 + \frac{4760}{1} \left(\frac{2500}{0,9.7500} \right)^2 \right) = 554.123,25 \text{ kWh}$$

$$\text{Tổng hao tổn: } \Delta A_{2\Sigma} = \Delta A_d + \Delta A_T = 443963 + 554.123,25 = 998.086,25 \text{ (kWh)}$$

Năng lượng truyền tải hàng năm là:

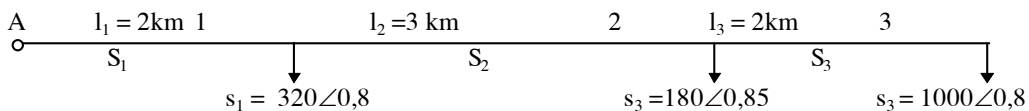
$$A = P_1 \Delta t_1 + P_2 \Delta t_2 + P_3 \Delta t_3 = (10.2000 + 5.2000 + 2,5.4760) 10^3 = 41900.10^3 \text{ (kWh).}$$

$$\Delta A_{1\Sigma} \% = \frac{\Delta A_{1\Sigma}}{A} 100 = \frac{1.094.689,9}{41900.10^3} \cdot 100 = 2,6126\%$$

$$\Delta A_{2\Sigma} \% = \frac{\Delta A_{2\Sigma}}{A} 100 = \frac{998.086,25}{41900.10^3} \cdot 100 = 2,382\%$$

Ví dụ 4

Một đường dây 35 kV cung cấp cho ba phụ tải có công suất và chiều dài đường dây ghi trên sơ đồ 3-13. Hãy tìm tiết diện dây dẫn cho 2 trường hợp: tiết diện thay đổi và không đổi theo điều kiện kinh tế. Biết dây dẫn làm bằng thép nhôm và thời gian sử dụng phụ tải cực đại của các phụ tải $T_{\max} = 4500 \text{ h}$



Hình 3-13. Mạng điện có một số phụ tải

Giải.

1. Tính công suất truyền tải trên các đoạn:

Từ công thức $s = s \cdot \cos\varphi + j s \cdot \sin\varphi$ ta đổi công suất các phụ tải dưới dạng:

$$s_1 = s_1 \cdot \cos\varphi + j s_1 \cdot \sin\varphi = 320 \cdot 0,8 + j 320 \cdot 0,6 = 256 + j 192 \text{ (kVA)}$$

$$s_2 = 180 \cdot 0,85 + j 180 \cdot 0,53 = 153 + j 95 \text{ (kVA)}$$

$$s_3 = 1000 \cdot 0,8 + j 1000 \cdot 0,6 = 800 + j 600 \text{ (kVA)}$$

Công suất truyền tải trên các đoạn là:

$$S_3 = s_3 = 800 + j 600 \text{ (kVA)}$$

$$S_2 = s_2 + s_3 = 153 + j 95 + 800 + j 600 = 956 + j 695 = 1179 \angle 0,8 \text{ (kVA)}$$

$$S_1 = s_1 + s_2 + s_3 = 256 + j 192 + 953 + j 695 = 1209 + j 887 = 1499 \angle 0,8 \text{ (kVA)}$$

2. Tính dòng điện và tiết diện trên các đoạn:

$$I_3 = \frac{S_3}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{1000}{\sqrt{3}.35} = 16,49(A)$$

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{1179}{\sqrt{3}.35} = 19,4(A)$$

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{1499}{\sqrt{3}.35} = 24,7(A)$$

Từ dây dẫn AC và $T_{max} = 4500$ h, tra bảng ta được: $J_{kt} = 1,1 \text{ A/mm}^2$.

Tiết diện dây dẫn:

$$F_1 = \frac{I_1}{J_{kt}} = \frac{24,7}{1,1} = 22,4 \text{ (mm}^2\text{)}. \text{ Quy chuẩn chọn dây dẫn AC25.}$$

$$F_2 = \frac{I_2}{J_{kt}} = \frac{19,4}{1,1} = 17,6 \text{ (mm}^2\text{)}. \text{ Quy chuẩn chọn dây dẫn AC25.}$$

$$F_3 = \frac{I_3}{J_{kt}} = \frac{16,49}{1,1} = 15 \text{ (mm}^2\text{)}.$$

Để đảm bảo độ bền cơ học đối với đường dây 35kV ta phải chọn dây AC25.

3. Tính dòng điện tương đương và tiết diện dây dẫn:

$$I_{td} = \sqrt{\frac{I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2 + I_3^2 l_3}{l_1 + l_2 + l_3}} = \sqrt{\frac{24,7^2 \cdot 2 + 19,4^2 \cdot 3 + 16,49^2 \cdot 2}{2 + 3 + 2}} = 20,3 \text{ (A)}$$

$$F = \frac{I_{td}}{J_{kt}} = \frac{20,3}{1,1} = 18,48 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Để đảm bảo độ bền cơ học đối với đường dây 35kV, ta chọn AC25.

CHƯƠNG 4

TÍNH MẠNG ĐIỆN HỎ

§ 4-1. ĐỘ RƠI ĐIỆN ÁP VÀ TỔN THẤT ĐIỆN ÁP TRÊN MẠNG ĐIỆN XOAY CHIỀU 3 PHA ĐỐI XỨNG

1. Khái niệm chung

Mạng điện hở là mạng điện chỉ được cung cấp năng lượng từ một phía. Mạng điện hở có thể là đường dây chính phân nhánh hoặc là mạng có đường dây chính hướng tâm.

Nhiệm vụ tính toán mạng điện hở là xác định các thông số chế độ của mạng, chủ yếu là dòng điện và điện áp ở các nút. Chương này đi sâu nghiên cứu tính toán mạng điện địa phương điện áp từ 35kV trở xuống.

Mạng điện là một đối tượng khá phức tạp, đặc biệt với những hệ thống bao gồm nhiều phân tử, nhiều cấp điện áp. Vì vậy khó có thể áp dụng trực tiếp các định luật Kirchoff để giải tích nó. Trong tính toán, thường người ta dùng phương pháp lập hoặc phương pháp dò. Nội dung chủ yếu là chuyển dần lời giải sơ bộ nào đó tới lời giải chính xác, hay còn gọi là phương pháp dần đúng liên tiếp. Trong mạng điện có những thông số tuy chưa biết chính xác giá trị nhưng miền dao động của nó hẹp (ví dụ điện trở phản kháng dao động trong khoảng từ $x_0 = 0,35 - 0,45 \Omega/\text{km}$) thì chỉ qua phép lập đầu tiên là ta đã tìm được lời giải với độ chính xác cho phép. Phương pháp này được áp dụng tính toán cho mạng điện địa phương.

Trong mạng điện địa phương khi tính toán ở chế độ hở, người ta giả thiết bỏ qua thông số điện dẫn trên sơ đồ thay thế và điện áp tại mọi điểm lấy bằng điện áp định mức. Đồng thời khi tính chế độ, bỏ qua tổn thất công suất trong mạng điện. Với giả thiết đó vẫn đảm bảo độ chính xác cho phép và kết quả tính toán chỉ cần bước lập đầu tiên.

Trên đường dây truyền tải điện có bốn thông số đặc trưng là: R, X, G, B và sơ đồ thay thế có dạng hình II. Ờ mạng điện địa phương các giá trị G, B rất nhỏ ta có thể bỏ qua mà không ảnh hưởng nhiều tới độ chính xác của kết quả. Do đó trên sơ đồ thay thế chỉ còn lại R và X. Điện trở R và điện kháng X phân bố dọc chiều dài đường dây; Để đơn giản cho tính toán, ta coi chúng là các tham số tập trung mắc nối tiếp nhau.

Khi có dòng điện chạy qua R và X sẽ gây ra độ rơi điện áp trên nó.

Độ rơi điện áp là hiệu giữa véc tơ điện áp điểm đầu và véc tơ điện áp điểm cuối của đường dây.

Hao tổn điện áp là hiệu đại số giữa điện áp điểm đầu và cuối đường dây.

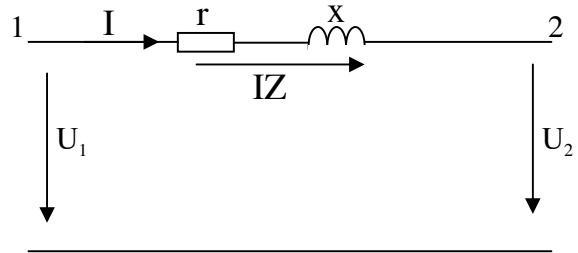
2. Tổn thất điện áp trên đường dây có một phụ tải

Ta xét sơ đồ một pha của đường dây ba pha đối xứng như hình 4.1

trong đó:

r, x - là điện trở tác dụng và phản kháng của đường dây;
 U_1, U_2 - là điện áp đầu và cuối đường dây.

Hình 4.1
 Sơ đồ một pha của
 đường dây ba pha



Phương trình cân bằng điện áp xét cho mạch vòng là:

$$U_1 - U_2 = Ir + Ix; \quad U_1 = U_2 + Ir + Ix \quad (4-1)$$

Ir - là véc tơ điện áp rơi trên điện trở tác dụng.

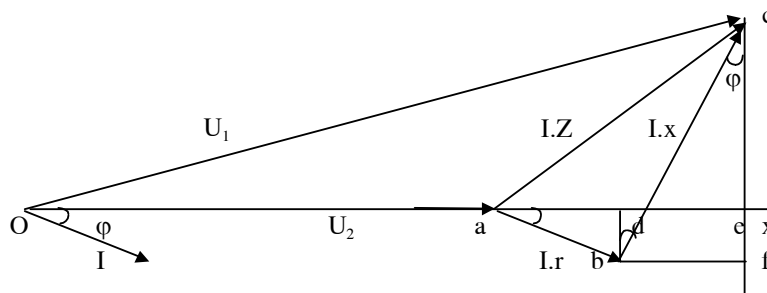
Ix - là véc tơ điện áp rơi trên điện trở phản kháng.

Ta vẽ đồ thị véc tơ cho phương trình 4.1. Từ trục nằm ngang Ox , đặt véc tơ điện áp U_2 . Véc tơ dòng điện I lệch pha so với U_2 một góc φ (hình 4.2). Điện áp rơi trên điện trở tác dụng biểu diễn bằng véc tơ $\vec{ab} = I\vec{r}$ có phương trùng với I . Điện áp rơi trên điện trở phản kháng là véc tơ $\vec{bc} = I\vec{x}$ có phương vuông góc với I . Gọi Z là tổng trở của đường dây, điện áp rơi trên tổng trở Z biểu diễn bằng véc tơ $\vec{ac} = \vec{ab} + \vec{bc}$.

Tổng của ba véc tơ đó là véc tơ điện áp đầu đường dây $\vec{oa} + \vec{ab} + \vec{bc} = \vec{oc}$.

Phân tích véc tơ \vec{ac} thành hai thành phần \vec{ae} và \vec{ec} (là véc tơ điện áp rơi dọc trục và ngang trục).

- Thành phần điện áp rơi dọc trục có phương trùng với U_2 , ký hiệu là ΔU .



Hình 4.2. Đồ thị véc tơ

$$ae = ad + de = ad + bf = ab \cdot \cos\varphi + bc \cdot \sin\varphi.$$

hay $\Delta U = I_r \cdot \cos\varphi + I_x \cdot \sin\varphi$.

- Thành phần điện áp rơi ngang trục có phương vuông góc với U_2 ký hiệu là δU :

$$ec = cf - ef = cf - bd = bc \cdot \cos\varphi - ab \cdot \sin\varphi.$$

hay $\delta U = I_x \cdot \cos\varphi - I_r \cdot \sin\varphi$.

Khi viết biểu thức cho đường dây ba pha (có $U_{day} = \sqrt{3} U_{pha}$) ta được:

$$\Delta U = \sqrt{3}(I_r \cdot \cos\varphi + I_x \cdot \sin\varphi) \tag{4 - 2}$$

$$\delta U = \sqrt{3}(I_x \cdot \cos\varphi - I_r \cdot \sin\varphi) \tag{4 - 3}$$

Ký hiệu:

$$I_a = I \cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} \text{ là thành phần tác dụng của dòng điện.} \tag{4 - 4}$$

$$I_p = I \sin\varphi = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U} \text{ là thành phần phản kháng của dòng điện.} \tag{4 - 5}$$

Biểu thức (4.2); (4.3) có dạng:

$$\Delta U = \sqrt{3}(I_a r + I_p x) = \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{U} \tag{4 - 6}$$

$$\delta U = \sqrt{3}(I_p x - I_a r) = \frac{P \cdot x - Q \cdot r}{U} \tag{4 - 7}$$

Nếu biết điện áp cuối đường dây U_2 và các thành phần ΔU , δU ta có thể xác định được giá trị của điện áp đầu đường dây U_1 .

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + \delta U^2} \tag{4 - 8}$$

Vì $U_2 + \Delta U \gg \delta U$ nên ta có thể khai triển chúng theo nhị thức Niu-tơn:

Nếu $a \gg b$ thì $\sqrt{a^2 + b^2} = a + \frac{b^2}{2a}$, biểu thức (4 - 8) có dạng:

$$U_1 = (U_2 + \Delta U) + \frac{\delta U^2}{2(U_2 + \Delta U)}.$$

rút ra:
$$U_1 - U_2 = \Delta U + \frac{\delta U^2}{2(U_2 + \Delta U)} \tag{4 - 9}$$

Ta nhận thấy, $U_1 - U_2$ là hiệu đại số của điện áp điểm đầu và điểm cuối chính là hao tổn điện áp của đường dây. Hao tổn điện áp gồm điện áp rơi dọc trục cộng với thành phần $\frac{\delta U^2}{2(U_2 + \Delta U)}$. Trong thực tế với đường dây $U \leq 110$ kV, thành phần δU rất nhỏ thường bỏ qua. Khi đó tổn thất điện áp lấy bằng thành phần điện áp rơi dọc trục:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \sqrt{3}(I_a r + I_p x) = \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{U} \tag{4 - 10}$$

Nếu đường dây có chiều dài l (km), điện trở và điện kháng trên 1km là r_0 và x_0 thì tổn thất điện áp có dạng:

$$\Delta U = \sqrt{3}Il(r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi) \quad (4 - 11)$$

Trong đó: P, Q- là công suất tác dụng và phản kháng truyền tải, trong mạng điện địa phương ta lấy điện áp U bằng định mức. Trong mạng điện áp cao, U điện áp các điểm nút và công suất truyền tải được lấy tương ứng (P,Q đầu đường dây thì lấy $U = U_1$ và P,Q ở cuối đường dây tương ứng với điện áp U_2);

r, x - là điện trở tác dụng và phản kháng của cả đoạn đường dây.

Ta có thể biểu diễn điện áp rơi dưới dạng phức:

$$\sqrt{3}iZ = \sqrt{3}(I \cos\varphi - jI \sin\varphi)(R + jX) \quad (4 - 12)$$

$$\sqrt{3}iZ = \sqrt{3}(IR \cos\varphi + IX \sin\varphi) + j\sqrt{3}(IX \cos\varphi - IR \sin\varphi) \quad (4 - 13)$$

$$\sqrt{3}iZ = \Delta U + j\delta U \quad (4 - 14)$$

Trường hợp biết điện áp U_1 , ta có thể tìm được điện áp U_2

$$U_2 = U_1 - \Delta U + \frac{\delta U^2}{2(U_1 - \Delta U)} \quad (4 - 15)$$

Chú ý với mạng điện địa phương có điện áp $U \leq 35kV$, bỏ qua ΔS và ΔU thì công suất tính toán lấy bằng công suất truyền tải còn điện áp lấy bằng U_{dm} .

Để tiện cho tính toán người ta phân ΔU làm hai thành phần: tác dụng và phản kháng.

- Thành phần tổn thất điện áp tác dụng là:

$$\Delta U_a = \sqrt{3}Ir \cos\varphi = \sqrt{3}I_a r = \frac{Pr}{U_{dm}} = \frac{Sr \cos\varphi}{U_{dm}} \quad (4 - 16)$$

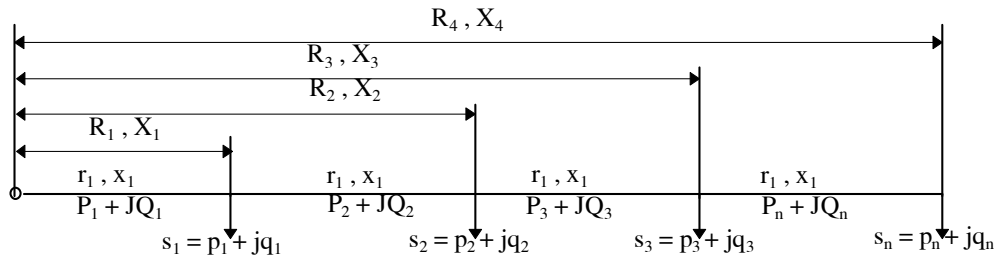
- Thành phần tổn thất điện áp phản kháng là:

$$\Delta U_p = \sqrt{3}Ix \sin\varphi = \sqrt{3}I_p x = \frac{Qx}{U_{dm}} = \frac{Sx \sin\varphi}{U_{dm}} \quad (4 - 17)$$

$$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_p \quad (4 - 18)$$

3. Tổn thất điện áp trên đường dây có nhiều phụ tải

Hình 4-3. Đường dây có nhiều phụ tải



Khi tính hao tổn điện áp trên đường dây chính hướng tâm có nhiều phụ tải, nhiều đoạn đường dây thì hao tổn điện áp bằng hiệu đại số điện áp đầu đường dây U_0 và điện áp cuối đường dây U_n ($U_0 - U_n$). Về thực chất, đối với đường dây chính có nhiều phụ tải (hình 4.3), tổn thất điện áp toàn bộ đường dây chính bằng tổng tổn thất điện áp của các đoạn.

Ký hiệu các đại lượng như trên hình vẽ. Tổng tổn thất điện áp trên đường dây là:

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \left(\sum_{i=1}^n P_i r_i + \sum_{i=1}^n Q_i x_i \right) \quad (4 - 19)$$

$$\Delta U = \frac{1}{U_{dm}} \left(\sum_{i=1}^n p_i R_i + \sum_{i=1}^n q_i X_i \right) \quad (4 - 20)$$

Trong đó:

$P_1, P_2, \dots, P_n; q_1, q_2, \dots, q_n$ - là công suất tác dụng và phản kháng của các phụ tải 1, 2, ..., n;

$P_1, P_2, \dots, P_n; Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ - là công suất tác dụng và phản kháng truyền tải trên các đoạn thứ 1, 2, ..., n;

$r_1, r_2, \dots, r_n; x_1, x_2, \dots, x_n$ - là điện trở tác dụng và phản kháng của đoạn đường dây thứ 1, 2, ..., n;

R_1, R_2, \dots, R_n - là tổng điện trở tác dụng từ nguồn cung cấp đến phụ tải thứ 1, 2, ..., n;

X_1, X_2, \dots, X_n - là tổng điện trở phản kháng kể từ nguồn cung cấp đến phụ tải thứ 1, 2, ..., n.

Nếu phụ tải cho bằng dòng điện thì ta có:

$$\Delta U = \sqrt{3} \sum_{i=1}^n I_{ai} r_i + \sqrt{3} \sum_{i=1}^n I_{pi} x_i \quad (4 - 21)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \sum_{i=1}^n i_{ai} R_i + \sqrt{3} \sum_{i=1}^n i_{pi} X_i \quad (4 - 22)$$

Trong đó:

I_{ai}, I_{pi} - là dòng điện tác dụng và phản kháng trên đoạn đường dây thứ i;

i_{ai}, i_{pi} - là dòng điện tác dụng và phản kháng của phụ tải thứ i.

§ 4-2. TỔN THẤT ĐIỆN ÁP TRÊN ĐƯỜNG DÂY PHÂN NHÁNH VÀ ĐƯỜNG DÂY CÓ PHỤ TẢI PHÂN BỐ ĐỀU

1. Tổn thất điện áp trên đường phân nhánh

Giả sử một đường dây chính phân nhánh có dạng như hình 4-4.

Theo định nghĩa, tổn thất điện áp là hiệu đại số của điện áp điểm đầu và điểm cuối đường dây. Khi xét cho mạng hở phân nhánh thường gặp trong thực tế, các lộ xuất tuyến từ thanh cái trạm cung cấp cho một khu vực sẽ có nhiều nhánh, nhiều nút và nhiều điểm cuối tuyến dây. Giá trị hao tổn điện áp đến các điểm này rất khác nhau, trị số hao tổn từ nguồn đến điểm cuối nào có giá trị lớn nhất sẽ là hao tổn điện áp của mạng phân nhánh. Xét sơ đồ hình 4-4, ta phải tính hao tổn đến 2 điểm cuối c và d, so sánh để xác định được hao tổn điện áp của mạng phân nhánh vì tổn thất điện áp lớn nhất trên đường dây có thể là ΔU_{Ac} hoặc ΔU_{Ad} . Muốn tính tổn thất điện áp từ nguồn A đến điểm c hoặc d ta phải tính tổn thất điện áp trên từng đoạn rồi cộng lại theo từng tuyến:

$$\Delta U_{Ac} = \Delta U_{Ab} + \Delta U_{bc} \quad (4-23)$$

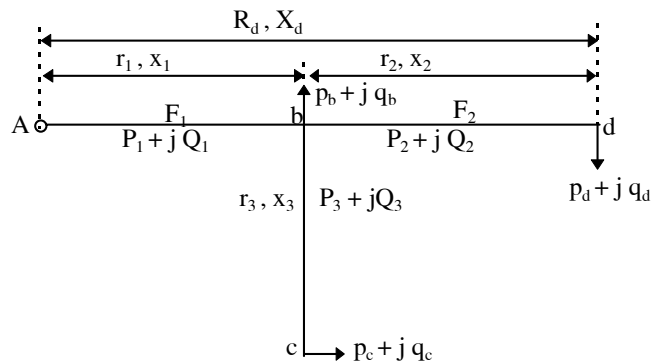
$$\Delta U_{Ad} = \Delta U_{Ab} + \Delta U_{bd} \quad (4-24)$$

Tổn thất điện áp từ nguồn A tới điểm c là:

$$\Delta U_{Ac} = \frac{P_1 r_1 + Q_1 x_1}{U_{dm}} + \frac{P_3 r_3 + Q_3 x_3}{U_{dm}}$$

$$\Delta U_{Ac} = \frac{1}{U_{dm}} (p_b + p_d) R_b + (q_b + q_d) X_b + p_c R_c + q_c X_c.$$

Hình 4-4.
Đường dây chính
phân nhánh



trong đó:

P_1, Q_1 - là công suất truyền tải trên đoạn Ab;

P_3, Q_3 - là công suất truyền tải trên đoạn bc.

$$P_1 = p_b + P_c + P_d; \quad Q_1 = q_b + q_c + q_d;$$

$$R_c = r_1 + r_3; \quad X_c = x_1 + x_3.$$

Tổn thất điện áp từ nguồn A đến điểm d là :

$$\Delta U_{Ad} = \frac{P_1 r_1 + Q_1 x_1}{U_{dm}} + \frac{P_2 r_2 + Q_2 x_2}{U_{dm}}$$

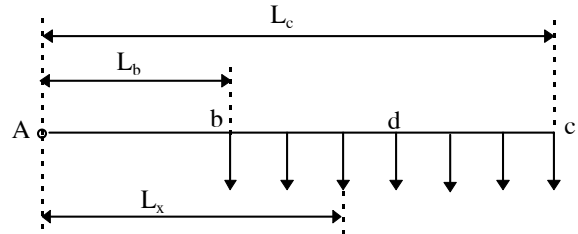
$$\Delta U_{Ad} = \frac{1}{U_{dm}} (p_b + p_c) R_b + (q_b + q_c) X_b + p_d R_d + q_d X_d.$$

trong đó: $R_d = r_1 + r_2$; $X_d = x_1 + x_2$.

2. Tổn thất điện áp trên đường dây có phụ tải phân bố đều

Xét một đường dây có phụ tải phân bố đều từ b đến c (hình 4-5). Giả thiết các phụ tải có $\cos\varphi = 1$. Giả thiết này cũng gần với thực tế nếu đường dây cung cấp cho các phụ tải chiếu sáng, sinh hoạt.

Hình 4-5.
Đường dây có phụ tải phân bố đều



Gọi p_0 là mật độ công suất trên một đơn vị chiều dài, r_0 là điện trở tác dụng trên một đơn vị chiều dài đường dây thì công suất trên một vi phân chiều dài dL là: $dp = p_0 \cdot dL$.

Công suất này đặt cách nguồn A một khoảng là L_x sẽ gây ra một tổn thất điện áp trên đường dây là:

$$d\Delta U = \frac{r_0 dp L_x}{U_{dm}} = \frac{r_0 p_0 dL L_x}{U_{dm}}. \tag{4 - 25}$$

Tổn thất điện áp từ nguồn A đến điểm c của mạng điện là:

$$\Delta U_{AC} = \int_{L_b}^{L_c} d\Delta U = \int_{L_b}^{L_c} \frac{r_0 p_0 dL L_x}{U_{dm}} = \frac{r_0 p_0}{U_{dm}} \int_{L_b}^{L_c} L_x dl = \frac{r_0 p_0}{U_{dm}} \frac{L_c^2 - L_b^2}{2} = \frac{r_0 p_0}{U_{dm}} \frac{L_c + L_b}{2} (L_c - L_b)$$

Ta thấy $(L_c - L_b)p_0 = P$ - là tổng phụ tải của đường dây;

$\frac{L_c + L_b}{2} = L_d$ - là chiều dài từ nguồn A đến trung điểm đoạn bc, vậy:

$$\Delta U = \frac{r_0 P L_d}{U_{dm}} = \frac{P R_d}{U_{dm}} \tag{4 - 26}$$

Trường hợp phụ tải phân bố đều suốt chiều dài đường dây từ A đến c thì tổn thất điện áp vẫn tính theo công thức trên nhưng thay cận dấu tích phân từ 0 đến c.

$$\Delta U = \int_0^{L_c} \frac{r_0 p_0 dL L_x}{U_{dm}} = \frac{r_0 p_0 L_c}{U_{dm}} \frac{L_c}{2} = \frac{r_0 P}{U_{dm}} \frac{L_c}{2} \tag{4-27}$$

Nhận xét: với phụ tải phân bố đều ta có thể thay thế bằng một phụ tải tập trung đặt ở điểm giữa của đoạn đường dây có phụ tải phân bố đều đó. Phụ tải tập trung này có giá trị bằng tổng phụ tải phân bố đều của đường dây.

3. Một số trường hợp đặc biệt trong tính toán tổn thất điện áp

+ Đường dây đồng nhất là đường dây có tỷ số $\frac{x_{0i}}{r_{0i}} = const$ trên mọi đoạn. Nếu đường dây có tiết diện không đổi thì khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn không đổi suốt chiều dài tuyến dây, khi đó r_0 và x_0 cũng không đổi. Ta có:

$$\Delta U = \frac{\sum_1^n P_i r_0 l_i + \sum_1^n Q_i x_0 l_i}{U_{dm}} = \frac{r_0 \sum_1^n P_i l_i + x_0 \sum_1^n Q_i l_i}{U_{dm}} \quad (4-28)$$

$$\Delta U = \frac{r_0 \sum_1^n p_i L_i + x_0 \sum_1^n q_i L_i}{U_{dm}} \quad (4-29)$$

trong đó:

l_i - là chiều dài đoạn đường dây.

L_i - là khoảng cách từ điểm cung cấp điện đến phụ tải thứ i .

+ Nếu đường dây có hệ số công suất giống nhau, thay $Q = P \tan \varphi$ vào (4-28) ta có:

$$\Delta U = \frac{(r_0 + x_0 \tan \varphi) \sum_1^n P_i l_i}{U_{dm}} = \frac{(r_0 + x_0 \tan \varphi) \sum_1^n p_i L_i}{U_{dm}} \quad (4-30)$$

Đặc biệt khi $\cos \varphi = 1$ thì $\sin \varphi = 0$; $Q = 0$, tổn thất điện áp có dạng:

$$\Delta U = \frac{\sum_1^n P_i r_i}{U_{dm}} = \frac{\sum_1^n p_i R_i}{U_{dm}} \quad (4-31)$$

§ 4-3. CHỌN TIẾT DIỆN DÂY DẪN CỦA ĐƯỜNG DÂY THEO TỔN THẤT ĐIỆN ÁP CHO PHÉP

Đối với mạng điện khu vực, công suất truyền tải lớn, tiết diện dây dẫn được lựa chọn theo điều kiện tổn thất vàng quang nên thường lớn, trên mạng có nhiều thiết bị điều chỉnh điện áp như thiết bị bù, thiết bị điều chỉnh điện áp nên việc lựa chọn dây dẫn thường căn cứ vào điều kiện hàm chi phí tính toán Z là nhỏ nhất. Trong mạng điện địa phương, các thiết bị sử dụng điện mắc trực tiếp vào mạng điện hạ áp nên yêu cầu chất lượng điện của thụ điện phải cao hơn. Mặt khác do phụ tải nhiều mà thường các phụ tải đều không đặt thiết bị điều chỉnh điện áp nên tổn thất điện áp trên cực thụ điện có thể vượt quá giá trị cho phép. Vì vậy để đảm bảo chất lượng điện, người ta phải chọn tiết diện dây dẫn theo tổn thất điện áp cho phép.

Khi tính tiết diện theo điều kiện hao tổn điện áp cho phép, ta có thể tính tiết diện không đổi trên toàn bộ chiều dài hoặc tiết diện thay đổi trên từng đoạn để tiết kiệm kim loại màu làm dây dẫn, sau đây ta sẽ xem xét các phương pháp tính chọn tiết diện dây dẫn.

1. Xác định tiết diện dây dẫn khi tiết diện không đổi trên suốt chiều dài đường dây

Lựa chọn chọn tiết diện dây dẫn thay đổi hay không đổi là do phụ tải phân bố xa hay gần (thường phụ tải gần nhau thì chọn tiết diện không đổi vì tránh cắt dây quá nhiều để đấu nối sẽ không đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện, phụ tải xa nhau thì tiết diện nên chọn thay đổi để giảm chi phí kim loại màu). Nhưng dù phương án nào cũng phải đảm bảo điều kiện kỹ thuật là hao tổn điện áp thực tế nhỏ hơn hay bằng hao tổn điện áp cho phép, tức là đảm bảo độ lệch điện áp trên cực thụ điện \geq không vượt quá giá trị cho phép. Sau đây ta xét trường hợp lựa chọn tiết diện không đổi trên suốt chiều dài đường dây.

Giả sử một mạng điện đã biết công suất truyền tải, điện áp và chiều dài đường dây. tổn thất điện áp có thể xác định theo công thức:

$$\Delta U = \frac{r_0 \sum_1^n P_i l_i + x_0 \sum_1^n Q_i l_i}{U_{dm}} = \Delta U_a + \Delta U_p$$

Để giảm hao tổn điện áp trên đường dây, ta có thể thay đổi tiết diện dây dẫn để thay đổi trị số điện trở đường dây. Nếu biết hao tổn điện áp cho phép, do r_0 và x_0 đều phụ thuộc vào tiết diện nên để xác định tiết diện theo tổn thất điện áp cho phép khi phương trình có hai ẩn số là khó khăn (phương trình siêu việt). Với dây dẫn bằng kim loại màu điện kháng x_0 thay đổi trong giới hạn nhỏ ($x_0 = 0,3 - 0,46 \Omega/\text{km}$) do đó ta phải giải bài toán bằng phương pháp lặp. Trong bước lặp đầu tiên ta sơ bộ chọn giá trị của x_0 như sau: với đường dây hạ áp lấy $x_0 = 0,35 \Omega/\text{km}$; đường dây điện áp $U_{dm} = 10 \div 20 \text{ kV}$ chọn $x_0 = 0,38 \Omega/\text{km}$; đường dây $U_{dm} \geq 35 \text{ kV}$ chọn $x_0 = 0,4 \Omega/\text{km}$. Từ đó xác định được tổn thất điện áp phản kháng:

$$\Delta U_p = \frac{x_0 \sum_1^n Q_i l_i}{U_{dm}} = \frac{x_0 \sum_1^n q_i L_i}{U_{dm}} = \sqrt{3} x_0 \sum I_i \cdot \sin \varphi_i l_i$$

Tổn thất điện áp cho phép ΔU_{cp} của toàn bộ đường dây từ đầu nguồn đến phụ tải xa nhất khi tính tiết diện dây dẫn đã xác định được (cách tính trong chương 6). Khi đó tính được tổn thất điện áp tác dụng cho phép:

$$\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_p \tag{4-32}$$

Từ biểu thức:

$$\Delta U_{acp} = \frac{r_0 \sum_1^n P_i l_i}{U_{dm}} = \frac{\sum_1^n P_i l_i}{\gamma F U_{dm}}$$

suy ra:

$$F_{tt} = \frac{\sum_1^n P_i L_i}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}} = \frac{\sum_1^n p_i L_i}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}} \quad (4-33)$$

Dựa vào tiết diện vừa tính được, tra bảng để chọn tiết diện tiêu chuẩn gần nhất theo điều kiện: $F_{tc} \geq F_{tt}$

Do giá trị x_0 ban đầu lấy sơ bộ nên mặc dù tiết diện tiêu chuẩn tìm được lấy lớn hơn tiết diện tính toán thì vẫn phải kiểm tra lại điều kiện hao tổn điện áp cho phép, đây chính là bước lặp tiếp theo. Căn cứ vào tiết diện vừa chọn, tìm được r_0 và x_0 . Ta tính được tổn thất điện áp thực tế ΔU_{tt} và so sánh với giá trị cho phép ΔU_{cp} , nếu:

$\Delta U_{tt} \leq \Delta U_{cp}$ thì tiết diện tìm được là lời giải của bài toán.

$\Delta U_{tt} > \Delta U_{cp}$ thì phải tăng tiết diện lên một cấp và kiểm tra lại cho đến khi thoả mãn.

2. Xác định tiết diện dây dẫn (tiết diện thay đổi trên các đoạn) theo hao tổn điện áp cho phép và tổn thất điện năng nhỏ nhất

Tiêu chuẩn cơ bản nhất để chọn tiết diện dây dẫn là tổn thất điện áp không vượt quá giá trị cho phép. Để thực hiện điều kiện này có thể chọn phương án thay đổi lượng tổn thất điện áp thực tế trên từng đoạn bằng cách thay đổi tiết diện dây các đoạn miễn là tổng hao tổn trên toàn đường dây nhỏ hơn hao tổn cho phép. Vấn đề là tìm được phương án nào thoả mãn yêu cầu kỹ thuật đồng thời kinh tế nhất, tức là phương án có hàm chi phí tính toán Z nhỏ nhất.

Hàm chi phí tính toán: $Z(F) = Z_K(F) + Z_{\Delta A}(F)$

$Z_K(F)$ Thành phần chi phí phụ thuộc vào vốn đầu tư xây dựng đường dây;

$Z_{\Delta A}(F)$ Thành phần chi phí phụ thuộc vào tổn thất điện năng.

Ta thấy rằng, không thể thoả mãn đồng thời cả hai điều kiện Z_K và $Z_{\Delta A}$ đều cực tiểu vì những mạng điện có vốn đầu tư lớn thì hao tổn điện năng thường nhỏ và ngược lại. Nhận xét thấy những mạng điện có T_{max} lớn thì thành phần tổn thất điện năng chiếm tỷ trọng lớn trong hàm chi phí tính toán Z . Vì vậy nếu tiết diện tối ưu của mạng điện được chọn theo mục tiêu tổn thất điện năng nhỏ nhất sẽ làm cho hàm chi phí Z có giá trị cực tiểu.

Xét mạng điện có hai phụ tải, gọi dòng truyền tải trên các đoạn là I_1 và I_2 tương ứng chiều dài các đoạn là l_1 và l_2 và tiết diện F_1 và F_2 , thể tích dây dẫn 1 pha là V_1, V_2 ta có

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 3(I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2) = 3 \left(I_1^2 \frac{\rho \cdot l_1}{F_1} + I_2^2 \frac{\rho \cdot l_2}{F_2} \right)$$

Thế tích dây dẫn một pha trên toàn tuyến $V = V_1 + V_2$ với $V_1 = F_1 I_1$; $V_2 = F_2 I_2$ thay các giá trị F vào biểu thức trên ta có

$$\Delta P_{\Sigma} = 3 \left(I_1^2 \frac{\rho l_1^2}{V_1} + I_2^2 \frac{\rho l_2^2}{V_2} \right) = 3 \left(I_1^2 \frac{\rho l_1^2}{V_1} + I_2^2 \frac{\rho l_2^2}{V - V_1} \right) \text{ Lấy đạo hàm theo } V_1$$

$$\frac{\partial \Delta P_{\Sigma}}{\partial V_1} = 3 \left(I_1^2 \frac{\rho l_1^2}{V_1^2} - I_2^2 \frac{\rho l_2^2}{(V - V_1)^2} \right) = 3 \left(I_1^2 \frac{\rho l_1^2}{V_1^2} - I_2^2 \frac{\rho l_2^2}{V_2^2} \right) = 0$$

thay lại $V = F I$ vào biểu thức trên ta có:

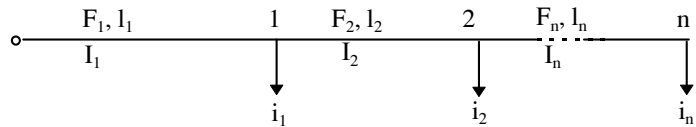
$$I_1^2 \frac{\rho l_1^2}{(F_1 I_1)^2} = I_2^2 \frac{\rho l_2^2}{(F_2 I_2)^2} \text{ hay } \frac{I_1^2}{F_1^2} = \frac{I_2^2}{F_2^2} \rightarrow J_1 = J_2; \text{ Tổng quát ta có } J = \text{const.}$$

Như vậy tổn thất công suất và điện năng trên đường dây là nhỏ nhất khi mật độ dòng điện J không đổi trên các đoạn. Phương pháp chọn tiết diện theo tổn thất điện áp cho phép với tổn thất điện năng nhỏ nhất gọi là phương pháp chọn tiết diện theo hao tổn điện áp cho phép và mật độ dòng điện không đổi ($J = \text{const}$). Sau đây ta tính chọn tiết diện dây dẫn cho hai trường hợp là mạng điện không phân nhánh và mạng điện phân nhánh.

a. Đường dây không phân nhánh

Xét một mạng điện không phân nhánh như hình 4-6. Trong đó tổn thất điện áp cho phép toàn mạng là ΔU_{cp} .

Hình 4-6.
Đường dây
không phân nhánh



Xác định được công suất truyền tải (P_1, P_2, \dots, P_n) hay dòng điện truyền tải (I_1, I_2, \dots, I_n), cho một giá trị trung bình của x_0 , ta xác định được thành phần tổn thất điện áp phản

kháng
$$\Delta U_p = x_0 \sqrt{3} \sum_1^n I_i l_i \sin \varphi_i = x_0 \sqrt{3} \sum_1^n I_{p_i} l_i = \frac{x_0 \sum_1^n Q_i l_i}{U_{dm}}$$

Từ đó có: $\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_p$.

trong đó: $\Delta U_{acp} = \Delta U_{al} + \Delta U_{all} + \dots + \Delta U_{an}$.

hay:

$$\Delta U_{acp} = \sum_{i=1}^n \sqrt{3} I_i \cdot r_{0i} l_i \cos \varphi_i = \frac{\sqrt{3} I_1 l_1 \cos \varphi_1}{\gamma F_1} + \frac{\sqrt{3} I_2 l_2 \cos \varphi_2}{\gamma F_2} + \dots + \frac{\sqrt{3} I_n l_n \cos \varphi_n}{\gamma F_n}$$

Với $J = I/F$, nếu các đoạn đường dây được chọn với mật độ dòng điện không đổi:

$$\Delta U_{acp} = \frac{\sqrt{3}J}{\gamma} (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \dots + l_n \cos \varphi_n)$$

$$\text{rút ra: } J = \frac{\gamma \Delta U_{acp}}{\sqrt{3}(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \dots + l_n \cos \varphi_n)} = \frac{\gamma \Delta U_{acp}}{\sqrt{3} \sum_1^n l_i \cos \varphi_i} \quad (4.34)$$

$\cos \varphi_i$ - là hệ số công suất trên đoạn đường dây thứ i .

Với J tính được, ta xác định được tiết diện dây dẫn trên các đoạn:

$$F_1 = \frac{I_1}{J}; F_2 = \frac{I_2}{J}; \dots; F_n = \frac{I_n}{J}.$$

Tra bảng phụ lục để lựa chọn F quy chuẩn và kiểm tra lại tổn thất điện áp thực tế có vượt quá giá trị cho phép hay không.

b. Đường dây phân nhánh

Giả sử một mạng điện phân nhánh, từ nguồn A đến điểm chung B rồi phân nhánh đến các điểm c, d, \dots, n . Biết tổn thất điện áp cho phép từ của mạng là ΔU_{cp} (mạng phân nhánh thì hao tổn điện áp cho phép được tính từ đầu nguồn đến các điểm cuối đường dây).

Xác định dòng điện truyền tải trên tất cả các đoạn, cho x_0 một giá trị trung bình, ta tính được tổn thất điện áp phản kháng trên các tuyến đường dây. Ta xác định được hao tổn điện áp phản kháng trên đoạn từ đầu nguồn đến điểm cuối nào đó có giá trị lớn nhất.

Giả sử tuyến thứ i tổn thất điện áp phản kháng là lớn nhất ta có:

$$\Delta U_{pi} = \sqrt{3} \sum_1^n I_i \sin \varphi_i l_i \dots (i = c; d \dots n)$$

trong đó: I_{ci}, I_{di}, I_i - là dòng điện truyền tải trên đoạn thứ i của tuyến c, d, i ;
 l_{ci}, l_{di}, l_i - là chiều dài đoạn đường dây thứ i tương ứng với các tuyến c, d, i .

từ đó tính được $\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{pi}$

Mật độ dòng điện được tính cho đoạn phân nhánh nào có giá trị $\sum l_i \cos \varphi_i$ là lớn

nhất:

$$J = \frac{\gamma \Delta U_{acp}}{\sqrt{3} \sum_1^n l_i \cos \varphi_i}.$$

Tiết diện dây dẫn các đoạn được tính theo biểu thức: $F_i = \frac{I_i}{J}$.

Chú ý: Mật độ dòng điện J tìm được cần phải so sánh với mật độ dòng điện kinh tế.

Nếu $J > J_{kt}$ thì tiết diện được chọn theo J_{kt} vừa bảo đảm điều kiện kinh tế vừa bảo đảm tổn thất điện áp cho phép.

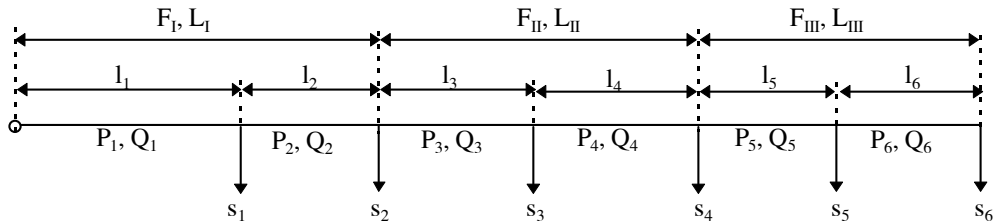
Nếu $J < J_{kt}$ thì dùng J để xác định tiết diện dây dẫn và phải xác định tổn thất điện áp thực tế, so sánh với giá trị cho phép sao cho $\Delta U_{tt} \leq \Delta U_{cp}$.

§ 4-4. XÁC ĐỊNH TIẾT DIỆN DÂY DẪN THEO CHI PHÍ KIM LOẠI CỰC TIỂU

Đối với mạng điện có thời gian sử dụng công suất cực đại nhỏ như mạng cung cấp cho các phụ tải nông nghiệp và chiếu sáng... thì thành phần Z_K chiếm tỷ trọng lớn trong hàm chi phí tính toán Z . Khi đó nếu tiết diện dây dẫn được chọn sao cho vốn đầu tư cơ bản nhỏ nhất thì hàm chi phí tính toán sẽ cực tiểu. Ta gọi là mạng điện có tiết diện tối ưu theo chi phí kim loại cực tiểu. Dây dẫn được tính toán theo hai trường hợp là mạng điện không phân nhánh và phân nhánh.

1. Đường dây không phân nhánh

Giả sử một mạng điện không phân nhánh có dạng như hình 4- 7. Tổn thất điện áp cho phép từ đầu đến cuối đường dây là ΔU_{cp} .



Hình 4-7. Đường dây không phân nhánh

Đối với đường dây có nhiều phụ tải mà chúng phân bố tương đối gần nhau ta có thể chia đường dây thành một số đoạn chính như L_I, L_{II}, L_{III} và dự kiến chọn tiết diện dây dẫn tương ứng là F_I, F_{II}, F_{III} như trên hình vẽ.

trong đó: $L_I = l_1 + l_2$; $L_{II} = l_3 + l_4$; $L_{III} = l_4 + l_5$.

Cho x_0 một giá trị trung bình, xác định công suất truyền tải trên các đoạn ta tính được:

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_{dm}} \sum Q_i l_i$$

Tổn thất điện áp tác dụng: $\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_p$.

ΔU_{acp} - là tổng tổn thất điện áp cho phép tác dụng trên cả 3 đoạn I, II, III;

$$\Delta U_{acp} = \Delta U_{aI} + \Delta U_{aII} + \Delta U_{aIII}.$$

Để tìm F_I, F_{II}, F_{III} ta phải tìm được $\Delta U_{aI}, \Delta U_{aII}, \Delta U_{aIII}$, nghĩa là phân chia ΔU_{acp} trên các đoạn một cách hợp lý ở đây ta phân chia ΔU_{acp} theo chi phí kim loại cực tiểu.

Giả sử đã biết $\Delta U_{aI}, \Delta U_{aII}, \Delta U_{aIII}$, ta tìm được tiết diện trên các đoạn đường dây.

$$F_I = \frac{(\sum Pl)_I}{\gamma U_{dm} \Delta U_{aI}}; F_{II} = \frac{(\sum Pl)_{II}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{aII}}; F_{III} = \frac{(\sum Pl)_{III}}{\gamma U_{dm} (\Delta U_{acp} - \Delta U_{aI} - \Delta U_{aII})}; \quad (4-35)$$

trong đó:

$(\sum Pl)_i$ - là tổng mô men công suất trên các đoạn dự kiến lựa chọn tiết diện.

$$(\sum Pl)_I = P_1 l_1 + P_2 l_2; (\sum Pl)_{II} = P_3 l_3 + P_4 l_4; (\sum Pl)_{III} = P_5 l_5 + P_6 l_6;$$

Thể tích kim loại làm dây dẫn cho cả đường dây là:

$$V = 3(F_I L_I + F_{II} L_{II} + F_{III} L_{III}).$$

$$V = \frac{3}{\gamma U_{dm}} \left[\frac{(\sum Pl)_I L_I}{\Delta U_{aI}} + \frac{(\sum Pl)_{II} L_{II}}{\Delta U_{aII}} + \frac{(\sum Pl)_{III} L_{III}}{\Delta U_{acp} - \Delta U_{aI} - \Delta U_{aII}} \right] \quad (4-36)$$

Điều kiện để chi phí kim loại cực tiểu là các đạo hàm riêng của V theo ΔU_{aI} và theo ΔU_{aII} bằng không.

$$\frac{\partial \mathcal{N}}{\partial \Delta U_{aI}} = \frac{3}{\gamma U_{dm}} \left[-\frac{(\sum Pl)_I L_I}{\Delta U_{aI}^2} + \frac{(\sum Pl)_{III} L_{III}}{(\Delta U_{acp} - \Delta U_{aI} - \Delta U_{aII})^2} \right] = 0 \quad (4-37)$$

$$\frac{\partial \mathcal{N}}{\partial \Delta U_{aII}} = \frac{3}{\gamma U_{dm}} \left[-\frac{(\sum Pl)_{II} L_{II}}{\Delta U_{aII}^2} + \frac{(\sum Pl)_{III} L_{III}}{(\Delta U_{acp} - \Delta U_{aI} - \Delta U_{aII})^2} \right] = 0 \quad (4-38)$$

Từ (4-37) và (4-38) rút ra:

$$\frac{(\sum Pl)_I L_I}{\Delta U_{aI}^2} = \frac{(\sum Pl)_{II} L_{II}}{\Delta U_{aII}^2} = \frac{(\sum Pl)_{III} L_{III}}{\Delta U_{aIII}^2} \quad (4-39)$$

Để tìm ΔU_{aI} , ΔU_{aII} , ΔU_{aIII} ta phải giải hệ phương trình 3 ẩn số:

$$\begin{cases} \Delta U_{aI} + \Delta U_{aII} + \Delta U_{aIII} = \Delta U_{acp} \\ \Delta U_{aI} : \Delta U_{aII} : \Delta U_{aIII} = \sqrt{(\sum Pl)_I L_I} : \sqrt{(\sum Pl)_{II} L_{II}} : \sqrt{(\sum Pl)_{III} L_{III}} \end{cases} \quad (4-40)$$

Từ ΔU_{aI} , ΔU_{aII} , ΔU_{aIII} tính được tiết diện dây dẫn theo công thức (4-35).

Tiết diện dây dẫn sau khi đã tiêu chuẩn hoá cần được kiểm tra theo tổn thất điện áp thực tế sao cho nằm trong giới hạn cho phép.

- Xét trường hợp đặc biệt khi $L_I = l_1$; $L_{II} = l_2$; $L_{III} = l_3$ tức là mỗi đoạn đường dây đến phụ tải ta chọn một tiết diện, ứng với khi các phụ tải nằm cách xa nhau (không có các phụ tải s_1, s_3, s_5 trên sơ đồ hình 4-7).

Gọi P_1, P_2, P_3 là công suất truyền tải trên các đoạn tương ứng với tiết diện F_1, F_2, F_3 khi đó $(\sum Pl)_I = P_1 l_1$; $(\sum Pl)_{II} = P_2 l_2$; $(\sum Pl)_{III} = P_3 l_3$;

Từ (4-39) rút ra:
$$\frac{P_1 l_1^2}{\Delta U_{aI}^2} = \frac{P_2 l_2^2}{\Delta U_{aII}^2} = \frac{P_3 l_3^2}{\Delta U_{aIII}^2} \quad (4-41)$$

thay $\Delta U_{ai}^2 = \left(\frac{Pl_i}{\gamma F_i U_{dm}} \right)^2$ vào (4-41) và rút gọn ta được:

$$\frac{F_1^2}{P_1} = \frac{F_2^2}{P_2} = \frac{F_3^2}{P_3} = const \quad (4-42)$$

$$\text{suy ra: } F_1 = F_3 \sqrt{\frac{P_1}{P_3}}; \quad F_2 = F_3 \sqrt{\frac{P_2}{P_3}} \quad (4-43)$$

$$\text{Mặt khác: } \Delta U_{acp} = \frac{P_1 l_1}{\gamma F_1 U_{dm}} + \frac{P_2 l_2}{\gamma F_2 U_{dm}} + \frac{P_3 l_3}{\gamma F_3 U_{dm}} \quad (4-44)$$

Thay giá trị của F_1 và F_2 từ (4-43) vào (4-44) rút ra:

$$F_3 = \frac{\sqrt{P_3}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}) \quad (4-45)$$

Tương tự cho F_2 và F_1 :

$$F_2 = \frac{\sqrt{P_2}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}) \quad (4-46)$$

$$F_1 = \frac{\sqrt{P_1}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}) \quad (4-47)$$

Tổng quát:

$$F_i = \frac{\sqrt{P_i}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}} \sum_1^n l_i \sqrt{P_i} \quad (4-48)$$

Dựa vào tiết diện dây dẫn tính được, tra bảng lựa chọn tiết diện tiêu chuẩn, thường cách chọn như sau:

- Đoạn dây đầu nguồn có dòng truyền tải lớn nên chọn tiết diện dây dẫn gần nhất và lớn hơn tiết diện tính toán.

- Đoạn đường dây cuối nguồn, chọn tiết diện dây dẫn gần nhất và nhỏ hơn tiết diện tính toán.

Cuối cùng kiểm tra lại theo điều kiện hao tổn điện áp thực tế nhỏ hơn hao tổn điện áp cho phép.

2. Xác định tiết diện dây dẫn đối với đường dây phân nhánh (hình 4-8)

Sơ bộ chọn một giá trị trung bình của x_0 , ta xác định thành phần tổn thất điện áp phản kháng trên các tuyến ABC và ABD. Chọn giá trị lớn nhất để xác định thành phần tổn thất điện áp tác dụng cho phép:

$$\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_p$$

Gọi tổn thất điện áp tác dụng cho phép trên các đoạn I, II, III là ΔU_{al} , ΔU_{all} , ΔU_{alll} thì:

$$\Delta U_{acp} = \Delta U_{al} + \Delta U_{all}$$

$$\Delta U_{acp} = \Delta U_{al} + \Delta U_{alll}$$

$$\text{suy ra } \Delta U_{all} = \Delta U_{alll}$$

Tiết diện dây dẫn nếu tính theo tổn thất điện áp cho phép của các đoạn là:

$$F_I = \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2}{\gamma U_{dm} \Delta U_{al}} = \frac{(\sum Pl)_I}{\gamma U_{dm} \Delta U_{al}}; F_{II} = \frac{P_3 l_3 + P_4 l_4}{\gamma U_{dm} \Delta U_{all}} = \frac{(\sum Pl)_{II}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{all}}; \quad (4-49a)$$

$$\text{và } F_{III} = \frac{P_5 l_5 + P_6 l_6}{\gamma U_{dm} \Delta U_{alll}} = \frac{(\sum Pl)_{III}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{alll}} \quad (4-49b)$$

Thể tích kim loại làm dây dẫn cho cả đường dây là:

$$V = 3(F_I L_I + F_{II} L_{II} + F_{III} L_{III}).$$

Thay (4-49) vào biểu thức tính thể tích kim loại làm dây dẫn ta được:

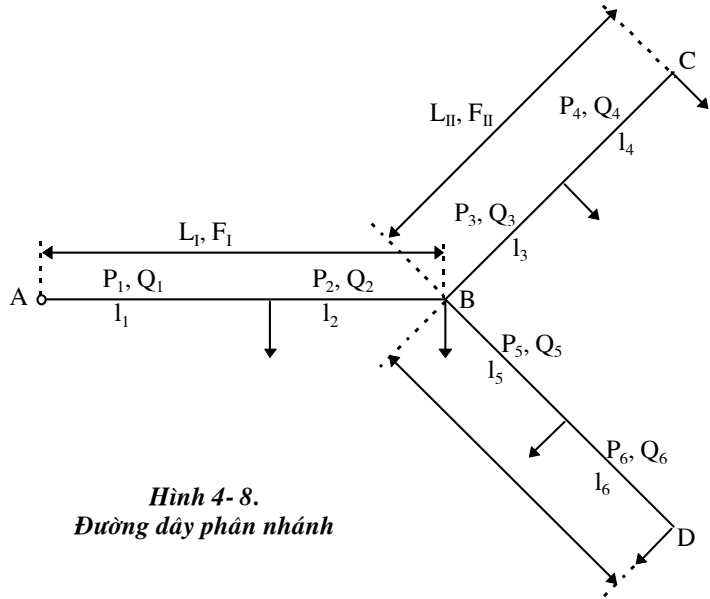
$$V = \frac{3}{\gamma U_{dm}} \left[\frac{(\sum Pl)_I L_I}{\Delta U_{al}} + \frac{(\sum Pl)_{II} L_{II}}{\Delta U_{all}} + \frac{(\sum Pl)_{III} L_{III}}{\Delta U_{alll}} \right]$$

$$V = \frac{3}{\gamma U_{dm}} \left[\frac{(\sum Pl)_I L_I}{\Delta U_{al}} + \frac{(\sum Pl)_{II} L_{II} + (\sum Pl)_{III} L_{III}}{\Delta U_{acp} - \Delta U_{al}} \right]$$

Lượng kim loại là cực tiểu khi đạo hàm riêng của V theo ΔU_{al} bằng không.

$$\frac{\partial V}{\partial \Delta U_{al}} = \frac{3}{\gamma U_{dm}} \left[-\frac{(\sum Pl)_I L_I}{\Delta U_{al}^2} + \frac{(\sum Pl)_{II} L_{II} + (\sum Pl)_{III} L_{III}}{(\Delta U_{acp} - \Delta U_{al})^2} \right] = 0 \quad (4-50)$$

Giải phương trình (4-50) ta được:



Hình 4-8.
Đường dây phân nhánh

$$\Delta U_{al} = \frac{\Delta U_{acp}}{1 + \sqrt{\frac{(\sum Pl)_{II} L_{II} + (\sum Pl)_{III} L_{III}}{(\sum Pl)_I L_I}}} \quad (4-51)$$

Sau khi tìm được ΔU_{al} lắp vào công thức (4-49) ta tìm được F_1 . Căn cứ vào F_1 tiêu chuẩn tra được r_{01} và x_{01} từ đó tính được tổn thất điện áp thực tế trên đoạn I (đoạn AB). Sau đó xác định tổn thất điện áp tác dụng cho phép còn lại của đoạn II (BC) và đoạn III (BD).

$$\Delta U_{II} = \Delta U_{III} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{I}$$

Biết ΔU_{II} và ΔU_{III} ta sơ bộ chọn một giá trị x_0 để tính tổn thất điện áp phản kháng trên các đoạn còn lại ΔU_{pII} và ΔU_{pIII} , xác định ΔU_{aII} và ΔU_{aIII} để tính được tiết diện dây dẫn của đoạn II và đoạn III.

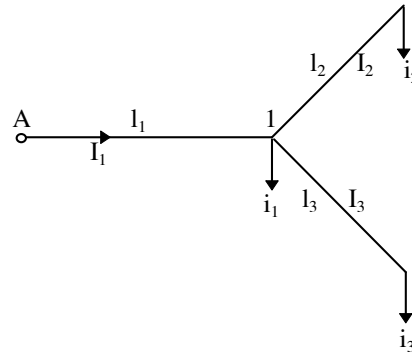
Nếu tiết diện đoạn dây AB nằm giữa hai tiết diện tiêu chuẩn, để có chi phí kim loại cực tiểu ta xác định 2 phương án: chọn tiết diện gần và nhỏ hơn tiết diện tính toán cho đoạn AB, ta có tương ứng tiết diện các đoạn BD và BC (phương án 1); chọn tiếp tiết diện gần và lớn hơn tiết diện tính toán cho đoạn AB, ta lại có tương ứng hai tiết diện cho BD và BC (phương án 2); so sánh chọn phương án nào có tổng thể tích kim loại màu là nhỏ nhất làm tiết diện cho đường dây. Chú ý trong cả hai trường hợp thì hao tổn điện áp từ nguồn đến hai điểm D và C đều phải nhỏ hơn tiết diện cho phép. Trường hợp khi tiết diện tính toán nằm gần sát tiết diện tiêu chuẩn thì chỉ cần tính một lần là đủ. Lưu ý khi chọn đoạn đầu đường dây có tiết diện nhỏ hơn tiết diện tính toán thì các đoạn sau phải chọn lớn hơn tiết diện tính toán mới đảm bảo hao tổn thực tế nhỏ hơn hao tổn cho phép.

§ 4-5. XÁC ĐỊNH TIẾT DIỆN DÂY DẪN CỦA MẠNG ĐIỆN PHÂN NHÁNH THEO PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TRỞ GIẢ TƯỢNG

Mạng điện có đường dây chính phân nhánh là trường hợp phổ biến đối với mạng điện nông nghiệp, những trạm phát điện độc lập như trạm thủy điện hay trạm biến áp cũng chỉ cung cấp cho các thụ điện nằm về một phía (mạng hở). Ngoài cách tính toán theo điều kiện kinh tế như trên, người ta còn dùng phương pháp điện trở giả tưởng. Phương pháp điện trở giả tưởng là phương pháp lập tính theo tổn thất điện áp cho phép; nó rất thuận lợi đối với đường dây phân nhánh, nhất là mạng điện phân nhánh phức tạp.

1. Mạng điện phân nhánh đơn giản

Giả sử nguồn A cung cấp cho các phụ tải i_1, i_2, i_3 (hình 4-9)



Hình 4-9.
Mạng điện phân nhánh đơn giản

Dòng điện truyền tải trên các đoạn là:

$$I_3 = i_3; I_2 = i_2; I_1 = I_2 + I_3.$$

Nếu toàn mạng có mật độ dòng điện j không đổi thì:

$$F_2 = \frac{I_2}{j}; F_3 = \frac{I_3}{j}; F_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{I_2 + I_3}{j} = F_2 + F_3$$

Tổn thất điện áp trên đoạn đường dây thứ nhất là:

$$\Delta U = \sqrt{3} I l (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) = \sqrt{3} I l Z_{0gt} \tag{4-52}$$

Z_{0gt} - là điện trở giả tưởng của một km đường dây phụ thuộc vào điều kiện phụ tải (phụ thuộc vào hệ số $\cos \varphi$ truyền tải).

$$Z_{0gt} = (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \tag{4-53}.$$

Từ (4-52) ta rút ra:

$$Z_{0gt} = \frac{\Delta U}{\sqrt{3} I} = \frac{\Delta U \cdot U_{dm}}{S \cdot I} \tag{4-54}.$$

Muốn tìm Z_{0gt} ta phải tính được ΔU , ta có:

$$\Delta U = \sqrt{3} (I_a r + I_p x) = \sqrt{3} I_a r (1 + \frac{I_p}{I_a} \frac{x}{r}) = \sqrt{3} I_a r \cdot K_z \tag{4-55}$$

Đối với mạng điện địa phương tỷ số $\frac{x}{r}$ thay đổi trong phạm vi rất nhỏ nên ta có thể coi

$$K_z = 1 + \frac{I_p \cdot x}{I_a \cdot r} = 1 + \text{tg } \varphi \cdot \text{tg } \alpha = \text{const}$$

Với $\text{tg } \varphi = \frac{I_p}{I_a}$ và $\text{tg } \alpha = \frac{x}{r}$, tổn thất điện áp và tiết diện dây dẫn trên từng đoạn:

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} I_{a1} \cdot \rho \cdot \frac{l_1}{F_1} K_z \rightarrow F_1 = \frac{\rho \sqrt{3} I_{a1} l_1 K_z}{\Delta U_1} \tag{4-56a}$$

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} I_{a2} \cdot \rho \cdot \frac{l_2}{F_2} K_z \rightarrow F_2 = \frac{\rho \sqrt{3} I_{a2} l_2 K_z}{\Delta U_2} \quad (4-56b)$$

$$\Delta U_3 = \sqrt{3} I_{a3} \cdot \rho \cdot \frac{l_3}{F_3} K_z \rightarrow F_3 = \frac{\rho \sqrt{3} I_{a3} l_3 K_z}{\Delta U_3} \quad (4-56c)$$

Thay giá trị của $F_1 = F_2 + F_3$ vào (4-56) ta được:

$$\frac{\rho \sqrt{3} I_{a1} l_1 K_z}{\Delta U_1} = \frac{\rho \sqrt{3} I_{a2} l_2 K_z}{\Delta U_2} + \frac{\rho \sqrt{3} I_{a3} l_3 K_z}{\Delta U_3}$$

Đơn giản và chú ý rằng $\Delta U_2 = \Delta U_3$ sẽ được:

$$\begin{aligned} \frac{I_{a1} l_1}{\Delta U_1} &= \frac{I_{a2} l_2}{\Delta U_2} + \frac{I_{a3} l_3}{\Delta U_3} = \frac{I_{a2} l_2 + I_{a3} l_3}{\Delta U_2} && \text{Cộng hai vế với 1 ta có} \\ \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2}{\Delta U_1} &= \frac{I_{a1} l_1 + I_{a2} l_2 + I_{a3} l_3}{I_{a1} l_1} = \frac{\Delta U_{\max}}{\Delta U_1} \\ \Delta U_1 &= \Delta U_{\max} \frac{I_{a1} l_1}{I_{a1} l_1 + I_{a2} l_2 + I_{a3} l_3} = \Delta U_{\max} \frac{I_{a1} l_1}{\sum_{i=1}^n I_{ai} l_i} \end{aligned} \quad (4-57)$$

Khi tiết diện dây dẫn tính toán theo tổn thất điện áp cho phép ta lấy $\Delta U_{\max} = \Delta U_{cp}$ và lưu ý rằng $I_a = \frac{P}{\sqrt{3} U_{dm}}$. Từ (4-57) ta xác định được tổn thất điện áp cho phép của đoạn đầu tiên xác định theo công thức:

$$\Delta U_{cp1} = \Delta U_{cp} \frac{I_{a1} l_1}{\sum_{i=1}^n I_{ai} l_i} = \Delta U_{cp} \frac{P_1 l_1}{P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3} = \Delta U_{cp} \frac{P_1 l_1}{\sum_{i=1}^n P_i l_i} \quad (4-58)$$

trong đó:

P_1, l_1 - là công suất truyền tải và chiều dài đường dây của đoạn thứ nhất;

P_2, l_2 - là công suất truyền tải và chiều dài đường dây của đoạn thứ 2;

P_3, l_3 - là công suất truyền tải và chiều dài đường dây của đoạn thứ 3.

Thay (4-58) vào (4-54) ta tính được Z_{0gt1} của đoạn thứ nhất:

$$Z_{0gt1} = \frac{\Delta U_{cp1}}{\sqrt{3} I_1 l_1} = \frac{\Delta U_{cp1} \cdot U_{dm}}{S_1 \cdot I_1} \quad (4-59)$$

Muốn tìm tiết diện dây dẫn ta tính tổng trở của một số tiết diện quy chuẩn (Z_{0qc} được tính với hệ số $\cos\varphi$ truyền tải) rồi so sánh với điện trở giả tưởng để chọn dây dẫn với điều kiện $Z_{0gt} \geq Z_{0qc}$. Ví dụ xác định Z_{0qc} ứng với dây AC 70 và AC 95 ta có:

$$Z_{070} = r_{070} \cos\varphi + x_{070} \sin\varphi; \quad Z_{095} = r_{095} \cos\varphi + x_{095} \sin\varphi$$

Sau khi tìm được tiết diện dây dẫn của đoạn thứ nhất ta tìm tổn thất điện áp thực tế của đoạn thứ nhất:

$$\Delta U_{tt1} = \Delta U_{cp1} \frac{Z_{0qc}}{Z_{0gt}} \quad (4-60)$$

Xác định tổn thất điện áp cho phép còn lại của đoạn thứ 2:

$$\Delta U_{cl} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{tt1}$$

Tìm điện trở giả tưởng của đoạn thứ 2, 3:

$$Z_{0gt2} = \frac{\Delta U_{cl}}{\sqrt{3} \cdot I_2 \cdot l_2} = \frac{\Delta U_{cl}}{S_2 \cdot I_2} U_{dm}; \quad Z_{0gt3} = \frac{\Delta U_{cl}}{\sqrt{3} I_3 l_3} = \frac{\Delta U_{cl}}{S_3 I_3} U_{dm};$$

Tiếp tục so sánh Z_{0gt} với Z_{0qc} của một số tiết diện dây dẫn, chọn tiết diện gần nhất và kiểm tra tổn thất điện áp thực tế.

2. Trường hợp mạng điện phân nhánh phức tạp

Nếu mạng điện có nhiều nhánh, mỗi nhánh có nhiều phụ tải (hình 4-10) ta phân đường dây thành một số đoạn chính rồi tìm tiết diện của các đoạn đó.

Trên hình vẽ chiều dài các đoạn chính là:

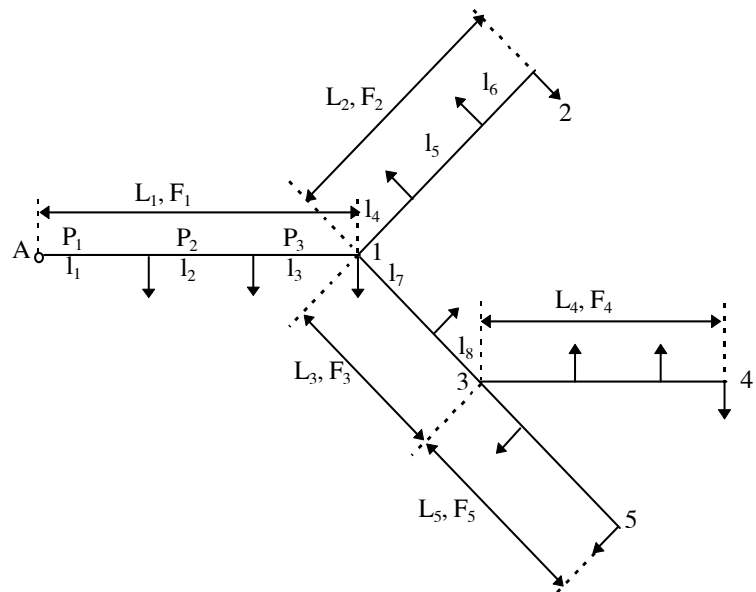
$$L_1 = l_1 + l_2 + l_3$$

$$L_2 = l_4 + l_5 + l_6$$

$$L_3 = l_7 + l_8$$

.....

Hình 4-10.
Mạng điện phân nhánh phức tạp



Tìm công suất truyền tải và mô men công suất trên các đoạn nhỏ và mô men công suất trên các đoạn chính:

Ví dụ:

$$M_1 = P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3 = \left(\sum_{i=1}^n P_i l_i \right)_1$$

$$M_2 = P_4 I_4 + P_5 I_5 + P_6 I_6 = \left(\sum_{i=1}^n P_i I_i \right)_2$$

$$M_3 = P_7 I_7 + P_8 I_8 = \left(\sum_{i=1}^n P_i I_i \right)_3$$

.....

Áp dụng công thức tính ở trên, ta tính cho đoạn cuối cùng và chuyển dần về đoạn đầu nguồn, ta sẽ xác định được tổn thất điện áp cho phép của đoạn thứ nhất:

$$\Delta U_{cp1} = \Delta U_{cp} \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i I_i \right)_1}{\left(\sum_{i=1}^n P_i I_i \right)_1 + \left(\sum_{i=1}^n P_i I_i \right)_2 + \left(\sum_{i=1}^n P_i I_i \right)_3 + \left(\sum_{i=1}^n P_i I_i \right)_4 + \left(\sum_{i=1}^n P_i I_i \right)_5}$$

$$\Delta U_{cp1} = \Delta U_{cp} \frac{M_1}{\sum_{j=1}^k M_j} \text{ với } J = 1,2,3...k, \text{ là số lượng các đoạn của đường dây phân nhánh.}$$

Điện trở giả tưởng của đoạn thứ nhất:

$$Z_{0gt1} = \frac{\Delta U_{cp1}}{\sqrt{3}(I.I)_1} = \Delta U_{cp} \frac{U_{dm}}{\left(\sum_{i=1}^n S_i I_i \right)_1}$$

So sánh Z_{0gt1} với tổng trở của một số tiết diện quy chuẩn, chọn F_1 sao cho đảm bảo điều kiện $Z_{0gt1} \geq Z_{0qc}$, tính toán ta có hao tổn điện áp thực ΔU_{tt} với tiết diện vừa tìm được trên

đoạn I.
$$\Delta U_{tt} = \Delta U_{cp1} \frac{Z_{0qc1}}{Z_{0gt1}}$$

Theo sơ đồ trên, hao tổn điện áp trên các đoạn còn lại tính từ điểm phân nhánh 1:

$$\Delta U_{cpCL} = \Delta U_{cp1-2} = \Delta U_{cp1-4} = \Delta U_{cp1-5} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{tt1}$$

$$\Delta U_{cp1-3} = \Delta U_{cpCL} \cdot \frac{M_3}{M_3 + M_4 + M_5} = \Delta U_{cp1-4} \cdot \frac{M_3}{M_3 + M_4 + M_5}$$

Tương tự ta tính được tiết diện F của đoạn 1-3, ΔU_{tt1-3} và tìm được hao tổn điện áp trên các đoạn khác còn lại.

Phương pháp tính được áp dụng trong trường hợp những mạng điện có hệ số công suất của các phụ tải gần tương đương nhau (khi đó có thể coi $\cos\varphi$ truyền tải các đoạn là bằng nhau) hoặc phụ tải có $\cos\varphi$ cao (đảm bảo tỷ số $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} \approx \operatorname{const}$) và các đoạn đường dây gần như đồng nhất ($\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{const}$).

§ 4-6. TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN HỖ KHÔNG ĐỐI XỨNG

CÓ PHỤ TẢI NỐI TAM GIÁC

1. Phương pháp chung tính toán mạng điện không đối xứng

Trong mạng điện xoay chiều 3 pha, phụ tải giữa các pha có thể không đều nhau. Đối với mạng điện hạ áp cung cấp cho các thụ điện thấp sáng, sinh hoạt thường dùng một dây pha và một trung tính, các động cơ điện thì đấu vào điện áp pha hoặc điện áp dây. Về nguyên tắc chúng được bố trí đều giữa các pha nhưng không phải dễ dàng thực hiện được. Ngay cả khi có phân bố phụ tải các pha đều nhau thì trong quá trình vận hành, phụ tải luôn biến đổi theo quy luật ngẫu nhiên nên cũng tạo ra sự mất đối xứng. Vì vậy trong mạng luôn có sự không đối xứng của dòng phụ tải. Trong mạng điện không đối xứng sẽ có dòng điện trong dây trung tính và tổn thất điện áp giữa các pha sẽ không đều nhau. Ta phải tính toán tổn thất điện áp trên từng pha để kiểm tra đánh giá chất lượng điện, chọn tiết diện dây dẫn và tìm cách phân bố lại phụ tải cho đều hơn. Việc tính toán hao tổn điện áp và năng lượng trong mạng ba pha không đối xứng phức tạp hơn nhiều so với mạng đối xứng vì ngoài hao tổn do dòng truyền tải trên từng pha thì ta phải tính đến ảnh hưởng của các tác dụng tương hỗ lên pha đó

Để đơn giản trong tính toán, ta cho rằng đường dây 3 pha có điện trở các pha bằng nhau. Nếu có dây trung tính thì điện trở có thể bằng hoặc khác dây pha. Điều này phù hợp với thực tế vì các pha thường chọn cùng một tiết diện. Khi phụ tải không đối xứng, dòng điện các pha không đều nhau gây ra tổn thất điện áp khác nhau. Để giải bài toán ta dùng phương pháp phân tích các thành phần dòng điện không đối xứng thành các thành phần đối xứng dạng chính tắc là: thuận, nghịch và không (phương pháp của Fortescue). Ta cho các thành phần đối xứng thứ tự thuận, nghịch, không tác động lên mạng điện, tìm các đáp ứng đối với từng thành phần đó và xếp chồng lại ta có đáp ứng của dòng điện không đối xứng.

Giả sử dòng điện truyền tải trên các pha không đều nhau, ta phân tích chúng thành các thành phần đối xứng thứ tự thuận, nghịch, không:

$$I_A = I_t + I_{ng} + I_0$$

$$I_B = a^2 I_t + a I_{ng} + I_0$$

$$I_C = a I_t + a^2 I_{ng} + I_0$$

Các thành phần dòng thứ tự thuận, nghịch, không gây ra tổn thất điện áp trên các pha có giá trị là:

$$\Delta U_t = I_t \cdot Z; \quad \Delta U_{ng} = I_{ng} \cdot Z; \quad \Delta U_0 = I_0 \cdot Z_0$$

I_t, I_{ng}, I_0 - là thành phần dòng điện thứ tự thuận nghịch và không;

Z, Z_0 - là tổng trở pha và tổng trở thứ tự không.

Tổn thất điện áp pha A là xếp chồng của các hao tổn thành phần:

$$\Delta U_{0A} = \Delta U_t + \Delta U_{ng} + \Delta U_0 = (I_t + I_{ng}) Z + I_0 Z_0$$

$$\Delta U_{0A} = (I_1 + I_{ng} + I_0) Z + I_0 (Z_0 - Z) = I_A Z + I_0 (Z_0 - Z) \quad (4-61a)$$

Tương tự tính cho tổn thất điện áp pha B và C:

$$\Delta U_{0B} = I_B Z + I_0 (Z_0 - Z) \quad (4-61b)$$

$$\Delta U_{0C} = I_C Z + I_0 (Z_0 - Z) \quad (4-61c)$$

Tổn thất điện áp dây là hiệu véc tơ của tổn thất điện áp các pha tương ứng:

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{0A} - \Delta U_{0B} = (I_A - I_B) Z \quad (4-62a)$$

$$\Delta U_{BC} = \Delta U_{0B} - \Delta U_{0C} = (I_B - I_C) Z \quad (4-62b)$$

$$\Delta U_{CA} = \Delta U_{0C} - \Delta U_{0A} = (I_C - I_A) Z \quad (4-62c)$$

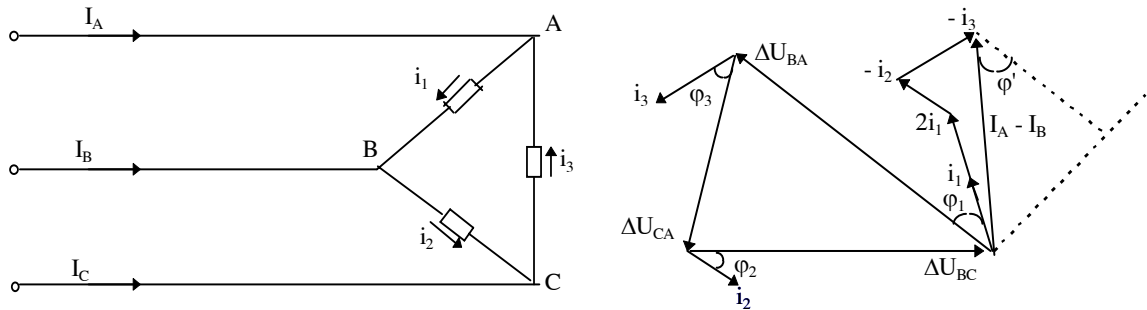
Sử dụng các công thức trên, ta có thể xác định được hao tổn điện áp trong mạng ba pha bất kỳ có phụ tải không đối xứng.

2. Mạng điện không đối xứng có phụ tải nối tam giác

Giả sử các phụ tải một pha nối theo hình tam giác như hình 4-11. Trong sơ đồ không có dây trung tính nên dòng thứ tự không ($I_0 = 0$) và tổn thất điện áp giữa các pha có dạng như biểu thức (4-62).

Ta xét độ rơi điện áp giữa các pha AB:

$$\Delta \dot{U}_{AB} = (\dot{I}_A - \dot{I}_B) \cdot \dot{Z}$$



Hình 4-11. Mạng điện không đối xứng nối tam giác và đồ thị véc tơ

Viết định luật Kirchof cho các nút A và B:

$$\begin{aligned} I_A &= i_1 - i_3; \quad I_B = i_2 - i_1 \\ I_A - I_B &= (i_1 - i_3) - (i_2 - i_1) = 2i_1 - i_2 - i_3 \end{aligned} \quad (4-63)$$

Vẽ đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp, thể hiện trên hình vẽ.

Tổng trở thứ tự thuận và nghịch có thể biểu diễn trên hình 4-11.

$$\dot{Z} = r + j x \quad (4-64)$$

Hao tổn điện áp chính là trị đại số của độ rơi điện áp, là tích vô hướng của hai véc tơ $(\dot{I}_A - \dot{I}_B)$ và \dot{Z} , ta có

$$\Delta U_{AB} = (I_A - I_B) r \cos\varphi' + (I_A - I_B) x \sin\varphi' \quad (4-65)$$

φ' - là góc lệch pha giữa $\Delta \dot{U}_{AB}$ và $(\dot{I}_A - \dot{I}_B)$

Từ (4-65) ta thấy hao tổn điện áp ΔU_{AB} tỷ lệ với hình chiếu của véc tơ $(I_A - I_B)$ lên phương của $\Delta \dot{U}_{AB}$ và hình chiếu của $(I_A - I_B)$ lên phương vuông góc với nó, thay vì chiếu véc tơ $(\dot{I}_A - \dot{I}_B)$ ta lần lượt chiếu các véc tơ $2i_1, -i_2, -i_3$ lên phương của $\Delta \dot{U}_{AB}$ và phương vuông góc với nó.

$$\Delta U_{AB} = [2i_1 \cos\varphi_1 - i_2 \cos(\varphi_2 + 120^\circ) - i_3 \cos(\varphi_3 + 240^\circ)].r \\ + [2i_1 \sin\varphi_1 - i_2 \sin(\varphi_2 + 120^\circ) - i_3 \sin(\varphi_3 + 240^\circ)].x$$

Thực hiện các biến đổi:

$$\sin(a+b) = \sin a \cos b + \sin b \cos a; \quad \cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$

Sau khi thay thế các giá trị của góc 120° và 240° , biến đổi ta có:

$$\Delta U_{AB} = [2i_1 \cos\varphi_1 + 0,5i_2 \cos\varphi_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} i_2 \sin\varphi_2 + 0,5i_3 \cos\varphi_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} i_3 \sin\varphi_3].r \\ + [2i_1 \sin\varphi_1 + 0,5i_2 \sin\varphi_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} i_2 \cos\varphi_2 + 0,5i_3 \sin\varphi_3 + \frac{\sqrt{3}}{2} i_3 \cos\varphi_3].x \quad (4-66)$$

Đây là công thức tính tổn thất điện áp trong mạng không đối xứng có phụ tải đấu tam giác, nó khá phức tạp. Thực tế dòng điện phụ tải các pha chênh lệch nhau không nhiều và hệ số $\cos\varphi$ cũng gần như nhau; ta coi $i_2 = i_3$; $\cos\varphi_2 = \cos\varphi_3$. Khi đó

$$\frac{\sqrt{3}}{2} i_2 \sin\varphi_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} i_3 \sin\varphi_3 = 0$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} i_3 \cos\varphi_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} i_2 \cos\varphi_2 = 0$$

Biểu thức (4-66) rút gọn, phân ra tổn thất điện áp tác dụng và phản kháng có dạng:

$$\Delta U_{aAB} = [2i_{a1} + 0,5(i_{a2} + i_{a3})] r \quad (4-67)$$

$$\Delta U_{pAB} = [2i_{p1} + 0,5(i_{p2} + i_{p3})] x \quad (4-68)$$

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{aAB} + \Delta U_{pAB} \quad (4-69)$$

Tương tự như trên, tính được tổn thất điện áp giữa các pha còn lại:

$$\Delta U_{BC} = [2i_{a2} + 0,5(i_{a1} + i_{a3})] r + [2i_{p2} + 0,5(i_{p1} + i_{p3})] x \quad (4-70)$$

$$\Delta U_{CA} = [2i_{a3} + 0,5(i_{a1} + i_{a2})] r + [2i_{p3} + 0,5(i_{p1} + i_{p2})] x \quad (4-71)$$

Khi phụ tải giữa các pha phân bố đều thì công thức trở về dạng quen thuộc:

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{BC} = \Delta U_{CA} = 3(Ir \cos\varphi + ix \sin\varphi) = \sqrt{3} (I r \cos\varphi + I x \sin\varphi)$$

Trong thực tế, với mạng điện có phụ tải không đối xứng thì việc phân bố phụ tải đồng đều giữa các pha để cho hao tổn điện áp đồng đều nhau, không vượt quá hao tổn điện áp cho phép là rất cần thiết.

Giả thiết có 2 đường dây hoàn toàn giống nhau, có phụ tải như nhau là P, có cùng hệ số công suất $\cos\varphi$. Một mạng phân bố đối xứng, một phân bố không đối xứng ta thấy:

$$P_1 = \sqrt{3} UI \cos\varphi \quad P_2 = U_{I_1} \cos\varphi + U_{I_2} \cos\varphi + U_{I_3} \cos\varphi \quad \text{với } P_1 = P_2 \text{ nên:}$$

$$\sqrt{3} UI \cos\varphi = U \cos\varphi (i_1 + i_2 + i_3) \quad \text{hay} \quad \sqrt{3} I = (i_1 + i_2 + i_3)$$

Với mạng đối xứng, tổng tổn thất điện áp cả 3 pha là:

$$\sum \Delta U = 3\Delta U = 3\sqrt{3} (I r \cos\varphi + I x \sin\varphi)$$

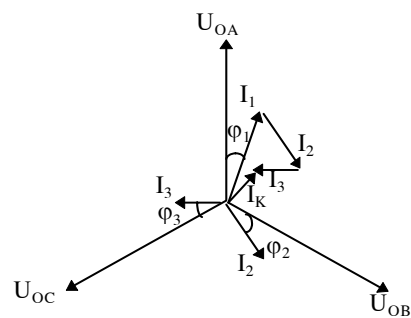
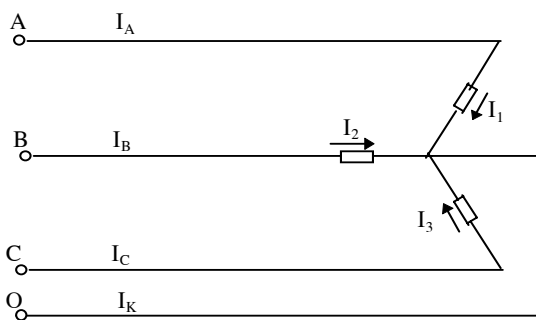
Với mạng không đối xứng tổng tổn thất điện áp cả 3 pha là:

$$\begin{aligned} \sum \Delta U &= \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} + \Delta U_{CA} \\ &= [2i_1 + 0,5(i_2 + i_3) + 2i_2 + 0,5(i_1 + i_3) + 2i_3 + (i_1 + i_2)] (r \cos\varphi + x \sin\varphi) \\ &= 3(i_1 + i_2 + i_3) (r \cos\varphi + x \sin\varphi) = 3\sqrt{3} (I r \cos\varphi + I x \sin\varphi) \end{aligned}$$

Như vậy với đường dây 3 pha đồng nhất cùng truyền tải một công suất và có $\cos\varphi$ như nhau thì tổng tổn thất điện áp giữa các pha không phụ thuộc vào sự phân bố phụ tải giữa các pha.

§ 4-7. MẠNG ĐIỆN KHÔNG ĐỐI XỨNG CÓ PHỤ TẢI NỐI SAO

1. Tính toán tổn thất điện áp



đổi xứng đấu sao như hình 4-12.

Xét một mạng điện có phụ tải không

Các dây pha có điện trở như nhau và bằng Z, dây trung tính có tổng trở là Z_K . Ở mạng điện đấu sao, dòng điện dây bằng dòng điện pha:

Hình 4 -12. Mạng điện không đối xứng nối sao và đồ thị véc tơ

$$I_A = I_1; \quad I_B = I_2; \quad I_C = I_3.$$

Tổn thất điện áp trong pha A xác định theo công thức:

$$\Delta U_{0A} = I_A \cdot Z + I_0 (Z_0 - Z).$$

Trị số của hao tổn điện áp pha là tích vô hướng của các véc tơ tương ứng

$$\Delta U_{0A} = I_1 (r \cos \varphi_1 + x \sin \varphi_1) + I_0 [(r_0 - r) \cos \varphi_{0A} + (x_0 - x) \sin \varphi_{0A}] \quad (4-72)$$

trong đó:

φ_{0A} - là góc lệch pha giữa điện áp U_{0A} và dòng điện thứ tự không I_0 .

Dòng điện trong dây trung tính là I_K bằng tổng các dòng điện pha:

$$I_K = I_A + I_B + I_C = 3I_0.$$

$$\text{Vậy } I_0 = \frac{1}{3} (I_1 + I_2 + I_3) = \frac{1}{3} I_K \quad (4-73)$$

Ta vẽ đồ thị véc tơ dòng và áp như trên hình 4-12.

Từ biểu thức (4-72) ta thấy, giá trị của hao tổn điện áp ΔU_{0A} tỷ lệ với hình chiếu của I_1 và I_0 lên phương của ΔU_{0A} và phương vuông góc với nó. Hình chiếu của véc tơ I_0 được thay thế bằng tổng hình chiếu của các véc tơ dòng điện thành phần. Biểu thức ΔU_{0A} có dạng:

$$\begin{aligned} \Delta U_{0A} = & I_1 (r \cos \varphi_1 + x \sin \varphi_1) + \frac{1}{3} [I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos(\varphi_2 + 120^\circ) + I_3 \cos(\varphi_3 + 240^\circ)] (r_0 - r) \\ & + \frac{1}{3} [I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin(\varphi_2 + 120^\circ) + I_3 \sin(\varphi_3 + 240^\circ)] (x_0 - x). \end{aligned} \quad (4-74)$$

Thực hiện các biến đổi lượng giác ta có

$$\begin{aligned} \Delta U_{0A} = & I_1 (r \cos \varphi_1 + x \sin \varphi_1) + \frac{1}{3} (I_1 \cos \varphi_1 - 0,5 I_2 \cos \varphi_2 - \frac{\sqrt{3}}{2} I_2 \sin \varphi_2 - 0,5 I_3 \cos \varphi_3 + \\ & \frac{\sqrt{3}}{2} I_3 \sin \varphi_3) (r_0 - r) + \frac{1}{3} (I_1 \sin \varphi_1 - 0,5 I_2 \sin \varphi_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} I_2 \cos \varphi_2 - 0,5 I_3 \sin \varphi_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} I_3 \cos \varphi_3) (x_0 - x) \end{aligned}$$

Biểu thức (4-74) là biểu thức tổng quát, việc tính toán rất phức tạp. Để đơn giản trong trường hợp dòng điện tải các pha chênh lệch nhau không nhiều, ta coi $I_2 = I_3$; $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$. Biểu thức xác định tổn thất điện áp (4-74) rút gọn rồi phân ra thành phần tác dụng và phản kháng được viết dưới dạng:

$$\begin{aligned} \Delta U_{a0A} = & I_1 r \cos \varphi_1 + \frac{1}{3} [I_1 \cos \varphi_1 - 0,5 (I_2 \cos \varphi_2 + I_3 \cos \varphi_3)] (r_0 - r) \\ \Delta U_{a0A} = & I_{a1} r + \frac{1}{3} [I_{a1} - 0,5 (I_{a2} + I_{a3})] (r_0 - r) \end{aligned} \quad (4-75)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{p0A} = & I_1 x \sin \varphi_1 + \frac{1}{3} [I_1 \sin \varphi_1 - 0,5 (I_2 \sin \varphi_2 + I_3 \sin \varphi_3)] (x_0 - x) \\ \Delta U_{p0A} = & I_{p1} x + \frac{1}{3} [I_{p1} - 0,5 (I_{p2} + I_{p3})] (x_0 - x) \end{aligned} \quad (4-76)$$

$$\Delta U_{0A} = \Delta U_{a0A} + \Delta U_{p0A}.$$

Điện trở thứ tự không xác định theo sơ đồ mạng điện. Với mạng điện 3 pha 4 dây, dòng điện trong dây trung tính bằng 3 lần dòng điện trong các dây pha nên tổng trở thứ tự không là: $Z_0 = Z + 3Z_K$. Tương ứng có điện trở tác dụng và phản kháng thứ tự không:

$$r_0 = r + 3r_K; \quad x_0 = x + 3x_K \quad (4-77)$$

trong đó:

r và r_K - là điện trở dây pha và dây trung tính;

x và x_K - là điện kháng dây pha và dây trung tính;

r_0 và x_0 - là thành phần điện trở và điện kháng thứ tự không.

Thay (4-77) vào (4-75) và (4-76) ta được:

$$\Delta U_{a0A} = I_{a1} r + [I_{a1} - 0,5(I_{a2} + I_{a3})] r_K \quad (4-78)$$

$$\Delta U_{p0A} = I_{p1} x + [I_{p1} - 0,5(I_{p2} + I_{p3})] x_K \quad (4-79)$$

Tương tự như vậy, ta có thể tính được tổn thất điện áp của pha B và C:

$$\Delta U_{a0B} = I_{a2} r + [I_{a2} - 0,5(I_{a3} + I_{a1})] r_K \quad (4-80)$$

$$\Delta U_{p0B} = I_{p2} x + [I_{p2} - 0,5(I_{p3} + I_{p1})] x_K \quad (4-81)$$

$$\Delta U_{a0C} = I_{a3} r + [I_{a3} - 0,5(I_{a2} + I_{a1})] r_K \quad (4-82)$$

$$\Delta U_{p0C} = I_{p3} x + [I_{p3} - 0,5(I_{p2} + I_{p1})] x_K \quad (4-83)$$

Khi phụ tải phân bố đều thì tổn thất điện áp có dạng:

$$\Delta U_{0A} = \Delta U_{0B} = \Delta U_{0C} = I r \cos \varphi + I x \sin \varphi.$$

Như vậy, các mạng điện 3 pha có phụ tải không đối xứng ta có thể xác định được tổn thất điện áp khi biết dòng điện (hay công suất) phụ tải và tổng trở của mạng điện. Sau đây là tóm tắt các bước tính toán mạng điện không đối xứng có phụ tải đấu sao hay tam giác. Từ đó có thể hiệu chỉnh hay phân bố lại phụ tải để tổn thất điện áp lớn nhất nằm trong giới hạn quy định.

- Tiến hành phân phối phụ tải giữa các pha theo khả năng đồng đều nhất (có thể bố trí trên sơ đồ nhiều sợi)

- Tìm công suất truyền tải và tổng trở trên tất cả các đoạn của mạng.

- Xác định tiết diện dây dẫn. Khi tính toán cho rằng phụ tải giữa các pha là đều nhau và tính như mạng điện 3 pha đối xứng.

- Tìm tổn thất điện áp pha hay dây theo các công thức đã biết.

Nếu hao tổn điện áp các pha chênh lệch nhau quá nhiều thì phải phân bố lại phụ tải và tính toán lại.

2. Hao tổn điện áp trong một số trường hợp đặc biệt của phụ tải đấu sao

+ Mạng 3 pha bên d'ây

Trong mạng điện 3 pha 4 dây cung cấp cho các phụ tải chiếu sáng, sinh hoạt, có $\cos\varphi \approx 1$ hoặc những mạng cáp ($r \gg x$) ta không cần xét đến thành phần điện áp rơi trên điện trở phản kháng ($\Delta U_p = I_p x \approx 0$) thì tổn thất điện áp pha có dạng:

$$\Delta U_{0A} = I_1 r + [I_1 - 0,5(I_2 + I_3)] r_K \quad (4-84)$$

$$\Delta U_{0B} = I_2 r + [I_2 - 0,5(I_1 + I_3)] r_K \quad (4-85)$$

$$\Delta U_{0C} = I_3 r + [I_3 - 0,5(I_1 + I_2)] r_K \quad (4-86)$$

$$\text{Khi } I_1 = I_2 = I_3 \text{ thì } \Delta U_{0A} = \Delta U_{0B} = \Delta U_{0C} = I r$$

- Nếu đường dây có một số phụ tải thì tổn thất điện áp trên các pha bằng tổng các tổn thất điện áp trên các đoạn riêng rẽ:

$$\Delta U_{0A} = \sum I_1 r + \sum [I_1 - 0,5(I_2 + I_3)] r_K \quad (4-87)$$

$$\Delta U_{0B} = \sum I_2 r + \sum [I_2 - 0,5(I_3 + I_1)] r_K \quad (4-88)$$

$$\Delta U_{0C} = \sum I_3 r + \sum [I_3 - 0,5(I_1 + I_2)] r_K \quad (4-89)$$

trong đó:

I_1, I_2, I_3 - là dòng điện trong pha A, B, C của đoạn đường dây thứ i ;

r, r_K - là điện trở tác dụng của dây pha và dây trung tính của đoạn thứ i .

- Nếu dây dẫn bằng kim loại màu, thay thế điện trở bằng biểu thức phụ thuộc vào tiết diện ($r = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{F}$; $r_K = \frac{1}{\gamma} \frac{l_k}{F_K}$) vào các công thức trên, biểu thức tổn thất điện áp sẽ là:

$$\Delta U_{0A} = \frac{\sum I_1 l}{\gamma F} + \frac{\sum [I_1 - 0,5(I_2 + I_3)] l_K}{\gamma F_K} \quad (4-90)$$

$$\Delta U_{0B} = \frac{\sum I_2 l}{\gamma F} + \frac{\sum [I_2 - 0,5(I_2 + I_3)] l_K}{\gamma F_K} \quad (4-91)$$

$$\Delta U_{0C} = \frac{\sum I_3 l}{\gamma F} + \frac{\sum [I_3 - 0,5(I_2 + I_3)] l_K}{\gamma F_K} \quad (4-92)$$

ở đây: l, l_K - là chiều dài các đoạn dây pha và dây trung tính.

- Khi phụ tải cho bằng công suất, tính với điện áp pha định mức ($U_{\phi dm}$), tổn thất điện áp có dạng:

$$\Delta U_{0A} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i}}{\gamma U_{\phi dm}} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_K} \right) - \frac{1}{2\gamma F_K U_{\phi dm}} \left(\sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i} + \sum_{i=1}^n p_{3i} L_{3i} \right) \quad (4-93)$$

$$\Delta U_{0B} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i}}{\gamma U_{\phi dm}} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_K} \right) - \frac{1}{2\gamma F_K U_{\phi dm}} \left(\sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i} + \sum_{i=1}^n p_{3i} L_{3i} \right) \quad (4-94)$$

$$\Delta U_{0C} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{3i} L_{3i}}{\gamma U_{\phi dm}} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_K} \right) - \frac{1}{2\gamma F_K U_{\phi dm}} \left(\sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i} + \sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i} \right) \quad (4-95)$$

trong đó:

L_{1i}, L_{2i}, L_{3i} - là khoảng cách từ nguồn đến phụ tải thứ i của pha 1, 2 và 3.

+ *M1ng @iôn 2 pha mét trung tĩnh lĩy tĩ m1ng 3 pha 4 d@y*

Giả sử dòng điện 2 pha là $I_1; I_2$, còn $I_3 = 0$, tổn thất điện áp trong các nhánh xác định theo biểu thức:

$$\Delta U_{0A} = I_1 r + (I_1 - 0,5 I_2) r_K \quad (4-96)$$

$$\Delta U_{0B} = I_2 r + (I_2 - 0,5 I_1) r_K \quad (4-97)$$

- Khi phụ tải cho bằng công suất thì:

$$\Delta U_{0A} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i}}{\gamma U_{\phi dm}} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_K} \right) - \frac{1}{2\gamma F_K U_{\phi dm}} \sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i} \quad (4-98)$$

$$\Delta U_{0B} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i}}{\gamma U_{\phi dm}} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_K} \right) - \frac{1}{2\gamma F_K U_{\phi dm}} \sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i} \quad (4-99)$$

- Khi phụ tải các pha đều nhau, tiết diện dây pha bằng dây trung tính ta có:

$$\Delta U = I r + (I - 0,5 I) r = 1,5 I r \quad (4-100)$$

+ *M1ng @iôn mét pha, mét trung tĩnh*

Giả sử chỉ có một pha A ($I_2 = I_3 = 0$) tổn thất điện áp pha A là:

$$\Delta U_{0A} = I_1 r + I_1 r_K \quad (4-101)$$

Tiết diện dây pha thường lấy bằng dây trung tính khi đó tổn thất điện áp là:

$$\Delta U_{0A} = I_1 r + I_1 r = 2I_1 r \quad (4-102)$$

- Khi đường dây có một số phụ tải làm bằng kim loại màu:

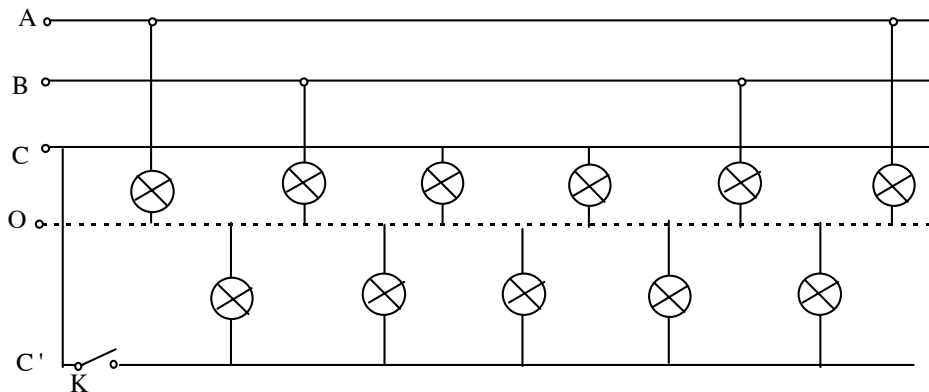
$$\Delta U_{0A} = 2 \sum_{i=1}^n I_{li} r_i = \frac{2 \sum_{i=1}^n I_{li} l_i}{\gamma F} \quad (4-103)$$

- Tổn thất điện áp biểu thị theo% so với điện áp định mức là:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{dm}} 100 \quad (4-104)$$

+ Mạng 3 pha 5 dây

Trong thành phố, thị trấn và các đường trục vùng nông thôn người ta mắc các đèn chiếu sáng bảo vệ ngoài trời vào ban đêm, ban ngày cắt đi để tiết kiệm điện. Đường dây chiếu sáng ngoài trời hay bảo vệ được lấy từ 1 trong các pha A, B, hoặc C, còn dây trung tính dùng chung với mạng 3 pha 4 dây tạo thành mạng 3 pha 5 dây như trên hình 4-13



Hình 4-13. Mạng điện 3 pha 5 dây

Các pha thấp sáng bảo vệ được đặt qua thiết bị đóng cắt K để đóng cắt điện mà không ảnh hưởng đến các phụ tải còn lại.

Khi xác định tổn thất điện áp cho mạng điện ta phải tính riêng cho thấp sáng trong nhà và ngoài trời. Mômen phụ tải của dây trung tính cũng phải kể đến phụ tải trong nhà và ngoài trời. Bố trí phụ tải giữa các pha đều nhau (pha C bao gồm cả chiếu sáng đường phố). Lựa chọn tiết diện của pha C cho phụ tải trong nhà nên chọn bằng các pha khác để tiện lắp dựng. Tiết diện dây dẫn các pha không có phụ tải chiếu sáng bảo vệ ngoài trời, xác định bình thường. Còn tiết diện dây có chiếu sáng bảo vệ chọn giống như đường dây 3 pha phụ tải đối xứng, có phụ tải bằng phụ tải chiếu sáng bảo vệ. Qua các biểu thức tính tổn thất điện

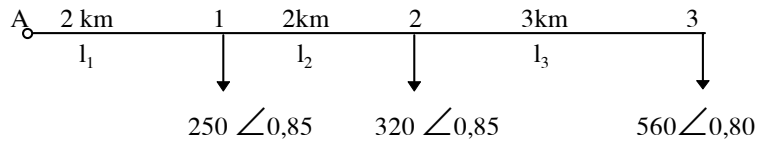
áp ta thấy, muốn tổn thất điện áp các pha bằng nhau thì phải có sự cân bằng mômen phụ tải các pha. Để phân bố mô men phụ tải tương đối đồng đều thì khi đấu tải vào mạng điện, trình tự nối là pha A, B, C sau đó pha C, B, A như hình 4-13 (theo sơ đồ hình chữ U).

§ 4-8. MỘT SỐ VÍ DỤ TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN HỎ

Ví dụ 1

Một đường dây trên không dùng dây dẫn AC có điện áp định mức $U_{dm} = 20$ kV ($D = 1,75$ m), cung cấp cho các phụ tải tính bằng kVA và hệ số $\cos\varphi$, cho trên sơ đồ hình 4-14. Tổn thất điện áp cho phép là $\Delta U_{cp} = 3\%$. Xác định tiết diện theo điều kiện chi phí kim loại cực tiểu.

Hình 4-14.
Mạng điện
không phân nhánh



Giải.

1. Tìm công suất truyền tải trên các đoạn:

$$S_3 = s_3 = s \cdot \cos\varphi + js \cdot \sin\varphi = 560 \cdot 0,8 + j560 \cdot 0,6 = 448 + j336 \text{ (kVA)}.$$

$$S_2 = s_2 + s_3 = 320 \cdot 0,85 + j320 \cdot 0,53 + 448 + j336 = 720 + j505 \text{ (kVA)}.$$

$$S_1 = s_1 + s_2 + s_3 = 250 \cdot 0,85 + j250 \cdot 0,53 + 720 + j505 = 932,5 + j636,5 = 1129 \angle 0,83 \text{ (kVA)}.$$

2. Xác định tổn thất điện áp cho phép:

$$[\Delta U]_{cp} = \frac{\Delta U_{cp} \% \cdot U_{dm} \cdot 10^3}{100} = \frac{3 \cdot 20 \cdot 10^3}{100} = 600 \text{ (V)}.$$

Sơ bộ chọn $x_0 = 0,38 \Omega/\text{km}$, tính được tổn thất điện áp phản kháng:

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_{dm}} \sum Q_i l_i = \frac{0,38}{20} (636,5 \cdot 2 + 505 \cdot 2 + 336 \cdot 3) = 62,5 \text{ (V)}$$

Tổn thất điện áp cho tác dụng cho phép là:

$$\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_p = 600 - 62,5 = 537,5 \text{ (V)}.$$

3. Tìm tiết diện dây dẫn trên các đoạn:

$$F_3 = \frac{\sqrt{P_3} \cdot 10^3}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}} (l_1 \sqrt{P_1} + l_2 \sqrt{P_2} + l_3 \sqrt{P_3}),$$

$$F_3 = \frac{448 \cdot 10^3}{317.20.537,5} (2 \cdot \sqrt{932,5} + 2 \cdot \sqrt{720,2} + 3 \cdot \sqrt{448}) = 11,0 (\text{mm}^2)$$

Để đảm bảo độ bền cơ học ta chọn dây dẫn AC-25.

$$F_2 = F_3 \sqrt{\frac{P_2}{P_3}} = 11 \cdot \sqrt{\frac{720}{448}} = 14,0 (\text{mm}^2).$$

Để đảm bảo độ bền cơ học ta chọn dây dẫn AC-25.

$$F_1 = F_3 \sqrt{\frac{P_1}{P_3}} = 11 \cdot \sqrt{\frac{932,5}{448}} = 15,8 (\text{mm}^2).$$

Để đảm bảo độ bền cơ học ta chọn dây dẫn AC-25.

4. Xác định tổn thất điện áp thực tế:

Với dây dẫn AC-25 tra bảng ta có $r_0 = 1,38 \Omega/\text{km}$; $x_0 = 0,4 \Omega/\text{km}$.

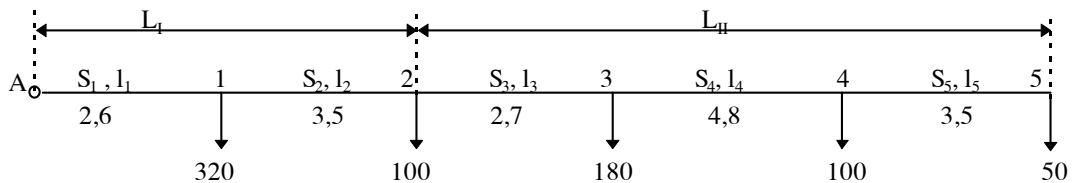
$$\Delta U_{\text{tt}} = \frac{r_0 \sum P_i l_i + x_0 \sum Q_i l_i}{U_{\text{dm}}}$$

$$= \frac{1,38(932,5 \cdot 2 + 720,2 + 448,3) + 0,4(636,5 \cdot 2 + 505,2 + 336,3)}{20} = 320 + 65,8 = 385,8 \text{ V}$$

Ta có $\Delta U_{\text{tt}} = 385,8 < \Delta U_{\text{cp}} = 600 \text{ (V)}$.

Ví dụ 2

Một đường dây điện áp 10 kV ($D = 1000 \text{ mm}$), chiều dài các đoạn cho bằng km, phụ tải là kVA có $\cos \varphi = 0,85$ ghi trên sơ đồ hình 4-15. Tổn thất điện áp cho phép $\Delta U_{\text{cp}} = 3\%$. Tìm tiết diện dây dẫn bằng thép nhôm trên các phần L_I , L_{II} .



Hình 4-15. Tìm tiết diện dây dẫn theo chi phí kim loại cực tiểu

Giải.

1. Tính công suất truyền tải và mô men công suất trên các đoạn.

$$S_5 = s_5 = 50 \text{ (kVA)}; \quad S_4 = s_4 + s_5 = 100 + 50 = 150 \text{ (kVA)};$$

$$S_3 = s_3 + S_4 = 180 + 150 = 330 \text{ (kVA)}.$$

$$S_2 = s_2 + S_3 = 100 + 330 = 430 \text{ (kVA)}; S_1 = s_1 + S_2 = 320 + 430 = 750 \text{ (kVA)}.$$

Mômen công suất trên các đoạn L_I và L_{II} là:

$$(\sum S l)_I = S_1 l_1 + S_2 l_2 = 750 \cdot 2,6 + 430 \cdot 3,5 = 3455 \text{ (kVAkm)}$$

$$(\sum S l)_{II} = S_3 l_3 + S_4 l_4 + S_5 l_5 = 330 \cdot 2,7 + 150 \cdot 4,8 + 50 \cdot 3,5 = 1786 \text{ (kVAkm)}.$$

$$\sum S l = (\sum S l)_I + (\sum S l)_{II} = 3455 + 1786 = 5241 \text{ (kVAkm)}.$$

2. Xác định tổn thất điện áp cho phép trên các đoạn L_I và L_{II} .

Sơ bộ chọn giá trị trung bình $x_0 = 0,35 \Omega/\text{km}$. Tổn thất điện áp phản kháng là:

$$\Delta U_p = \frac{x_0 \cdot \sin \varphi}{U_{dm}} [(\sum S l)_I + \sum S l]_{II} = \frac{0,35 \cdot 0,53}{10} \cdot 5241 = 97 \text{ (V)}$$

$$\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_p = 300 - 97 = 203 \text{ (V)}.$$

trong đó $\Delta U_{cp} = 3\% = 300 \text{ (V)}$.

Để phân chia tổn thất điện áp cho phép giữa đoạn L_I và L_{II} ta giải hệ phương trình:

$$\begin{cases} \Delta U_{acpI} + \Delta U_{acpII} = \Delta U_{acp} = 203 \text{ (V)} \\ \frac{\Delta U_{acpI}}{\Delta U_{acpII}} = \frac{\sqrt{(\sum S l)_I \cdot L_I}}{\sqrt{(\sum S l)_{II} \cdot L_{II}}} = \frac{\sqrt{3455 \cdot 6,1}}{\sqrt{1786 \cdot 11}} = \frac{145,1}{140,1} = 1,035 \end{cases}$$

Giải ra: $\Delta U_{acpI} = 103,3 \text{ V}$; $\Delta U_{acpII} = 99,7 \text{ V}$.

3. Xác định tiết diện dây dẫn trên đoạn L_I và L_{II} :

$$F_I = \frac{\cos \varphi (\sum S l)_I}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acpI}} = \frac{0,85 \cdot 3455 \cdot 10^3}{31,7 \cdot 10 \cdot 103,3} = 89,6 \text{ (mm}^2\text{)}.$$

Chọn tiết diện quy chuẩn AC-95.

$$F_{II} = \frac{\cos \varphi (\sum S l)_{II}}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acpII}} = \frac{0,85 \cdot 1786 \cdot 10^3}{31,7 \cdot 10 \cdot 99,7} = 48 \text{ (mm}^2\text{)}.$$

Chọn tiết diện quy chuẩn AC-50.

4. Xác định tổn thất điện áp thực tế:

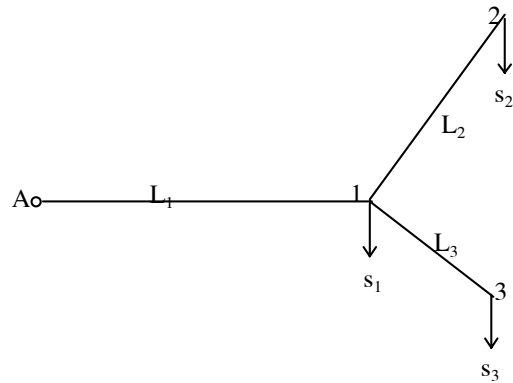
$$\Delta U_{tt} = \frac{r_{01} \cos \varphi (\sum Sl)_I + x_{01} \sin \varphi (\sum Sl)_I}{U_{dm}} + \frac{r_{02} \cos \varphi (\sum Sl)_{II} + x_{02} \sin \varphi (\sum Sl)_{II}}{U_{dm}}$$

$$= 97,5 + 95,7 = 193,2(V)$$

Ta có $\Delta U_{tt} < \Delta U_{cp}$.

Ví dụ 3

Một mạng điện phân nhánh gồm có đoạn chung $L_1 = 10$ km và 2 đoạn sau $L_2 = 5$ km, $L_3 = 3$ km (hình 4-16). Phụ tải $s_1 = 144 + j108$ (kVA); $s_2 = 448 + j336$ (kVA); $s_3 = 256 + j192$ (kVA). Điện áp của mạng là 10 kV có $D_{tb} = 1000$ mm. Tổn thất điện áp cho phép $\Delta U_{cp} = 5\%$ (500 V). Cho biết dây dẫn bằng thép nhôm AC. Xác định tiết diện dây dẫn theo phương pháp điện trở giả tưởng.



Hình 4-16.

Tính mạng điện phân nhánh

Giải.

1. Xác định công suất truyền tải và mômen công suất trên các đoạn.

$$S_2 = s_2 = 144 + j108 \text{ (kVA);}$$

$$S_3 = s_3 = 256 + j192 \text{ (kVA) ;}$$

$$S_1 = s_1 + s_2 + s_3 = 144 + 448 + 256 + j(108 + 336 + 192) = 848 + j636 \text{ (kVA).}$$

Mômen công suất của các đoạn là:

$$M_1 = P_1 L_1 = 848.10 = 8480 \text{ (kWkm).}$$

$$M_2 = P_2 L_2 = 144.5 = 720 \text{ (kWkm).}$$

$$M_3 = P_3 L_3 = 256.3 = 768 \text{ (kWkm).}$$

$$M_{\Sigma} = M_1 + M_2 + M_3 = 8480 + 720 + 768 = 9968 \text{ (kWkm).}$$

2. Tính tổn thất điện áp cho phép và điện trở giả tưởng.

$$\Delta U_{cp1} = \Delta U_{cp} \frac{M_1}{M_{\Sigma}} = 500 \frac{8480}{9968} = 425,3(V)$$

$$Z_{gt1} = \Delta U_{cp1} \frac{U_{dm}}{M_1} = 425,3 \frac{10}{8480} = 0,5(\Omega / km)$$

Tìm điện trở giả tưởng của một số tiết diện quy chuẩn:

$$AC-50 : Z_{050} = \frac{\gamma}{F} \cos \varphi + x_0 \sin \varphi = \frac{31,7}{50} \cdot 0,8 + 0,35 \cdot 0,6 = 0,72(\Omega / km)$$

$$AC-70 : Z_{070} = \frac{\gamma}{F} \cos \varphi + x_0 \sin \varphi = \frac{31,7}{70} \cdot 0,8 + 0,34 \cdot 0,6 = 0,56(\Omega / km)$$

$$AC-95 : Z_{095} = \frac{\gamma}{F} \cos \varphi + x_0 \sin \varphi = \frac{31,7}{95} \cdot 0,8 + 0,33 \cdot 0,6 = 0,46(\Omega / km) .$$

So sánh điện trở giả tưởng với điện trở quy chuẩn ta chọn giá trị gần nhất là: tiết diện AC-95; với điều kiện $Z_{gt} > Z_{095}$.

Tổn thất điện áp của đoạn thứ nhất:

$$\Delta U_{tt1} = \Delta U_{cp1} \frac{Z_{095}}{Z_{gt1}} = 425,3 \cdot \frac{0,46}{0,5} = 391(V).$$

$$\Delta U_{cl} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{tt1} = 500 - 391 = 109 (V).$$

3. Tìm điện trở giả tưởng và tiết diện dây dẫn của 2 đoạn sau:

$$Z_{gt2} = \Delta U_{cl1} \frac{U_{dm}}{M_2} = 109 \frac{10}{720} = 1,51(\Omega / km)$$

$$Z_{gt3} = \Delta U_{cl1} \frac{U_{dm}}{M_3} = 109 \frac{10}{768} = 1,42(\Omega / km) .$$

Tìm điện trở giả tưởng của một số tiết diện quy chuẩn:

$$AC-25 : Z_{025} = \frac{31,7}{25} \cdot 0,8 + 0,37 \cdot 0,6 = 1,34(\Omega / km) ;$$

$$AC-35 : Z_{035} = \frac{31,7}{35} \cdot 0,8 + 0,36 \cdot 0,6 = 0,89(\Omega / km)$$

So sánh điện trở giả tưởng với điện trở giả tưởng quy chuẩn ta chọn dây dẫn AC-25 có $Z_{gt} < Z_{025}$.

4. Tính tổn thất điện áp thực tế:

$$\Delta U_{tt2} = \Delta U_{cl} \frac{Z_{025}}{Z_{gt2}} = 109 \frac{1,34}{1,51} = 96(V);$$

$$\Delta U_{ttA2} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{12} = 391 + 96 = 487 (V) < \Delta U_{cp};$$

$$\Delta U_{tt3} = \Delta U_{cl} \frac{Z_{025}}{Z_{gt3}} = 109 \frac{1,34}{1,42} = 102,8(V);$$

$$\Delta U_{ttA3} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{13} = 391 + 102,8 = 493,8 (V) < \Delta U_{cp}.$$

Ví dụ 4

Cho mạng điện hỗn hợp 3 pha - 1 pha như trên hình 4-17. Tính hao tổn điện áp trong mạng điện 3 pha. Phụ tải là các máy biến áp 1 pha mắc theo hình tam giác như trên hình vẽ. Công suất và hệ số công suất của các phụ tải ghi trên sơ đồ.

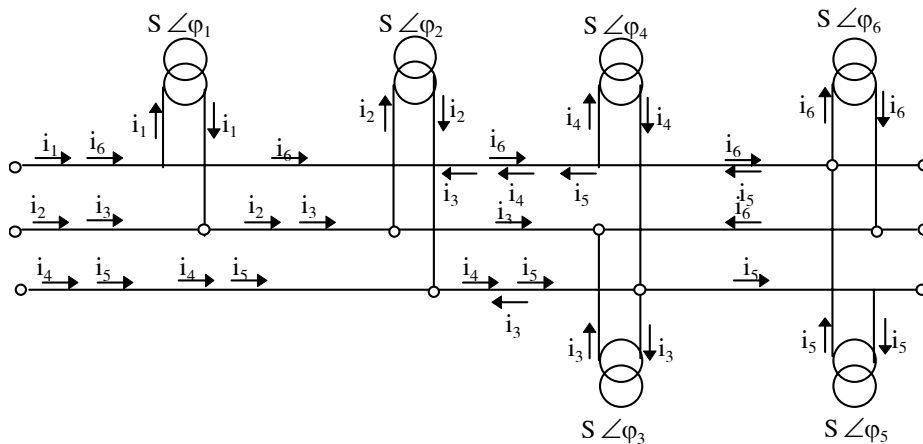
Giải.

Phân tích chiều của các dòng điện phụ tải, theo nguyên tắc dòng điện đi từ pha A qua tải về pha B, đi từ pha B qua tải về pha C, từ pha C qua tải về pha A, rồi ghi giá trị của nó theo chiều mũi tên trên sơ đồ. Tổn thất điện áp của đường dây bằng tổng tổn thất điện áp của các đoạn cộng lại:

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{aAB} + \Delta U_{pAB} = \Delta U_{ABI} + \Delta U_{ABII} + \Delta U_{ABIII} + \Delta U_{ABIV}.$$

trong đó: $\Delta U_{ABI}, \dots, \Delta U_{ABIV}$ - là hao tổn điện áp của đoạn I, II, ... IV.

Hình 4-17. Phụ tải không đối xứng nối tam giác



Tổn thất điện áp trên điện trở tác dụng là:

$$\Delta U_{aAB} = [2(i_{a1} + i_{a6}) + 0,5(i_{a2} + i_{a3} + i_{a4} + i_{a5})]r_I + [(2i_{a6} + 0,5(i_{a2} + i_{a3} + i_{a4} + i_{a5}))r_{II} + [2i_{a6} + 0,5(i_{a3} + i_{a4} + i_{a5})]r_{III} + [2i_{a6} + 0,5i_{a5}]r_{IV}.$$

Tổn thất điện áp trên điện trở phản kháng là:

$$\Delta U_{pAB} = [2(i_{p1} + i_{p6}) + 0,5(i_{p2} + i_{p3} + i_{p4} + i_{p5})]x_I + [(2i_{p6} + 0,5(i_{p2} + i_{p3} + i_{p4} + i_{p5}))x_{II} + [2i_{p6} + 0,5(i_{p3} + i_{p4} + i_{p5})]x_{III} + [2i_{p6} + 0,5i_{p5}]x_{IV}.$$

Tổn thất điện áp trên các pha BC:

$$\Delta U_{BC} = \Delta U_{aBC} + \Delta U_{pBC}$$

$$\Delta U_{aBC} = [2(i_{a2} + i_{a3}) + 0,5(i_{a1} + i_{a4} + i_{a5} + i_{a6})]r_I + [2(i_{a2} + i_{a3}) + 0,5(i_{a4} + i_{a5} + i_{a6})]r_{II} + [2i_{a3} + 0,5(i_{a3} + i_{a4} + i_{a5})]r_{III} + 0,5(i_{a5} + i_{a6})r_{IV}.$$

$$\Delta U_{pBC} = [2(i_{p2} + i_{p3}) + 0,5(i_{p1} + i_{p4} + i_{p5} + i_{p6})]x_I + [2(i_{p2} + i_{p3}) + 0,5(i_{p4} + i_{p5} + i_{p6})]x_{II} + [2i_{p3} + 0,5(i_{p3} + i_{p4} + i_{p5})]r_{III} + 0,5(i_{p5} + i_{p6})x_{IV}.$$

Tổn thất điện áp trên các pha CA:

$$\Delta U_{CA} = \Delta U_{aCA} + \Delta U_{pCA}.$$

$$\Delta U_{aCA} = [2(i_{a4} + i_{a5}) + 0,5(i_{a1} + i_{a2} + i_{a3} + i_{a6})]r_I + [2(i_{a4} + i_{a5}) + 0,5(i_{a2} + i_{a3} + i_{a6})]r_{II} + [2(i_{a4} + i_{a5}) + 0,5(i_{a3} + i_{a6})]r_{III} + (2i_{a5} + 0,5i_{a6})r_{IV}.$$

$$\Delta U_{pCA} = [2(i_{p4} + i_{p5}) + 0,5(i_{p1} + i_{p2} + i_{p3} + i_{p6})]x_I + [2(i_{p4} + i_{p5}) + 0,5(i_{p2} + i_{p3} + i_{p6})]x_{II} + [2(i_{p4} + i_{p5}) + 0,5(i_{p3} + i_{p6})]x_{III} + (2i_{p5} + 0,5i_{p6})x_{IV}.$$

ở đây:

$r_I, r_{II}, r_{III}, r_{IV}$ - là điện trở tác dụng trên đoạn I, II, III và IV;

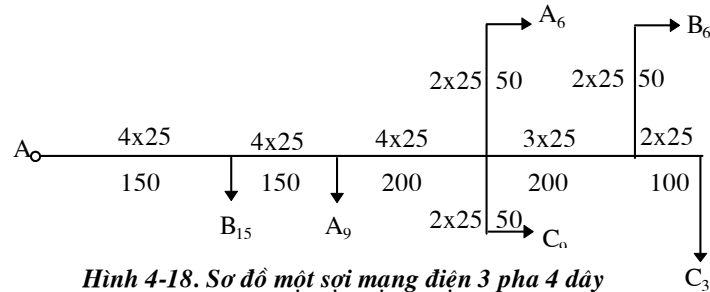
$x_I, x_{II}, x_{III}, x_{IV}$ - là điện trở phản kháng trên đoạn I, II, III và IV.

Ví dụ 5

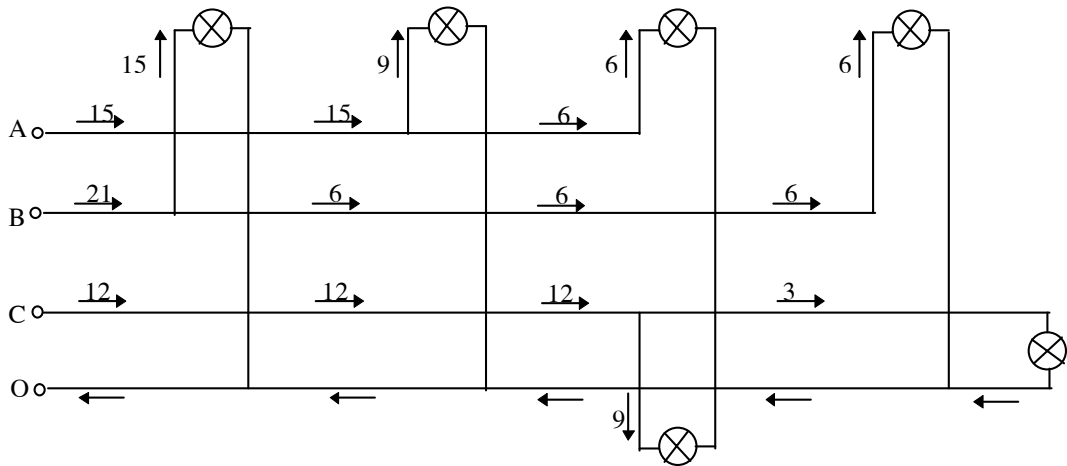
Tìm tổn thất điện áp lớn nhất trên đường dây 3 pha bằng thép nhôm. Phụ tải một pha có $\cos\varphi = 1$, dòng điện cho bằng A tiết diện là mm^2 , chiều dài đường dây cho bằng mét ghi trên sơ đồ hình 4-18. Các chữ cái chỉ pha mà phụ tải mắc vào.

Giải.

Ta vẽ sơ đồ nhiều sợi của mạng điện và ghi giá trị dòng điện truyền tải trên từng đoạn như hình 4-19. Dòng điện đi từ A, B hoặc C qua tải rồi về không.



Hình 4-18. Sơ đồ một sợi mạng điện 3 pha 4 dây



Hình 4-19. Sơ đồ nhiều sợi nối phụ tải pha trong mạng điện 3 pha 4 dây

Tổn thất điện áp giữa các pha là:

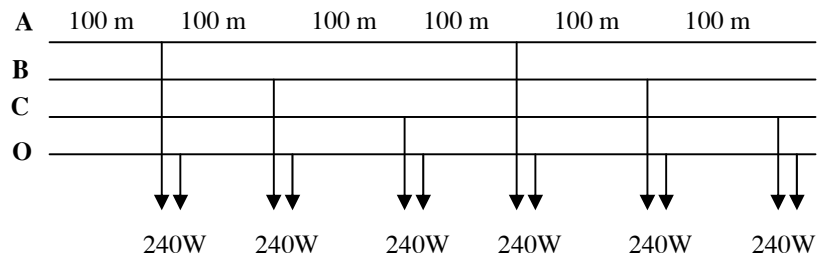
$$\begin{aligned} \Delta U_{OA} &= \frac{\sum I_1 l}{\gamma F} + \frac{\sum [(I_1 - 0,5(I_2 + I_3))] l_k}{\gamma F_K} = \frac{15 \cdot 150 + 15 \cdot 150 + 6 \cdot 200 + 6 \cdot 50}{31,7.25} + \\ &+ \frac{15 - 0,5(21 + 12) \cdot 150 + 15 - 0,5(6 + 12) \cdot 150 + 6 - 0,5(6 + 12) \cdot 200 + 6 \cdot 50}{31,7.25} = 8,0 \text{ (V) hay } 3,63 \% \\ \Delta U_{OB} &= \frac{\sum I_1 l}{\gamma F} + \frac{\sum [I_1 - 0,5(I_2 + I_3)] l_k}{\gamma F_K} = \frac{21 \cdot 150 + 6 \cdot 150 + 6 \cdot 200 + 6 \cdot 200 + 6 \cdot 50}{31,7.25} + \\ &+ \frac{21 - 0,5(15 + 12) \cdot 150 + 6 - 0,5(15 + 12) \cdot 150 + 6 - 0,5(6 + 12) \cdot 200 + (6 - 0,5 \cdot 3) \cdot 200 + 6 \cdot 50}{31,7.25} \\ &= 9,2 \text{ (V) hay } 4,1 \% \end{aligned}$$

$$\Delta U_{0C} = \frac{\sum I_1 l}{\gamma F} + \frac{\sum [I_1 - 0,5(I_2 + I_3)] l_K}{\gamma F_K} = \frac{12.150 + 12.150 + 12.200 + 9.50 + 3.200 + 3.100}{31,7.25} + \frac{12 - 0,5(21 + 15).150 + 12 - 0,5(6 + 15)150 + 12 - 0,5(6 + 6)200}{31,7.25} + \frac{(9 - 0,5.6).50 + (3 - 0,5.6)200 + 3.100}{31,7.25} = 11 \text{ (V) hay } 4,5\%.$$

Như vậy tổn thất điện áp lớn nhất tại pha C là $\Delta U_{0C} = 4,5\%$.

Ví dụ 6

Xác định tổn thất điện áp trong các pha của mạng chiếu sáng đường phố như hình 4-20. Các dụng cụ thả sáng có công suất là 240W, $\cos\phi = 1$ đầu cách đều nhau 100 m. Đường dây sử dụng dây đồng, các dây pha có tiết diện là 10 mm^2 và dây trung tính có tiết diện 6 mm^2 . Điện áp định mức của mạng là 220/127V.



Giải.

Sử dụng biểu thức tính hao tổn điện áp trong mạng hình sao theo tiết diện và điện áp pha:

$$\Delta U_{0A} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i}}{\gamma U_{\phi dm}} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_K} \right) - \frac{1}{2\gamma F_K U_{\phi dm}} \left(\sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i} + \sum_{i=1}^n p_{3i} L_{3i} \right)$$

$$\Delta U_{0B} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i}}{\gamma U_{\phi dm}} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_K} \right) - \frac{1}{2\gamma F_K U_{\phi dm}} \left(\sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i} + \sum_{i=1}^n p_{3i} L_{3i} \right)$$

$$\Delta U_{0C} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{3i} L_{3i}}{\gamma U_{\phi dm}} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_K} \right) - \frac{1}{2\gamma F_K U_{\phi dm}} \left(\sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i} + \sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i} \right)$$

Tính mô men phụ tải của các pha:

$$\sum_{i=1}^n p_{1i} L_{1i} = 240.100 + 240.400 = 120.000 \text{ Wm}$$

$$\sum_{i=1}^n p_{2i} L_{2i} = 240.200 + 240.500 = 168.000 \text{ Wm}$$

$$\sum_{i=1}^n p_{3i} L_{3i} = 240.300 + 240.600 = 216.000 \text{ Wm}$$

Thay số ta có

$$\Delta U_{0A} = \frac{120.000}{53.127} \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{6} \right) - \frac{1}{2.53.6.127} (168.000 + 216.000) = 0,89 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0B} = \frac{168.000}{53.127} \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{6} \right) - \frac{1}{2.53.6.127} (120.000 + 216.000) = 2,8 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0C} = \frac{216.000}{53.127} \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{6} \right) - \frac{1}{2.53.6.127} (120.000 + 168.000) = 5 \text{ V}$$

Vậy Hao tổn điện áp của pha C là lớn nhất, đó chính là hao tổn điện áp của mạng:

$$\Delta U_{\max} = \Delta U_{0C} = 5 \text{ V} \quad \text{và} \quad \Delta U_{\max} \% = 3,94 \%$$

CHƯƠNG 5 MẠNG ĐIỆN KÍN

§ 5-1. PHÂN BỐ CÔNG SUẤT TRONG MẠNG ĐIỆN KÍN

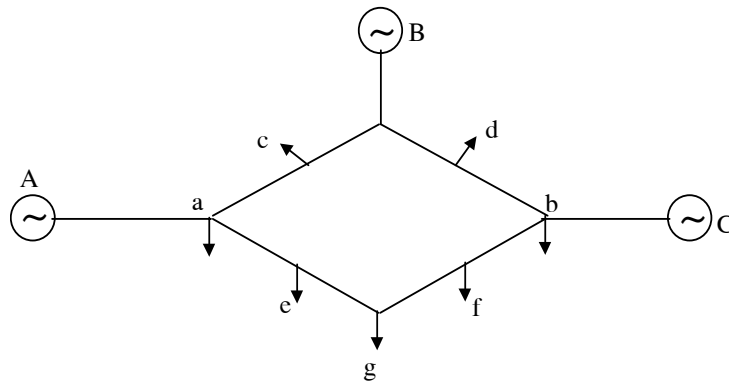
1. Khái niệm chung về mạng điện kín

Trong mạng điện hở các thụ điện được cung cấp điện năng từ một phía. Do đó khi đoạn đầu đường dây bị sự cố thì các thụ điện phía sau bị cắt điện. Để khắc phục nhược điểm này người ta dùng đường dây mà trong đó mỗi phụ tải được cung cấp ít nhất từ 2 phía, đó là mạng điện kín. Mạng điện kín là mạng điện mà các phụ tải được nhận điện từ 2 hay nhiều nguồn cung cấp.

Mạng điện kín đơn giản nhất gồm 2 đường dây làm việc song song cung cấp cho một phụ tải. Cả 2 đường dây có thể đi trên 2 hàng cột riêng hoặc trên cùng một cột. Mạng điện kín nhưng nhận điện từ một nguồn cung cấp gọi là mạng điện kín hình vòng.

Tại các điểm có số đường dây lớn hơn hay bằng 3 ($n \geq 3$) gọi là điểm nút của mạng điện. Mạng điện kín có các điểm nút gọi là mạng điện kín phức tạp (hình 5-1)

Hình 5-1.
Mạng điện kín phức tạp
A, B, C - là nguồn cung cấp;
a, b - là các điểm nút;
c, d, e, f, g... - là các phụ tải.



Việc tính toán mạng điện kín tương đối phức tạp vì công suất truyền tải trên các đoạn đường dây phụ thuộc vào điện trở, điện kháng của các đoạn đường dây và trị số của phụ tải tại các điểm nút. Do đó người ta phải có phương pháp riêng để tính toán mạng kín, trước tiên phải xác định được các trị số dòng cung cấp đi ra từ các nguồn.

Ưu điểm chính của mạng điện kín là:

- Bảo đảm cung cấp điện thường xuyên liên tục cho các phụ tải. Các thụ điện loại I thường được cung cấp bằng mạng điện kín. Mỗi hộ tiêu thụ có thể nhận điện từ 2 hay nhiều nguồn cung cấp.

- Chi phí vận hành tương đối thấp: tổn thất công suất thấp hơn mạng điện hở, tổn thất điện áp cũng nhỏ.

- Tính linh hoạt cao: mạng điện kín thích ứng tốt và kịp thời với các trạng thái làm việc khác nhau của mạng điện. Khi phụ tải thay đổi đột ngột thì điện áp đặt vào các phụ tải ít biến đổi hơn.

Nhược điểm của mạng điện kín:

- Vận hành mạng điện phức tạp, yêu cầu chặt chẽ hơn.
- Bảo vệ rơ le khi sự cố phức tạp hơn. Thường dùng bảo vệ có hướng hoặc bảo vệ khoảng cách.

- Khi sự cố đứt một nhánh đầu nguồn thì mạng điện kín trở thành mạng điện hở. Tổn thất công suất và điện áp đều có thể vượt qua giá trị cho phép.

Dưới đây trình bày phương pháp tính toán phân bố công suất trong mạng điện kín.

2. Sự phân bố công suất trong mạng điện kín

Sự phân bố công suất truyền tải trong mạng điện kín không những phụ thuộc vào tiết diện, chiều dài của các đoạn mà còn phụ thuộc vào độ lớn và vị trí của các phụ tải trong mạng điện. Do đó để tính toán mạng điện kín người ta phải dùng phương pháp gần đúng liên tiếp. Phương pháp này cho kết quả đủ chính xác với yêu cầu thực tế. Muốn tìm sự phân bố công suất trong mạng điện kín trước hết giả thiết điện áp ở mọi điểm lấy bằng U_{dm} và bỏ qua tổn thất công suất trên các đoạn đường dây. Sau khi biết được công suất truyền tải trên các đoạn thì chuyển sang bước tiếp theo là tính chính xác hơn công suất và điện áp tại các nút của mạng điện.

Để đơn giản sơ đồ tính toán người ta đưa vào khái niệm phụ tải tính toán và công suất tính toán của nhà máy điện.

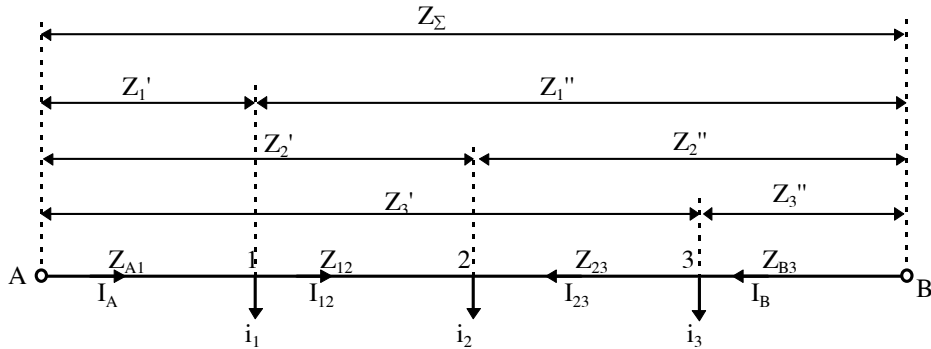
Phụ tải tính toán là những đại lượng quy ước bao gồm phụ tải thực, tổn thất công suất trong máy biến áp và công suất phản kháng do các nửa đường dây đóng vào trạm điện sinh ra.

Công suất tính toán của nhà máy điện là công suất thực tế mà nguồn phát có thể cung cấp cho mạng điện. Nó bằng công suất phát ra của máy phát, trừ đi công suất tự dùng, tổn hao công suất trong máy tăng áp cộng với công suất phản kháng do các nửa đường dây đấu vào trạm tăng áp sinh ra.

Khi đó sơ đồ thay thế của mạng điện kín rất đơn giản. Trong sơ đồ tính toán chỉ cần quan tâm đến điện trở r và điện kháng x của từng đoạn đường dây.

Sau đây sẽ tìm phân bố công suất trên mạng điện kín đơn giản nhất có 2 đầu cung cấp điện là A và B với điện áp 2 nguồn khác nhau (hình 5-2).

Giả sử chiều quy ước của các dòng điện như hình vẽ. Ta nhận thấy phụ tải i_2 nhận năng lượng từ 2 phía. Viết biểu thức điện áp rơi cho phụ tải này đối với cả 2 nguồn A và B:



Hình 5-2. Mạng điện kín hai nguồn cung cấp

I_A, I_{12}, I_{23}, I_B - là các dòng điện truyền tải;
 i_1, i_2, i_3 - là các dòng điện phụ tải;
 Z_1, Z_2, Z_3 - là tổng trở từ phụ tải 1, 2, 3 đến nguồn A;
 Z_1', Z_2', Z_3' - là tổng trở từ phụ tải 1, 2, 3 đến nguồn B;
 Z_Σ - là tổng trở của đường dây.

Phương trình cân bằng điện áp là:

$$U_A - U_2 = \sqrt{3}(I_A Z_{A1} + I_{12} Z_{12}) \quad (5-1)$$

$$U_B - U_2 = \sqrt{3}(I_B Z_{B3} + I_{23} Z_{23}) \quad (5-2)$$

Giả thiết $U_A > U_B$, lấy hiệu số của (5-1) và (5-2) ta được:

$$U_A - U_B = \sqrt{3}(I_A Z_{A1} + I_{12} Z_{12} - I_B Z_{B3} - I_{23} Z_{23}) \quad (5-3)$$

Theo định luật Kirchoff 1, với mạng điện cho trên hình (5-2) ta có:

$$\begin{aligned} I_{12} &= I_A - i_1; \quad I_B = i_3 - I_{23}; \quad I_{23} = I_A - i_1 - i_2; \\ I_B &= i_1 + i_2 + i_3 - I_A; \quad i_{23} = i_1 - I_{12} = i_2 + i_1 - I_A. \end{aligned} \quad (5-4)$$

Thay (5-4) vào (5-3) được:

$$\begin{aligned} U_A - U_B &= \sqrt{3}(I_A Z_{A1} + I_A Z_{12} - i_1 Z_{12} - i_1 Z_{B3} - i_2 Z_{3B} - i_3 Z_{B3} + I_A Z_{B3} - I_2 Z_{B3} - i_1 Z_{B3} - I_A Z_{B3}) \\ &= \sqrt{3}[I_A (Z_{A1} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{B3}) - i_1 (Z_{12} + Z_{23} + Z_{B3}) - i_2 (Z_{23} + Z_{B3}) - i_3 Z_{B3}]. \end{aligned}$$

Đặt $Z_\Sigma = Z_{A1} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{B3}$; $Z_1'' = Z_{12} + Z_{23} + Z_{B3}$; $Z_2'' = Z_{23} + Z_{B3}$; $Z_3'' = Z_{B3}$; Rút ra:

$$I_A = \frac{i_1 Z_1'' + i_2 Z_2'' + i_3 Z_3''}{Z_\Sigma} + \frac{U_A - U_B}{\sqrt{3} Z_\Sigma} \quad (5-5)$$

Trường hợp tổng quát, nếu mạng điện kín hai nguồn cung cấp có n phụ tải: i_1, i_2, \dots, i_n , thì:

$$I_A = \frac{\sum_{i=1}^n i_i Z_i''}{Z_\Sigma} + \frac{U_A - U_B}{\sqrt{3}Z_\Sigma} \quad (5-6)$$

Tương tự như vậy, ta có thể xác định được dòng điện đi từ nguồn B:

$$I_B = \frac{\sum_{i=1}^n i_i Z_i'}{Z_\Sigma} + \frac{U_A - U_B}{\sqrt{3}Z_\Sigma} \quad (5-7)$$

Từ (5-6) và (5-7) ta thấy rằng dòng điện đi từ nguồn A hoặc nguồn B có hai thành phần:

- Thành phần dòng điện phụ tải là chủ yếu, (I_A, I_B), phụ thuộc vào các phụ tải và tổng trở của mạng:

$$I_{Apt} = \frac{\sum_{i=1}^n i_i Z_i''}{Z_\Sigma}; \quad I_{Bpt} = \frac{\sum_{i=1}^n i_i Z_i'}{Z_\Sigma} \quad (5-8)$$

- Thành phần dòng điện cân bằng (I_{AB} hoặc I_{BA}) phụ thuộc vào sự chênh lệch điện áp giữa 2 nguồn cung cấp và tổng trở của mạng điện mà không phụ thuộc vào phụ tải:

$$I_{AB} = \frac{U_A - U_B}{\sqrt{3}Z_\Sigma} = -I_{BA}; \quad \text{Công suất } S_{AB} = \sqrt{3}UI_{AB} \quad (5-9)$$

Ta cũng có thể tìm được dòng điện I_B và các dòng điện truyền tải còn lại khi biết I_A :

$$I_B = I_A - \sum i_i \quad (5-10)$$

Khi phụ tải cho bằng công suất s_1, s_2, \dots, s_n , nhân cả hai vế của (5-6) với $\sqrt{3}U_{dm}$ thì công suất truyền tải là:

$$S_A = \frac{\sum_{i=1}^n s_i Z_i''}{Z_\Sigma} + \frac{(U_A - U_B)U_{dm}}{\sqrt{3}Z_\Sigma} \quad (5-11)$$

Nếu điện áp hai nguồn bằng nhau về trị số và trùng pha ($\dot{U}_A = \dot{U}_B$) thì $I_{AB} = 0$, ta có:

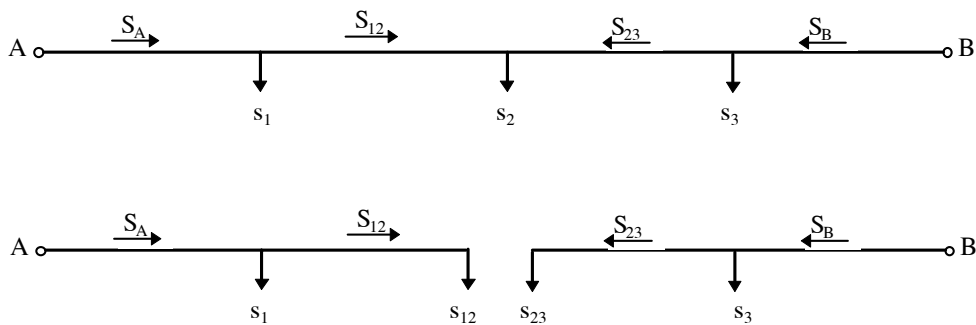
$$I_A = \frac{\sum_{i=1}^n i_i Z_i''}{Z_\Sigma}; \quad S_A = \frac{\sum_{i=1}^n s_i Z_i''}{Z_\Sigma} \quad (5-12)$$

Nhận xét: trong mạng điện kín hai nguồn cung cấp, công suất (hay dòng điện) đi ra từ một nguồn tỷ lệ với tổng các tích công suất phụ tải với tổng trở phụ tải tương ứng đến nguồn kia.

Chiều của công suất (hay dòng điện) là đúng với giả thiết nếu tính được các giá trị công suất (hay dòng điện) là dương. Nếu giá trị công suất (hay dòng điện) có dấu âm thì chiều ngược lại với chiều giả thiết ban đầu.

Sau khi xác định được chiều và trị số của công suất, ta thấy có một điểm mà tại đó phụ tải nhận công suất từ hai phía gọi là điểm phân công suất (hay điểm phân dòng điện). Vì phụ tải gồm có công suất tác dụng và phản kháng nên điểm phân công suất có thể là duy nhất một điểm, cũng có thể riêng rẽ hai điểm. Nếu có hai điểm phân công suất, điểm phân công suất tác dụng (ký hiệu là \blacktriangledown) và điểm phân công suất phản kháng (ký hiệu là ∇). Trường hợp chỉ có một điểm phân công suất thì trên sơ đồ chỉ có một ký hiệu duy nhất tại điểm phân công suất chung đó, người ta có ký hiệu giống như điểm phân công suất tác dụng (ký hiệu là \blacktriangledown).

Căn cứ vào dòng điện, công suất và điện áp các nguồn, người ta tiến hành xác định các thông số chế độ của mạng kín. để thuận tiện cho việc tính toán, khi biết điểm phân công suất hay dòng điện, ta có thể tách mạng điện kín thành hai mạng điện hở tại điểm phân công suất (hình 5-3)



Hình 5-3. Tách mạng điện kín thành 2 mạng điện hở tại điểm phân công suất

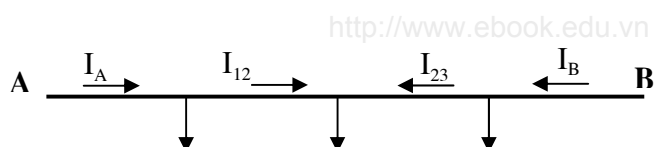
Công suất ở phụ tải cuối cùng của mạng vừa tách ra lấy bằng công suất truyền tải trên các đoạn đường dây đó. Ví dụ: $s_{12} = S_{12}$, $s_{23} = S_{23}$. Đồng thời tổng công suất phụ tải tại điểm cuối của hai mạng hở phải bằng công suất phụ tải tại điểm phân công suất của mạng điện kín, ví dụ: $s_{12} + s_{23} = s_2$.

Trường hợp mạng điện kín có hai điểm phân công suất, ta có thể tách mạng kín tại điểm phân công suất tác dụng.

Trong mạng điện có điện áp cao ($U_{dm} \geq 220$ kV) khi tính toán, người ta phải tính với điện áp các điểm nút và công suất truyền tải có kể đến hao tổn công suất trên các đoạn đường dây.

Sau khi tách mạng điện kín thành 2 mạng điện hở, quá trình tính toán mỗi mạng được tiến hành giống như mạng điện hở.

Trường hợp mạng điện kín có điện áp 2 nguồn khác nhau, người ta có thể xác định sự phân bố dòng hay công suất bằng cách xếp chồng hai chế độ: dòng điện phụ tải và dòng điện cân



bằng trên từng đoạn. Chú ý là, dòng điện cân bằng có chiều đi từ nguồn có điện áp cao sang nguồn có điện áp thấp hơn.

Xét mạng điện như hình vẽ (hình 5-3b)

Chế độ 1: Khi điện áp $U_A = U_B$ và đường dây có phụ tải bằng phụ tải thực của mạng.

Chế độ 2: Khi điện áp $U_A \neq U_B$ không có phụ tải, chỉ có dòng cân bằng đi qua từ nguồn có điện áp cao đến nguồn điện áp thấp hơn, dòng này không phụ thuộc vào tải của đường dây.

Sau khi tìm được các dòng điện truyền tải trong hai chế độ, theo chiều của dòng điện ta tiến hành xếp chồng dòng điện trên từng đoạn để tìm được sự phân bố dòng điện trong mạng thực ban đầu.

Ví dụ: theo chiều dòng điện như trên hình (5-2) thì:

$$I_A = I_{Apt} + I_{AB}; I_{12} = I_{12pt} + I_{AB}; I_{23} = I_{23pt} - I_{AB}; I_B = I_{Bpt} - I_{AB}.$$

§ 5-2. CÁC TRƯỜNG HỢP ĐẶC BIỆT CỦA MẠNG ĐIỆN KÍN

Ta xét các trường hợp đặc biệt của mạng điện kín hai nguồn cung cấp có điện áp bằng nhau. Nếu điện áp hai nguồn khác nhau thì sự phân bố công suất (hay dòng điện) được xếp chồng thêm công suất cân bằng.

1. Đường dây chỉ có phụ tải tác dụng

Khi thành phần phụ tải phản kháng bằng không ($i_p = 0$) còn thành phần phụ tải tác dụng $i_a = i$ thì phân bố dòng điện là:

$$I_A = I_{aA} + jI_{pA} = \frac{\sum i_i (r_i'' + jx_i'')}{r_\Sigma + jx_\Sigma} = \frac{(r_\Sigma - jx_\Sigma) \sum i_i (r_i'' + jx_i'')}{r_\Sigma^2 + x_\Sigma^2} \quad (5-13)$$

trong đó:

r'' , x'' - là điện trở tác dụng và phản kháng từ phụ tải thứ i đến nguồn B;

r_Σ , x_Σ - là tổng điện trở tác dụng và phản kháng của cả đường dây .

Ta thấy rằng, mặc dù đường dây chỉ có phụ tải tác dụng nhưng dòng điện truyền tải trên các đoạn vẫn có hai thành phần tác dụng và phản kháng vì sự có mặt của điện trở cảm kháng trên đường dây.

Trường hợp này được áp dụng cho các mạng truyền tải hoặc mạng kín điện áp thấp khi phụ tải có hệ số công suất cao ($\cos\varphi \approx 1$).

2. Mạng điện kín chỉ kể đến điện trở tác dụng ($x = 0$)

Những mạng điện có tiết diện nhỏ, điện áp thấp hoặc mạng cáp có điện áp dưới 10 kV, khi đó $r \gg x$, thì coi $x = 0$, ta có:

$$I_A = I_{aA} + jI_{pA} = \frac{\sum (i_{ai} + j i_{pi}) r_i''}{r_\Sigma} = \frac{\sum i_{ai} r_i''}{r_\Sigma} + \frac{j \sum i_{pi} r_i''}{r_\Sigma} \quad (5-14)$$

Khi phụ tải cho bằng công suất:

$$S_A = P_A + jQ_A = \frac{\sum p_i r_i''}{r_\Sigma} + \frac{j \sum q_i r_i''}{r_\Sigma} \quad (5-15)$$

Sự phân bố công suất tác dụng và phản kháng không phụ thuộc vào nhau mà chỉ phụ thuộc vào tổng trở của mạng điện và có thể tính theo 2 phần riêng rẽ. Trước tiên xác định sự phân bố công suất tác dụng sau đó xác định tiếp công suất phản kháng.

3. Mạng điện đồng nhất

Mạng điện đồng nhất là mạng điện có tỷ số giữa điện trở phản kháng và điện trở tác dụng trên các đoạn giống nhau ($x_0 / r_0 = \text{const}$), ta có:

$$I_A = \frac{\sum i_i Z_i''}{Z_\Sigma} = \frac{\sum i_i (r_i'' + j x_i'')}{r_\Sigma + j x_\Sigma} = \frac{\sum i_i (1 + \frac{x_i''}{r_i''}) r_i''}{(1 + \frac{x_\Sigma}{r_\Sigma}) r_\Sigma}$$

$$I_A = \frac{\sum i_{ai} r_i''}{r_\Sigma} + j \frac{\sum i_{pi} r_i''}{r_\Sigma} \quad (5-16)$$

Viết dưới dạng công suất:

$$S_A = P_A + jQ_A = \frac{\sum (p_i + j q_i) r_i''}{r_\Sigma} = \frac{\sum p_i r_i''}{r_\Sigma} + \frac{j \sum q_i r_i''}{r_\Sigma} \quad (5-17)$$

Đối với mạng điện đồng nhất sự phân bố công suất tác dụng và phản kháng không phụ thuộc vào nhau và chỉ phụ thuộc vào tổng trở của mạng điện.

Chú ý là mạng điện đồng nhất không nhất thiết phải có tiết diện như nhau ở các đoạn. Nếu tiết diện khác nhau nhưng bố trí sao cho $(r_0 / x_0) = \text{const}$ thì vẫn có mạng điện đồng nhất. Ngược lại một mạng điện có tiết diện dây dẫn như nhau trên các đoạn chưa thể coi là mạng điện đồng nhất vì còn phụ thuộc vào điện trở phản kháng.

Nếu mạng điện đồng nhất mà tất cả các đoạn cùng tiết diện ($r_0 = \text{const}$) thì phân bố công suất chỉ phụ thuộc vào chiều dài đường dây:

$$I_A = \frac{\sum i_i (r_0 + jx_0) l_i''}{(r_0 + jx_0) l_\Sigma} = \frac{\sum i_{ai} l_i''}{l_\Sigma} + j \frac{\sum i_{pi} l_i''}{l_\Sigma} \quad (5-18)$$

Khi phụ tải cho bằng công suất:

$$S_A = P_A + jQ_A = \frac{\sum p_i l_i''}{l_\Sigma} + j \frac{\sum q_i l_i''}{l_\Sigma} \quad (5-19)$$

trong đó:

l_i'' - là chiều dài từ phụ tải thứ i đến nguồn B;

l_Σ - là chiều dài toàn bộ đường dây;

i_{ai}, i_{pi} - là thành phần dòng điện tác dụng và phản kháng trên đoạn thứ i ;

r_0, x_0 - là điện trở tác dụng và phản kháng trên 1 km đường dây;

p_i, q_i - là thành phần công suất tác dụng và phản kháng của phụ tải thứ i .

Khi toàn bộ phụ tải của đường dây đồng nhất có cùng hệ số công suất thì ta chỉ cần xác định sự phân bố công suất tác dụng hoặc công suất toàn phần là đủ. Vì biết $\cos\varphi$ và công suất toàn phần ta có thể suy ra công suất tác dụng và phản kháng. Với những mạng điện có tiết diện không đều trong một phạm vi nhất định ta cũng có thể biến thành mạng điện đồng nhất bằng phương pháp nhân tạo.

§ 5-3. TỔN THẤT ĐIỆN ÁP VÀ TIẾT DIỆN DÂY DẪN TRONG MẠNG ĐIỆN KÍN

1. Tổn thất điện áp trong mạng điện kín

Đối với mạng điện kín tổn thất điện áp cần được xác định cả khi vận hành bình thường và khi sự cố.

Tổn thất điện áp trên một đoạn nào đó của mạng điện kín được xác định theo công thức:

$$\Delta U = \frac{Pr + Qx}{U_{dm}}$$

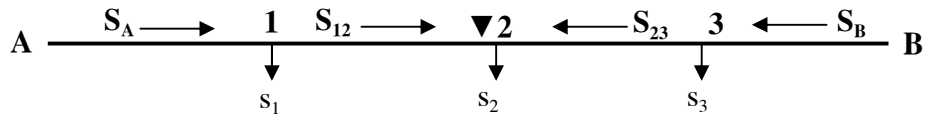
Khi tính toán gần đúng, bỏ qua tổn thất công suất trên đường dây thì điện áp có thể lấy bằng U_{dm} . Nếu cần phải tính toán chính xác hoặc khi tính cho mạng truyền tải thì công suất được tính tương ứng với điện áp ở các điểm nút.

Giả sử có một mạng điện kín cung cấp cho các phụ tải như hình 5-4. Điểm 2 là điểm phân công suất, tại đó có điện áp thấp nhất, hao tổn điện áp trong mạng chính là tổng hao tổn từ nguồn đến điểm có điện áp thấp nhất.

Nếu $U_A = U_B$ thì tổn thất điện áp lớn nhất có giá trị là:

$$\Delta U_{\max} = \Delta U_{A2} = \Delta U_{B2}$$

$$\Delta U_{\max} = \frac{P_A r_{A1} + Q_A x_{A1} + P_{12} r_{12} + Q_{12} x_{12}}{U_{dm}} = \frac{P_B r_{B3} + Q_B x_{B3} + P_{32} r_{32} + Q_{32} x_{32}}{U_{dm}}$$

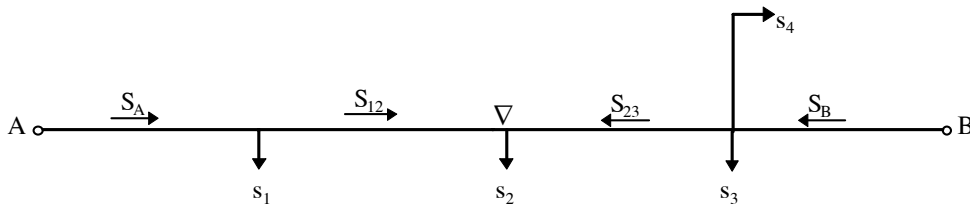


Hình 5-4. Mạng điện kín để tính tổn thất điện áp

Nếu $U_A \neq U_B$ thì tổn thất điện áp từ A đến điểm 2 và từ B đến điểm 2 sẽ không bằng nhau. Hiệu số giữa 2 giá trị đó đúng bằng sự chênh lệch điện áp giữa 2 nguồn A và B.

Trường hợp điểm phân công suất tác dụng khác phản kháng thì phải tính cả 2 thành phần tổn thất điện áp đến 2 điểm đó rồi so sánh với nhau mới có thể xác định được điểm nào có điện áp thấp nhất.

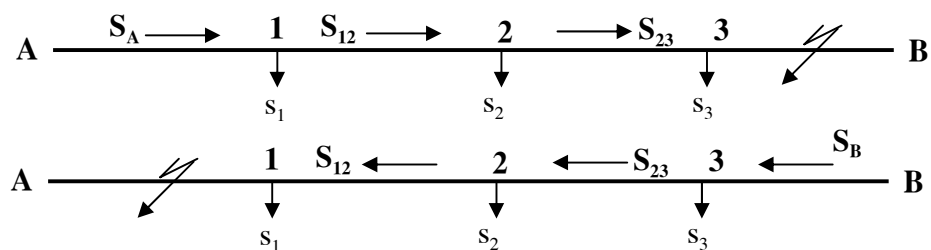
Nếu mạng điện kín có đường dây phân nhánh như hình 5-5, ta chưa thể kết luận được ngay điểm phân công suất (điểm 2) là điểm có điện áp thấp nhất mà phải tính toán được tổn thất điện áp từ nguồn A tới điểm 2 và từ nguồn B đến điểm 4 rồi so sánh 2 giá trị đó tìm ra ΔU_{\max} .



Hình 5-5. Mạng điện kín có đường dây phân nhánh

Trong mạng điện kín ngoài việc tính ΔU_{\max} lúc vận hành bình thường còn phải tính hao tổn điện áp khi sự cố $\Delta U_{\max SC}$. Sự cố thường xét là ngắn mạch hoặc đứt dây, khi đó các thiết bị bảo vệ sẽ cắt đoạn dây sự cố ra khỏi lưới, mạng điện kín trở thành mạng hở và phụ tải chỉ còn một nguồn cung cấp. Khi tính toán, người ta gây sự cố cho các đoạn đường dây cung cấp từ một nguồn (ví dụ đoạn B-3 trên hình 5-4), toàn bộ các phụ tải của mạng được cấp từ nguồn còn lại (nguồn A), khi đó hao tổn điện áp của mạng là ΔU_{A3} . Để tính hao tổn điện áp khi sự cố, ta phải gây sự cố cho mạng trong cả hai trường hợp: khi mất nguồn A và mất nguồn B, tìm hao tổn ΔU_{A3} và ΔU_{B1} sau đó so sánh chọn giá trị lớn nhất và lấy đó là hao tổn điện áp $\Delta U_{\max SC}$.

$$\Delta U_{\max SC} = \max (\Delta U_{A3}, \Delta U_{B1})$$



Khi sự cố, cần kiểm tra cho các đoạn đầu đường dây mạng hở (A-1 và B-3 là đoạn có dòng truyền tải lớn nhất) xem dòng truyền tải có vượt quá dòng cho phép theo điều kiện đối nóng hay không.

2. Xác định tiết diện dây dẫn trong mạng điện kín

Việc lựa chọn tiết diện dây dẫn trong mạng điện kín không thể tính trực tiếp giống như mạng hở. Ta gặp khó khăn do khi chưa biết tiết diện dây dẫn, chưa biết tổng trở thì chưa tìm được phân bố công suất; ngược lại khi chưa rõ phân bố công suất thì cũng không thể tính được tiết diện dây dẫn. Vì vậy, muốn tìm tiết diện dây dẫn ta phải dùng phương pháp gần đúng để xác định phân bố công suất, sau đó mới tính tiết diện. Khi chọn tiết diện dây dẫn ta tính cho điều kiện làm việc bình thường của mạng, sau đó kiểm tra trong trường hợp sự cố nghiêm trọng nhất.

Tiết diện dây dẫn có thể chọn theo phương pháp mật độ dòng điện kinh tế đối với mạng điện khu vực và chọn theo tổn thất điện áp cho phép hoặc theo đốt nóng đối với mạng điện địa phương tùy thuộc vào đặc điểm của mạng.

a. Đối với mạng điện khu vực

Sự phân bố công suất trong mạng điện khu vực hoàn toàn có thể dựa vào chiều dài đường dây để tính toán. Nguyên nhân là vì trong mạng điện khu vực công suất truyền tải rất lớn, tiết diện dây dẫn lớn do đó điện trở thường nhỏ. Điện kháng của đường dây cũng thay đổi không nhiều và hệ số cosφ cao nên ta có thể coi là mạng điện đồng nhất cùng tiết diện.

Phân bố công suất trong mạng điện phụ thuộc vào chiều dài, có dạng (5-19):

$$S_A = P_A + jQ_A = \frac{\sum p_i l_i''}{l_\Sigma} + j \frac{\sum q_i l_i''}{l_\Sigma}$$

Từ S_A có thể tìm được công suất truyền tải trên tất cả các đoạn còn lại.

Tiết diện dây dẫn của mạng được tính theo mật độ dòng điện kinh tế (theo tiết diện không đổi hoặc thay đổi). Sau khi chọn xong dây dẫn, kiểm tra dòng điện sự cố trên các đoạn (thường chỉ cần kiểm tra đoạn đầu nguồn) xem có đảm bảo điều kiện phát nóng cho phép hay không :

$$I_{sc} \leq [I]_{cp} \quad (5-20)$$

trong đó:

I_{sc} - là dòng điện khi sự cố nặng nề nhất trên đoạn đầu đường dây;

I_{cp} - là dòng điện lâu dài cho phép của dây dẫn theo điều kiện đốt nóng.

Nếu điều kiện (5-20) không thỏa mãn thì phải tăng tiết diện dây dẫn.

b. Đối với mạng điện địa phương

Trong mạng địa phương, tiết diện dây dẫn được chọn tùy thuộc vào đặc điểm và phân bố phụ tải trên đường dây, ta xét cho cả hai trường hợp là chọn tiết diện dây dẫn không đổi và thay đổi trên chiều dài đường dây:

+ Khi đường dây có phụ tải phân bố dày, gần nhau

Trường hợp này nên chọn phương án tiết diện không đổi trên suốt chiều dài đường dây. Khi đó coi mạng điện là đồng nhất, tiết diện không đổi vì điện kháng x_0 trên đường dây khác nhau không nhiều, sự phân bố công suất chỉ phụ thuộc vào chiều dài đường dây. Sau khi tìm được công suất truyền tải trên tất cả các đoạn ta xác định được điểm phân công suất. Tách mạng điện kín thành 2 mạng điện hở. Trình tự tiến hành tính toán như sau:

- Cho x_0 một giá trị trung bình, tính tổn thất điện áp phản kháng ΔU_p từ nguồn đến điểm phân công suất.

- Xác định tổn thất điện áp tác dụng cho phép: $\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_p$.

- Tìm tiết diện dây dẫn:
$$F = \frac{\Sigma Pl}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}}$$

- Chọn tiết diện quy chuẩn, tra bảng tìm r_0 và x_0 , tính hao tổn điện áp thực tế, so sánh với hao tổn điện áp cho phép đáp ứng điều kiện $\Delta U_{tt} \leq \Delta U_{cp}$. Trường hợp không thỏa mãn thì nâng cấp tiết diện lên một cấp và tính lại.

Vì tiết diện dây dẫn không đổi nên tiết diện tính từ phía nguồn A cũng giống như tính tiết diện từ phía nguồn B, ta chọn chung một tiết diện duy nhất.

Kiểm tra tiết diện dây dẫn khi sự cố mất một nguồn cung cấp:

- Giả thiết sự cố đứt dây gần một trong hai nguồn (lần lượt tính cho mất một trong hai nguồn), mạng kín trở thành mạng hở, tính toán với trường hợp sự cố nặng nề nhất.

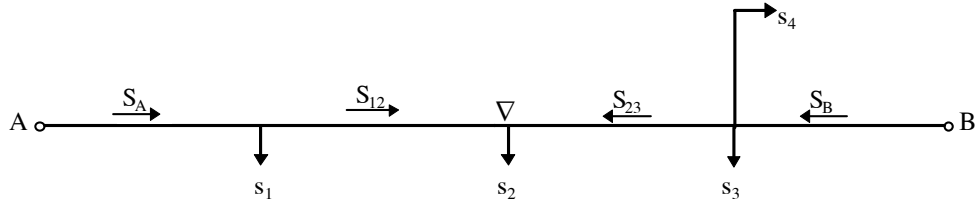
- Tính lại công suất truyền tải trên đường dây mạng hở 1 nguồn cung cấp.

- Xác định tổn thất điện áp thực tế của mạng hở (ΔU_{sc}) khi có 1 nguồn cung cấp.

- So sánh tổn thất điện áp thực tế và tổn thất điện áp cho phép khi sự cố ΔU_{cpSC} .

Thông thường khi sự cố người ta cho phép tăng tổn thất điện áp cho phép lên 5-8 % so với lúc bình thường nghĩa là: $\Delta U_{SC} \leq \Delta U_{cpSC} = \Delta U_{cp} + (5 - 8) \%$.

Nếu mạng điện kín có nhánh rẽ như hình 5-5, thì cách lựa chọn tiết diện như sau:



- Coi phụ tải của nhánh dây 4 tập trung tại điểm rẽ 3.
- Tiết diện dây dẫn của đường dây chính tính như phương pháp nêu trên.
- Tìm hao tổn điện áp thực tế đến điểm rẽ 3 theo tiết diện tiêu chuẩn đã chọn.
- Căn cứ vào hao tổn điện áp cho phép, tìm hao tổn điện áp cho phép còn lại của nhánh rẽ:

$$\Delta U_{cp3-4} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{B3}$$

- Tiết diện dây dẫn của nhánh rẽ chọn theo hao tổn điện áp cho phép còn lại ΔU_{cp3-4} .
- Kiểm tra mạng điện theo điều kiện đốt nóng và theo hao tổn điện áp cho phép khi sự cố.

$$I_{SC} \leq [I]_{cp}; \quad \Delta U_{SC} \leq [\Delta U]_{cpSC}.$$

- Khi một trong 2 điều kiện trên không đảm bảo thì phải tăng tiết diện dây dẫn.

+ Trường hợp đường dây dài và các phụ tải phân bố xa nhau

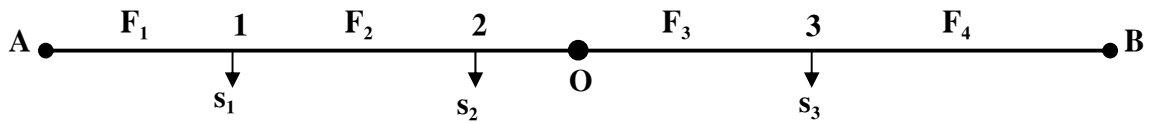
Khi đó mỗi đoạn đường dây nên chọn tiết diện dây dẫn khác nhau để đáp ứng yêu cầu kinh tế, sự phân bố công suất xác định không phụ thuộc vào chiều dài đường dây mà nó phụ thuộc vào tổng trở của dây dẫn. Bài toán trở nên phức tạp do dây dẫn lại là yếu tố cần tìm, để tính được người ta sử dụng phương pháp gần đúng trên cơ sở các giả thiết.

Xét một đoạn đường dây cung cấp cho một phụ tải, tiết diện dây và thể tích kim loại được xác định:

$$F = \frac{Pl}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}}; \quad V = 3Fl = \frac{3Pl^2}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp}}.$$

Ta thấy thể tích kim loại làm dây dẫn tỷ lệ với bình phương chiều dài đường dây. Muốn cho khối lượng kim loại làm dây dẫn ít nhất thì khoảng cách cấp điện từ nguồn đến phụ tải phải là gần nhất.

Xét một mạng điện có sơ đồ như hình vẽ, O là điểm giữa của đường dây.



Muốn cho khoảng cách dẫn điện từ nguồn đến phụ tải là ngắn nhất, nghĩa là lượng kim loại màu chi phí cho đường dây là ít nhất thì:

- Phụ tải 1 và 2 phải do nguồn A cung cấp,
- Phụ tải 3 phải do nguồn B cung cấp.

Trên cơ sở đó, mạng điện kín được chia thành hai mạng hở là A-1-2 và B-3. Tiết diện dây dẫn mỗi phần được chọn theo phương pháp tính của mạng điện hở địa phương. Tùy theo tính chất phụ tải mà có thể chọn dây dẫn theo một trong hai phương pháp. Ví dụ, với mạng điện có thời gian sử dụng thấp $T_{max} = 2000 - 4000$ h, thì chọn tiết diện dây dẫn các đoạn khác nhau theo hao tổn điện áp cho phép và chi phí kim loại cực tiểu. Mạng có thời gian sử dụng cao $T_{max} = 4500 - 6000$ h, thì chọn theo điều kiện hao tổn điện áp và tổn thất điện năng nhỏ nhất (phương pháp $j = const$).

Đoạn ở giữa (đoạn 2-3) bị cắt, thực tế khi vận hành sẽ có dòng điện tương đối nhỏ đi qua. Để chọn tiết diện cho đoạn này, ta so sánh tiết diện của hai đoạn F_2 và F_4 , chọn tiết diện F_3 theo một trong hai tiết diện ứng với đoạn có tiết diện bé hơn.

Sau cùng thử lại xem ở điều kiện làm việc bình thường và sự cố nghiêm trọng nhất dây dẫn có đảm bảo hay không.

§ 5- 4. MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI MẠNG ĐIỆN KÍN

Trong quá trình tính toán mạng điện kín, ta sẽ gặp mạng điện kín phức tạp có nhiều điểm nút hoặc nhiều nguồn cung cấp. Việc xác định sự phân bố công suất gặp nhiều khó khăn, người ta phải tìm cách biến đổi mạng điện kín phức tạp trở thành đơn giản. Dưới đây sẽ trình bày một số phương pháp biến đổi mạng điện kín phức tạp về mạng điện kín đơn giản hai nguồn cung cấp. Từ đó dễ dàng tìm được sự phân bố công suất trên các đoạn mạng. Bước tiếp theo, hoàn nguyên trở lại sơ đồ ban đầu để tìm công suất trong mạng điện thực tế đã cho.

1. Phương pháp biến đổi mạng điện đồng quy

Xét mạng điện đồng quy tại điểm B như hình 5-6a. Ta cần biến đổi mạng điện này thành một nhánh đẳng trị duy nhất như hình 5-6b.

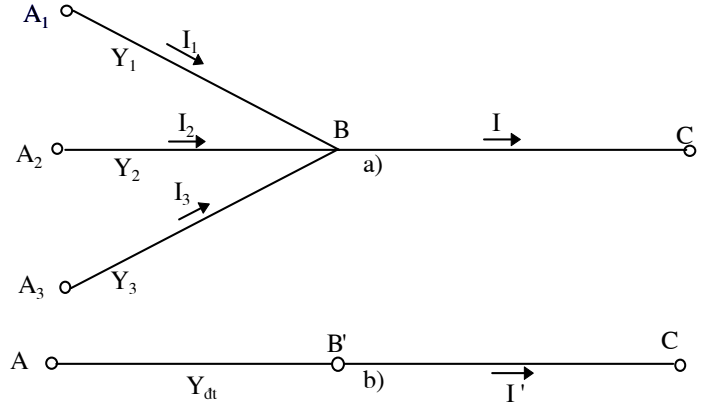
Sau khi thay thế các nhánh đồng quy: A_1, A_2, A_3 thành nhánh đẳng trị, các điều kiện sau đây được bảo toàn:

- Điện áp tại điểm đồng quy không thay đổi $U_B = U_B'$.

- Dòng điện trong mạch chính không thay đổi $I = I'$.

Hình 5-6.
Đẳng trị mạng điện đồng quy

a - là mạng điện đồng quy;
b - là mạng điện đẳng trị;
 A_1, A_2, A_3 - là nguồn cung cấp;
A - là nguồn đẳng trị.



Theo điều kiện trên ta có:

$$I_{dt} = I_1 + I_2 + I_3 \tag{5-21}$$

$$Y_{dt} = Y_1 + Y_2 + Y_3 \tag{5-22}$$

Các dòng điện I_1, I_2, I_3 có thể xác định theo biểu thức:

$$I_1 = (U_{A1} - U_B)Y_1; \quad I_2 = (U_{A2} - U_B)Y_2; \quad I_3 = (U_{A3} - U_B)Y_3; \tag{5-23}$$

$$I_{dt} = (U_{dt} - U_{B'})Y_{dt} = (U_{dt} - U_B)Y_{dt} \tag{5-24}$$

trong đó:

U_{A1}, U_{A2}, U_{A3} - là điện áp pha của các nguồn A_1, A_2, A_3 ;

$U_B, U_{B'}$ - là điện áp tại điểm B và B';

U_{dt} - là điện áp pha của nguồn đẳng trị;

$Y_1, Y_2, Y_3, Z_1, Z_2, Z_3$ - là điện dẫn và điện trở của nhánh A_1, A_2, A_3 ;

Y_{dt}, Z_{dt} - là điện dẫn và điện trở của nhánh đẳng trị.

Thay (5-23), (5-24) vào (5-21) ta được:

$$(U_{dt} - U_B)Y_{dt} = (U_{A1} - U_B)Y_1 + (U_{A2} - U_B)Y_2 + (U_{A3} - U_B)Y_3. \tag{5-25}$$

$$U_{dt} = \frac{U_{A1}Y_1 + U_{A2}Y_2 + U_{A3}Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3} \tag{5-26}$$

Tổng quát khi có n nhánh:

$$U_{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{Ai}Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} \tag{5-27}$$

Như vậy khi biến đổi mạng đồng quy thành nhánh đẳng trị, ta cần xác định điện áp của nguồn đẳng trị (U_{dt}) và điện dẫn nhánh đẳng trị (Y_{dt}).

Bài toán ngược lại, khi cần hoàn nguyên sơ đồ để xác định các thông số của mạng thực từ sơ đồ đẳng trị, với các thông số đã biết U_{dt} , I_{dt} và Z_{dt} cần đi xác định thông số cho nhánh đồng quy (thường là các dòng I_1, I_2, I_3) ta viết phương trình cho các nút B và B' rồi cân bằng nhau.

Từ (5-23) ta có:

$$U_B = U_{A1} - I_1 Z_1; \quad U_B = U_{A2} - I_2 Z_2; \quad U_B = U_{A3} - I_3 Z_3 \quad (5-28)$$

$$U_{B'} = U_{dt} - I_{dt} Z_{dt} \quad (5-29)$$

Vì $U_B = U_{B'}$, nên cân bằng lần lượt (5-28) với (5-29) giải ra:

$$I_1 = I_{dt} \frac{Z_{dt}}{Z_1} + \frac{U_{A1} - U_{dt}}{Z_1}; \quad I_2 = I_{dt} \frac{Z_{dt}}{Z_2} + \frac{U_{A2} - U_{dt}}{Z_2}; \quad I_3 = I_{dt} \frac{Z_{dt}}{Z_3} + \frac{U_{A3} - U_{dt}}{Z_3} \quad (5-30)$$

Viết dưới dạng tổng quát:

$$I_i = I_{dt} \frac{Z_{dt}}{Z_i} + \frac{U_{Ai} - U_{dt}}{Z_i} \quad (5-31)$$

Khi phụ tải cho bằng công suất:

$$S_i = S_{dt} \frac{Z_{dt}}{Z_i} + \frac{3U_{dm}(U_{Ai} - U_{dt})}{Z_i} \quad (5-32)$$

Nếu điện áp các nguồn A_1, A_2, \dots, A_i bằng nhau về trị số và trùng pha thì: $U_{Ai} = U_{dt}$ ta có:

$$S_i = S_{dt} \frac{Z_{dt}}{Z_i} \quad (5-33)$$

2. Phương pháp dịch chuyển phụ tải

Phương pháp biến đổi mạng điện đồng quy chỉ áp dụng được khi ở giữa các đoạn mạng không có phụ tải. Khi có phụ tải ở giữa thì ta phải dùng phương pháp dịch chuyển phụ tải. Nghĩa là đem phụ tải ở giữa dịch chuyển về hai đầu của đoạn mạng điện đó. Đây là phương pháp bổ trợ thường dùng phục vụ cho các phép biến đổi mạng khác như biến đổi mạng đồng quy, biến đổi sao - tam giác .v.v..

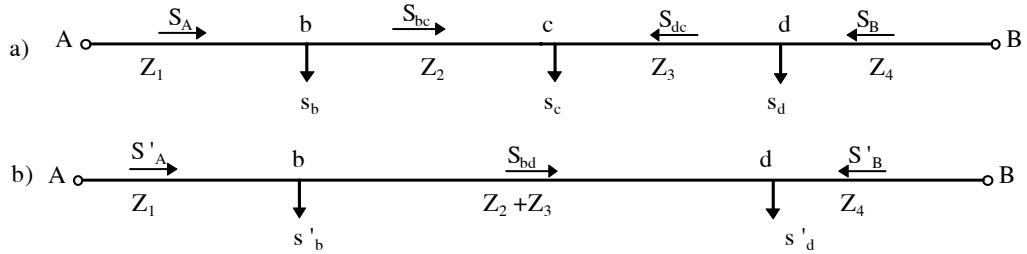
Giả sử có một mạng điện kín như trên hình 5 -7a.

Sơ đồ có các phụ tải s_b, s_c, s_d , tổng trở các đoạn là Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 . Do nhu cầu tính toán ta cần dịch chuyển phụ tải c về 2 điểm b, d. Sau khi dịch chuyển như vậy, phụ tải s_c không còn nữa. Trong sơ đồ mới (hình 5-7b), các phụ tải s_b, s_d được bổ sung thêm và thay thế bằng s_c' và s_d' . Khi dịch chuyển phụ tải các yếu tố sau đây được bảo toàn:

- Công suất (hay dòng điện) trên các đoạn Ab và Bd trước và sau khi dịch chuyển là không đổi:

$$S_A = S_{A'}; \quad S_B = S_{B'}$$

- Tổn thất điện áp trên đoạn bd là không đổi.



Hình 5-7. Dịch chuyển phụ tải
a- mạng điện khi chưa dịch chuyển phụ tải;
b- mạng điện khi đã dịch chuyển phụ tải.

Giả thiết mạng điện đang xét có điện áp 2 đầu bằng nhau và chiều dòng điện quy ước như trên hình vẽ.

Khi chưa dịch chuyển phụ tải thì phân bố công suất là:

$$S_B = \frac{s_b Z_1 + s_c (Z_1 + Z_2) + s_d (Z_1 + Z_2 + Z_3)}{Z_\Sigma} \quad (5-34)$$

Sau khi dịch chuyển phân bố công suất là:

$$S_B' = \frac{s_b' Z_1 + s_d' (Z_1 + Z_2 + Z_3)}{Z_\Sigma} \quad (5-35)$$

Vì $S_B = S_B'$ cân bằng (5-34) , (5-35) ta được:

$$s_b Z_1 + s_c (Z_1 + Z_2) + s_d (Z_1 + Z_2 + Z_3) = s_b' Z_1 + s_d' (Z_1 + Z_2 + Z_3) \quad (5-36)$$

Mặt khác công suất bảo toàn nên:

$$S_A + S_B = S_A' + S_B'; \quad s_b + s_c + s_d = s_b' + s_d' \quad (5-37)$$

Cân bằng giữa (5-36) và (5-37) giải ra:

$$s_b' = s_b + s_c \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3} = s_b + s_{bn}; \quad s_d' = s_d + s_c \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} = s_d + s_{dn} \quad (5-38)$$

trong đó: s_{bn} , s_{dn} - là phụ tải của điểm c dịch chuyển về điểm b và d

$$s_{bn} = s_c \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3}; \quad s_{dn} = s_c \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}; \quad (5-39)$$

$$s_{bn} + s_{dn} = s_c \quad (5-40)$$

Nhận xét: theo (5-38) và (5-39) ta thấy, phụ tải nhận dịch chuyển có 2 thành phần: thành phần của phụ tải cũ và thành phần của phụ tải mới dịch chuyển về gọi là phân lượng phụ tải

chuyển dịch. Phụ tải chuyển dịch được tính toán giống như sự phân bố công suất trong mạng điện kín khi ta coi 2 điểm nhận phụ tải chuyển dịch là 2 đầu cung cấp.

Vì sự dịch chuyển của phụ tải không ảnh hưởng đến trị số công suất cân bằng, do đó nó đúng trong cả trường hợp điện áp 2 nguồn khác nhau.

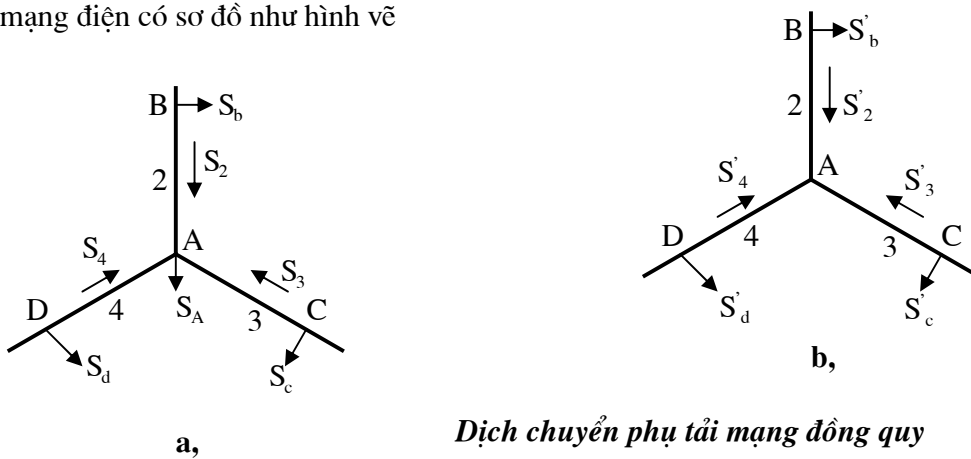
Khi biết S_{bd}' ; s_{bn} và s_{dn} (hình 5-7b) ta có thể hoàn nguyên lại phụ tải theo sơ đồ ban đầu (hình 5-7a):

$$S_{bc} = S_{bd}' + S_{bn}; \quad S_{dc} = s_{dn} - S_{bd}' \quad (5-41)$$

Nếu S_{bc} hoặc S_{dc} tính ra có dấu âm thì chiều của nó ngược lại với chiều chọn ban đầu.

Dịch chuyển phụ tải trên nhánh đồng quy

Xét mạng điện có sơ đồ như hình vẽ



Dịch chuyển phụ tải mạng đồng quy

a- Mạng điện thực

b- Mạng điện sau khi chuyển dịch phụ tải

Ta cần dịch chuyển phụ tải của điểm A về các điểm B, C, D sao cho:

- Điện áp rơi giữa các điểm B, C, D không đổi.
- Dòng điện và công suất ở các phần khác của mạng là không đổi.

Ta đi xác định các phân lượng phụ tải dịch chuyển từ A về các điểm B, C, D, xác định các giá trị công suất truyền tải của mạng sau khi biến đổi là S'_2 , S'_3 , S'_4 .

Xét mạng ban đầu khi chưa biến đổi ta có:

$$U_B - U_C = I_2 Z_2 - I_3 Z_3; \quad U_B - U_D = I_2 Z_2 - I_4 Z_4; \quad U_C - U_D = I_3 Z_3 - I_4 Z_4;$$

Nhân hai vế của biểu thức với 3 U_{dm} ta có

$$3U_{dm} (U_B - U_C) = S_2 Z_2 - S_3 Z_3; \quad 3U_{dm} (U_B - U_D) = S_2 Z_2 - S_4 Z_4; \quad 3U_{dm} (U_C - U_D) = S_3 Z_3 - S_4 Z_4;$$

Trong sơ đồ mạng điện đã biến đổi, hiệu điện áp giữa các đỉnh của hình sao là không đổi, ta có:

$$3U_{dm}(U_B - U_C) = S'_2 Z_2 - S'_3 Z_3; \quad 3U_{dm}(U_B - U_D) = S'_2 Z_2 - S'_4 Z_4; \quad 3U_{dm}(U_C - U_D) = S'_3 Z_3 - S'_4 Z_4;$$

Từ hai biểu thức trên ta có:

$$S_2 Z_2 - S_3 Z_3 = S'_2 Z_2 - S'_3 Z_3; \quad S_2 Z_2 - S_4 Z_4 = S'_2 Z_2 - S'_4 Z_4; \quad S_3 Z_3 - S_4 Z_4 = S'_3 Z_3 - S'_4 Z_4;$$

$$(S_2 - S'_2) Z_2 = (S_3 - S'_3) Z_3; \quad (S_2 - S'_2) Z_2 = (S_4 - S'_4) Z_4; \quad (S_3 - S'_3) Z_3 = (S_4 - S'_4) Z_4;$$

Từ hình vẽ ta thấy: $S_2 - S'_2 = S_{Bn}; \quad S_3 - S'_3 = S_{Cn}; \quad S_4 - S'_4 = S_{Dn}$

Với S_{Bn}, S_{Cn}, S_{Dn} là các phân lượng phụ tải dịch chuyển về các điểm B, C, D

$$S_A = S_{Bn} + S_{Cn} + S_{Dn}$$

$$S'_B = S_B + S_{Bn}; \quad S'_C = S_C + S_{Cn}; \quad S'_D = S_D + S_{Dn};$$

Thay vào ta có:

$$S_{Bn} Z_2 = S_{Cn} Z_3; \quad S_{Bn} Z_2 = S_{Dn} Z_4; \quad S_{Cn} Z_3 = S_{Dn} Z_4;$$

Giải ra ta có

$$S_{Cn} = S_{Bn} \frac{Z_2}{Z_3} = S_{Bn} \frac{Y_3}{Y_2}; \quad S_{Dn} = S_{Bn} \frac{Z_2}{Z_4} = S_{Bn} \frac{Y_4}{Y_2};$$

Vậy: $S_A = S_{Bn} + S_{Cn} + S_{Dn} = S_{Bn} + S_{Bn} \frac{Y_3}{Y_2} + S_{Bn} \frac{Y_4}{Y_2} = S_{Bn} \frac{Y_2 + Y_3 + Y_4}{Y_2} = S_{Bn} \frac{Y_\Sigma}{Y_2}$

Hay: $S_{Bn} = S_A \frac{Y_2}{Y_\Sigma}; \quad S_{Cn} = S_A \frac{Y_3}{Y_\Sigma}; \quad S_{Dn} = S_A \frac{Y_4}{Y_\Sigma}.$

3. Phương pháp tiết diện và chiều dài quy đổi

Trên một đoạn mạng điện nào đó mà khi tính toán chỉ quan tâm đến điện trở tác dụng và sự phân bố công suất trong mạng với điều kiện hao tổn điện áp đến từng điểm riêng biệt của nó không thay đổi. Ta có thể thay dây dẫn có tiết diện F_1 , chiều dài l_1 và điện trở R_1 bằng dây dẫn có F_2, l_2 và R_2 nhưng đảm bảo $R_2 = R_1$. Khi đó:

$$\frac{l_1}{\gamma F_1} = \frac{l_2}{\gamma F_2} \quad \text{hay} \quad l_2 = l_1 \cdot \frac{F_2}{F_1} \quad (5-42)$$

trong đó:

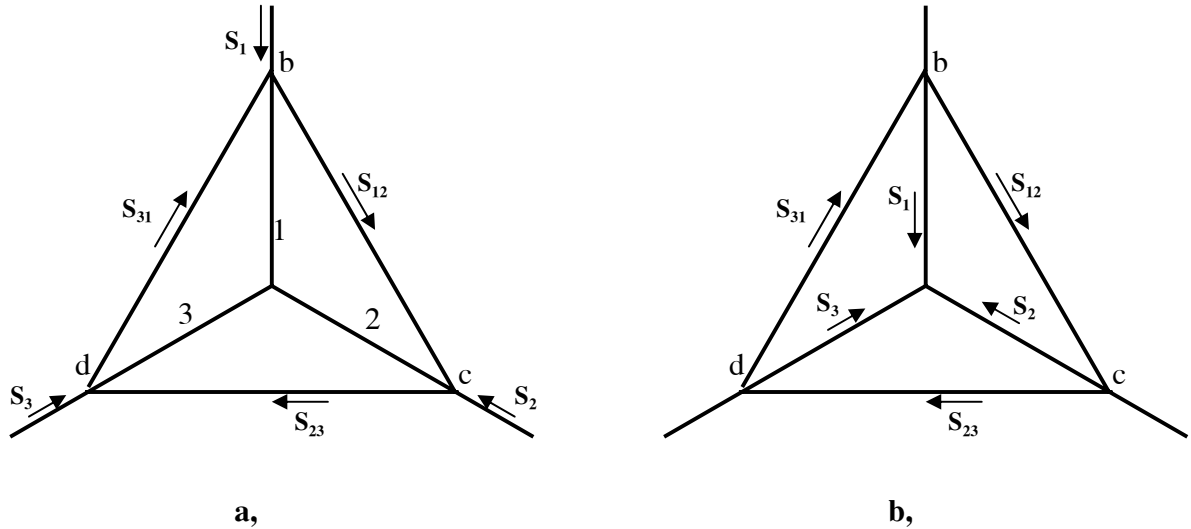
F_1, l_1 - là tiết diện và chiều dài thực của dây dẫn;

F_2, l_2 - là tiết diện và chiều dài quy đổi.

Việc quy đổi chỉ đúng khi dây dẫn làm bằng kim loại màu và cùng một loại vật liệu.

4. Phương pháp biến đổi sao - tam giác và ngược lại

Để biến đổi mạng điện kín ta có thể dùng phương pháp biến đổi sao - tam giác và ngược lại. Gọi các nhánh sao mang chỉ số 1, 2, 3, nhánh tam giác mang chỉ số 12, 23 và 31; các đỉnh của tam giác ký hiệu là 1, 2, 3 như hình 5-8.



Hình 5-8. Biến đổi sao - tam giác và ngược lại

a- biến đổi tam giác sang sao;

b- biến đổi sao sang tam giác.

Sử dụng các phép biến đổi đã trình bày trong Cơ sở Lý thuyết mạch, ta có

Biến đổi từ tam giác sang hình sao ($\Delta \rightarrow Y$)

Tổng trở và công suất chuyển từ tam giác sang sao (hình 5-8a) có giá trị là:

$$Z_1 = \frac{Z_{12}Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad Z_2 = \frac{Z_{12}Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad Z_3 = \frac{Z_{23}Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}; \quad (5-43)$$

$$S_1 = S_{12} - S_{31}; \quad S_2 = S_{23} - S_{12}; \quad S_3 = S_{31} - S_{23} \quad (5-44)$$

Biến đổi từ hình sao sang tam giác ($Y \rightarrow \Delta$)

Tổng trở chuyển từ hình sao sang tam giác (hình 5-8b) có giá trị là:

$$Z_{12} = \frac{Z_1Z_2 + Z_2Z_3 + Z_3Z_1}{Z_3}; \quad Z_{23} = \frac{Z_1Z_2 + Z_2Z_3 + Z_3Z_1}{Z_1};$$

$$Z_{31} = \frac{Z_1Z_2 + Z_2Z_3 + Z_3Z_1}{Z_2} \quad (5-45)$$

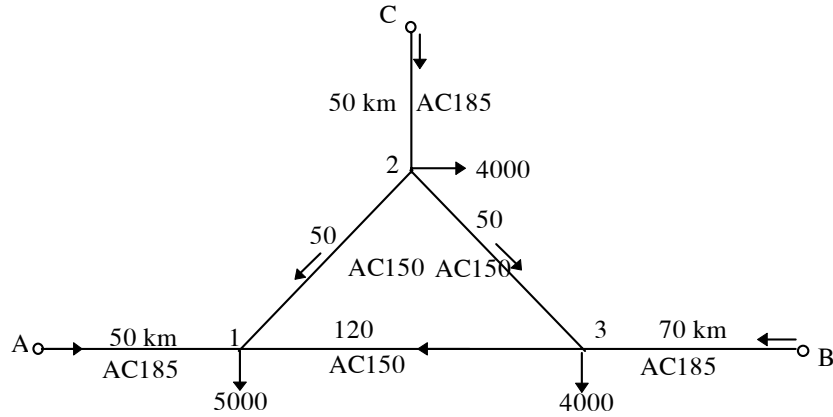
Công suất chạy trên các đoạn là:

$$S_{12} = \frac{S_1Z_1 - S_2Z_2}{Z_{12}}; \quad S_{23} = \frac{S_2Z_2 - S_3Z_3}{Z_{23}}; \quad S_{31} = \frac{S_3Z_3 - S_1Z_1}{Z_{31}}; \quad (5-46)$$

§ 5-5. MỘT SỐ VÍ DỤ TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN KÍN

Ví dụ 1

Xác định hao tổn điện áp cực đại trên mạng điện 3 nguồn cung cấp (hình 5-10a). Trên hình vẽ phụ tải cho bằng kVA có cùng hệ số $\cos\phi = 0,9$, chiều dài đường dây tính bằng km. Mác và tiết diện dây dẫn ghi trên sơ đồ. Điện áp các nguồn cung cấp trùng pha bằng nhau và bằng 35kV.



Hình 5-10a. Mạng điện kín 3 nguồn cung cấp

Giải.

Trình tự giải bài toán qua các bước sau đây:

- Dùng phương pháp tiết diện và chiều dài quy đổi để đưa về mạng điện đồng nhất cùng một tiết diện dây dẫn và có thể phân bố phụ tải theo chiều dài đường dây.
- Biến đổi từ tam giác sang sao để đưa về các nhánh đồng quy.
- Đẳng trị các nhánh đồng quy, đưa về mạng điện kín 2 nguồn cung cấp.
- Tìm phân bố công suất.
- Hoàn nguyên mạng điện để tìm phân bố công suất trên sơ đồ ban đầu.
- Tìm điểm phân công suất và hao tổn điện áp cực đại.

1- Tiết diện và chiều dài quy đổi

Quy đổi toàn mạng điện về cùng một tiết diện dây dẫn là 150 mm^2 .

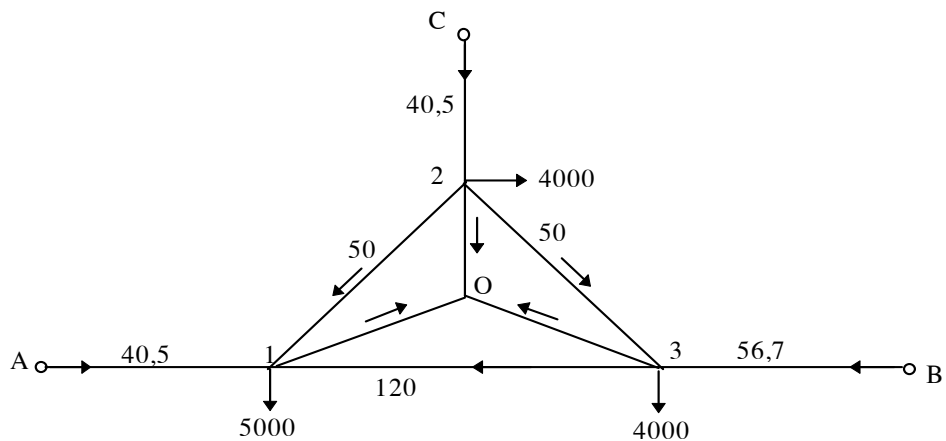
Vì $\gamma_1 = \gamma_2$ nên: $l_1 = l_2 \frac{F_1}{F_2}$.

Ký hiệu tiết diện và chiều dài quy đổi có dấu phẩy (')

$$l'_{A1} = l_{A1} \frac{F'_{A1}}{F_{A1}} = 50 \frac{150}{185} = 40,5(km)$$

$$l'_{C2} = l_{C2} \frac{F'_{C2}}{F_{C2}} = 50 \frac{150}{185} = 40,5(km)$$

$$l'_{B3} = l_{B3} \frac{F'_{B3}}{F_{B3}} = 70 \cdot \frac{150}{185} = 56,7(km)$$



Hình 5-10b. Mạng điện quy đổi về cùng tiết diện

Mạng điện quy đổi về cùng một tiết diện cho trên hình 5-10 b.

2. Biến đổi từ tam giác sang sao

Vì mạng điện có cùng tiết diện dây dẫn cùng hệ số công suất nên có thể thay thế biến đổi điện trở tương đương thành biến đổi tương đương chiều dài từ tam giác: 123 sang sao: 01, 02, 03.

$$l_{01} = \frac{l_{12}l_{13}}{l_{12} + l_{23} + l_{31}} = \frac{50 \cdot 120}{50 + 50 + 120} = 27,3 \text{ (km)}$$

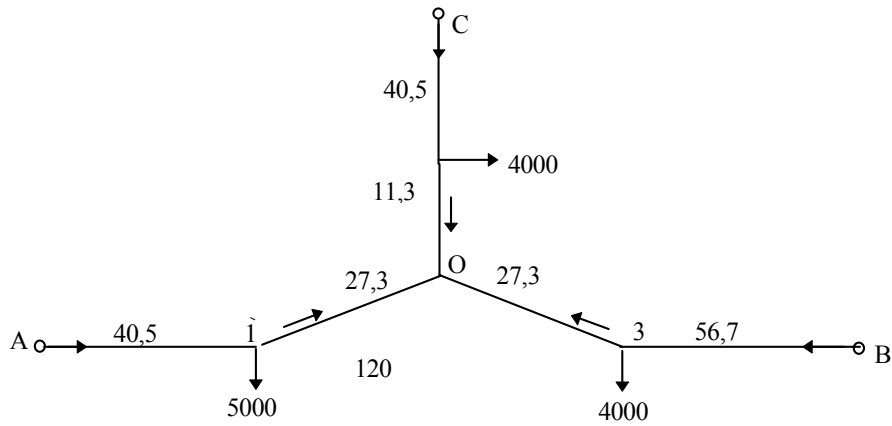
$$l_{02} = \frac{l_{12}l_{23}}{l_{12} + l_{23} + l_{31}} = \frac{50 \cdot 50}{50 + 50 + 120} = 11,36 \text{ (km)}$$

$$l_{03} = \frac{l_{31}l_{23}}{l_{12} + l_{23} + l_{31}} = \frac{120 \cdot 50}{50 + 50 + 120} = 27,3 \text{ (km)}$$

Sơ đồ tương đương vẽ trên hình 5-10c.

3. Dịch chuyển phụ tải

Để có thể biến đổi đồng quy 2 nhánh 0A và 0C ta dịch chuyển phụ tải s_1 về A và 0, phụ tải s_2 về C và 0.



Hình 5-10c. Dịch chuyển phụ tải

$$s_{An} = s_1 \frac{l_{O1}}{l_{A0}} = 5000 \frac{27,3}{40,5 + 27,3} = 2013 \text{ (kVA)}$$

$$s_{On} = s_1 \frac{l_{A1}}{l_{A0}} = 5000 \frac{40,5}{40,5 + 27,3} = 2987 \text{ (kVA)}$$

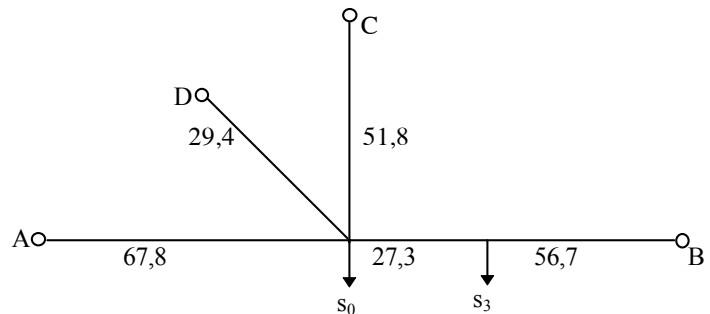
$$s_{Cn} = s_2 \frac{l_{O2}}{l_{C0}} = 4000 \frac{11,3}{40,5 + 11,3} = 873 \text{ (kVA)}$$

$$s'_{On} = s_2 \frac{l_{C2}}{l_{C0}} = 4000 \frac{40,5}{40,5 + 11,3} = 3127 \text{ (kVA)}$$

$$s_0 = s_{0n} + s'_{0n} = 2987 + 3127 = 6114 \text{ (kVA)}.$$

Mạng điện tương đương sau khi dịch chuyển phụ tải có dạng như hình 5-10d.

Hình 5-10d.
Mạng điện tương đương
sau khi dịch chuyển phụ tải



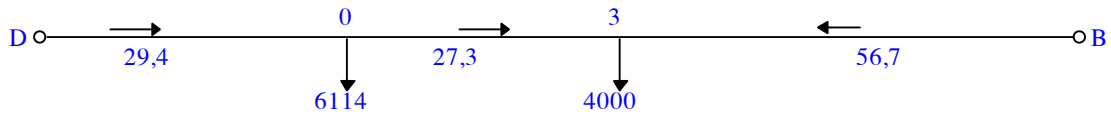
4. Biến đổi 2 nhánh đồng quy AO và CO về nhánh tương đương DO

$$l_{D0} = \frac{l_{A0} \cdot l_{C0}}{l_{A0} + l_{C0}} = \frac{67,8 \cdot 51,8}{67,8 + 51,8} = 29,4 \text{ (km)}$$

Cuối cùng nối thẳng ra ta có mạng điện kín 2 nguồn cung cấp như trên hình 5-10e.

5- Tìm sự phân bố công suất trong mạng điện hai nguồn cung cấp (hình 5-10e)

Giả sử chiều công suất như trên hình vẽ.



Hình 5-10 e. Mạng điện 2 nguồn cung cấp

$$S_{D0} = \frac{s_0(l_{03} + l_{B3}) + s_3 l_{B3}}{l_{D0} + l_{03} + l_{B3}} = \frac{6114(27,3 + 56,7) + 4000 \cdot 56,7}{29,4 + 27,3 + 56,7} = 6534 \text{ (kVA)}$$

$$S_{03} = S_{D0} - s_0 = 6534 - 6114 = 420 \text{ (kVA)}$$

$$S_{B3} = s_3 - S_{03} = 4000 - 420 = 3580 \text{ (kVA)}$$

6. Hoàn nguyên mạng điện.

- Công suất truyền tải trên nhánh đồng quy: (hình 5-10d)

$$S_{A0} = S_{D0} \frac{l_{D0}}{l_{A0}} = 6534 \frac{29,4}{67,8} = 2832 \text{ (kVA)}$$

$$S_{C0} = S_{D0} \frac{l_{D0}}{l_{C0}} = 6534 \frac{29,4}{51,8} = 3702 \text{ (kVA)}$$

- Công suất truyền tải trên nhánh hình sao (hình 5-10c).

$$S_{A1} = S_{A0} + s_{An} = 2832 + 2013 = 4845 \text{ (kVA)}$$

$$S_{01} = S_{A0} - s_{0n} = 2832 - 2987 = -155 \text{ (kVA)}$$

Công suất trên đoạn 01 mang dấu âm chứng tỏ của nó ngược chiều với công suất trên đoạn A0.

$$S_{C2} = S_{C0} + s_{Cn} = 3702 + 873 = 4575 \text{ (kVA)}$$

$$S_{02} = S_{C0} - s'_{0n} = 3702 - 3127 = 575 \text{ (kVA)}$$

- Công suất truyền tải trên nhánh tam giác (Hình 5-10a).

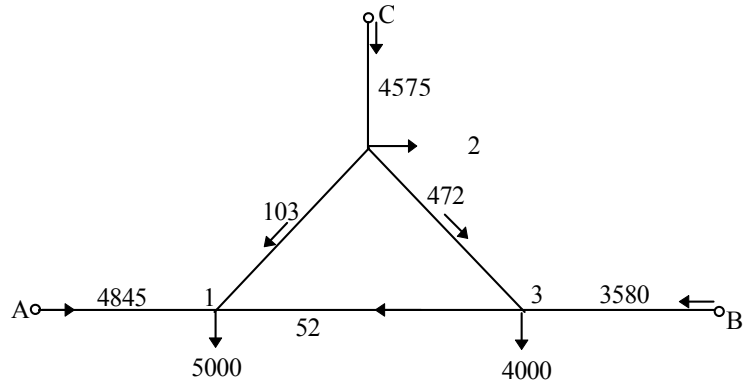
$$S_{12} = \frac{S_{01} l_{01} + S_{02} l_{02}}{l_{12}} = \frac{-155 \cdot 27,3 + 575 \cdot 11,3}{50} = 103 \text{ (kVA)}$$

$$S_{23} = \frac{S_{02} l_{02} + S_{03} l_{03}}{l_{23}} = \frac{575 \cdot 11,3 + 420 \cdot 27,3}{50} = 472 \text{ (kVA)}$$

$$S_{31} = \frac{S_{01}l_{01} + S_{03}l_{03}}{l_{31}} = \frac{-155.27,3 + 420.27,3}{120} = 52 \text{ (kVA)}$$

Công suất không đổi dấu chứng tỏ chiều phù hợp với chiều giả thiết ban đầu. Vậy điểm 1 là điểm phân công suất. Hao tổn điện áp cực đại trên đoạn A1. Mạng điện có sự phân bố công suất như trên hình 5-10f.

Hình 5-10f. Phân bố công suất trên mạng điện kín



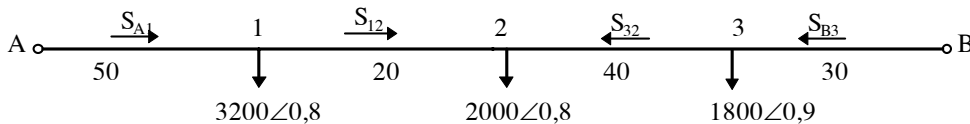
7. Xác định tổn thất công suất cực đại

Với dây dẫn AC185 , ta có: $r_0 = 0,17 \Omega/\text{km}$; $x_0 = 0,36 \Omega/\text{km}$.

$$\begin{aligned} \Delta U_{\max} = \Delta U_{A1} &= \frac{P_{A1}r_0l_{A1} + Q_{A1}x_0l_{A1}}{U_{dm}} = \frac{S_{A1} \cos \varphi r_0l_{A1} + S_{A1} \sin \varphi x_0l_{A1}}{U_{dm}} \\ &= \frac{4845.0,9.0,17.50 + 4845.0,44.0,36.50}{35} = 2150 \text{ (V) Hay } 6,1\%. \end{aligned}$$

Ví dụ 2

Xác định tiết diện dây dẫn đường dây trên không 2 nguồn cung cấp bằng thép nhôm. Tiết diện không đổi trên suốt chiều dài đường dây. Điện áp 2 nguồn cung cấp là 35kV (D = 3m), hao tổn điện áp cho phép là 5%, phụ tải cho bằng kVA, chiều dài km, hệ số công suất ghi trên sơ đồ hình 5-11a.



Hình 5-11a. Mạng điện 2 nguồn cung cấp

Giải.

1. Đổi các phụ tải ra dạng phức và tìm công suất truyền tải trên các đoạn

$$s_1 = s_1 \cos \varphi + j s_1 \sin \varphi = 3200 \cdot 0,8 + j 3200 \cdot 0,6 = 2560 + j 1920 \text{ (kVA)}$$

$$s_2 = s_2 \cos \varphi + j s_2 \sin \varphi = 2000 \cdot 0,8 + j 2000 \cdot 0,6 = 1600 + j 1200 \text{ (kVA)}$$

$$s_3 = s_3 \cos \varphi + j s_3 \sin \varphi = 1800 \cdot 0,9 + j 1800 \cdot 0,44 = 1620 + j 748,8 \text{ (kVA)}$$

Giả sử chiều công suất như trên hình vẽ:

$$S_{A1} = \frac{s_1 l_{1B} + s_2 l_{2B} + s_3 l_{3B}}{l_{AB}} = \frac{(2560 + j 1920)90 + (1600 + j 1200)70 + (1620 + j 748,8)30}{140}$$

$$= 2792,8 + j 1994,7 \text{ (kVA)}$$

$$S_{12} = S_{A1} - s_1 = 2792,8 + j 1994,7 - (2560 + j 1920) = 232,8 + j 74,7 \text{ (kVA)}$$

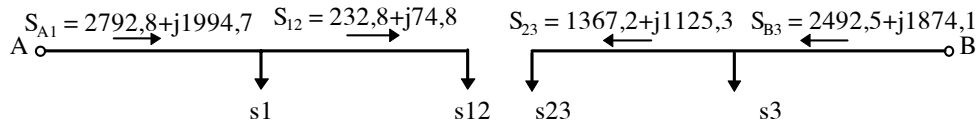
$$S_{32} = s_2 - S_{12} = 1600 + j 1200 - (232,8 + j 74,7) = 1367,2 + j 1125,3 \text{ (kVA)}$$

$$S_{B2} = s_{23} + s_3 = 1367,2 + j 1125,3 + 1620 + j 748,8 = 2492,5 + j 1874,1 \text{ (kVA)}$$

Công suất mang dấu dương và không đổi chiều. Vậy điểm 2 là điểm phân công suất.

2. Tách mạng điện kín thành 2 mạng hở tại điểm A và tìm tiết diện dây dẫn (xem hình 5-11b)

Sơ bộ chọn giá trị $x_0 = 0,38 \Omega/\text{km}$.



Hình 5-11b. Tách mạng điện kín tại điểm phân công suất

Xác định tổn thất điện áp phản kháng:

$$\Delta U_{pA2} = \frac{x_0 \Sigma Q l}{U_{dm}} = \frac{0,38(1994,7 \cdot 50 + 74,8 \cdot 20)}{35} = 1099 \text{ (V)}$$

$$\Delta U_{aA2} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{pA2} = \frac{5}{100} 35 \cdot 10^3 - 1099 = 1750 - 1099 = 651 \text{ (V)}$$

$$F = \frac{\Sigma P l}{\gamma U_{dm} \Delta U_{aA2}} = \frac{2792,8 \cdot 50 + 232,8 \cdot 20}{31,7 \cdot 35 \cdot 651} 10^3 = 199,7 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Quy chuẩn chọn dây dẫn AC240 có $r_0 = 0,13 \Omega/\text{km}$; $x_0 = 0,38 \Omega/\text{km}$.

Kết quả tính toán cho mạng điện hở B2 giống như tính toán theo mạng điện hở A2.

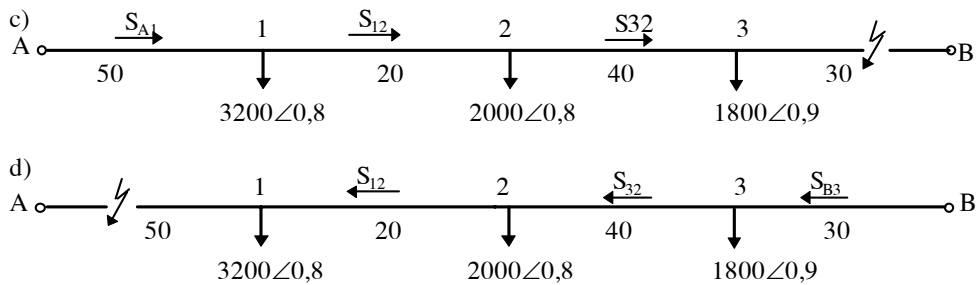
3. Tìm tổn thất điện áp thực tế

$$\Delta U_{uA2} = \frac{r_0 \sum Pl + x_0 \sum Ql}{U_{dm}}$$

$$= \frac{0,13(1992,8.50 + 232,8.20) + 0,38(1994,7.50 + 74,8.20)}{35} = 1672 \text{ (V) hay } 4,7\%.$$

Tổn thất điện áp trong chế độ sự cố.

Giả sử đứt dây trên đoạn B3 như hình 5-11c



Hình 5-11. Mạng điện trong chế độ sự cố

c)- sự cố đứt dây trên đoạn B3;

d)- sự cố đứt dây trên đoạn A2.

Phân bố công suất trên các đoạn là:

$$S_{A1} = s_1 + s_2 + s_3 = 2560 + j1920 + 1600 + j1200 + 1620 + j748,8 = 5780 + j3868,8 \text{ (kVA)}.$$

$$S_{12} = s_2 + s_3 = 1600 + j1200 + 1620 + j748,8 = 3220 + j1948,8 \text{ (kVA)}.$$

$$S_{23} = s_3 = 1620 + j748,8 \text{ (kVA)}$$

$$\Delta U_{A3} = \frac{r_0 (\sum Pl)_{A3} + x_0 (\sum Ql)_{A3}}{U_{dm}}$$

$$= \frac{0,13(5780.50 + 3220.20 + 1620.40) + 0,38(3868,8.50 + 1948,8.20 + 748,8.40)}{35}$$

$$= 1553 \text{ (V) hay } 12,26 \text{ \%}.$$

Trường hợp sự cố đứt dây trên đoạn A1 (hình 5-11d). Tính phân bố công suất và tổn thất điện áp tương tự như trên ta có:

$$\Delta U_{B1} = \frac{r_0 (\sum Pl)_{B1} + x_0 (\sum Ql)_{B1}}{U_{dm}} = 8,5\%.$$

Ta nhận thấy sự cố đứt dây trên đoạn B3 là nặng nề hơn. Ta có $\Delta U_{\max SC} = 12,26\%$

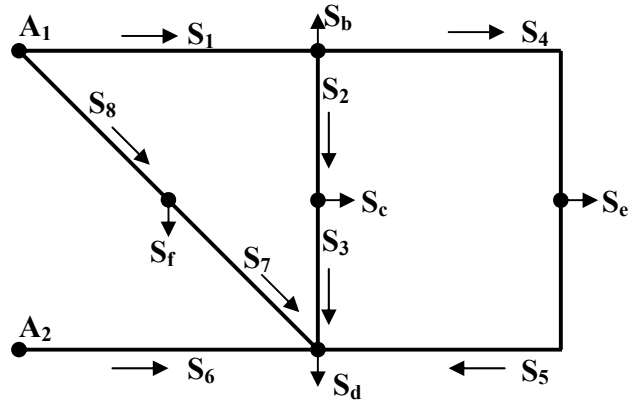
Ví dụ 3

Một mạng điện được cung cấp điện từ hai nguồn A và B bằng nhau về trị số và góc pha như trên hình vẽ, hãy xác định sự phân bố công suất trên mạng.

Giải

Giả sử chiều công suất trên các đoạn như hình a, trong quá trình tính nếu thấy giá trị của công suất âm thì ta chỉ việc đổi chiều đã quy ước ban đầu.

Để tính toán, ta tiến hành biến đổi sơ đồ mạng kín phức tạp trở về mạng kín đơn giản hai nguồn cung cấp. Sau khi xác định được luồng công suất trong mạng đơn giản, hoàn nguyên trở lại sơ đồ ban đầu để xác định sự phân bố công suất trong mạng thực.



Hình a

Bước 1: Biến đổi sơ đồ

Dịch chuyển phụ tải các điểm c, e, f về các điểm nút b và d

Phân lượng phụ tải dịch chuyển của S_e qua các điểm b và d là S'_{bn} và S'_{dn}

$$S'_{bn} = S_e \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5}; \quad S'_{dn} = S_e \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5}; \quad \text{với} \quad S_e = S'_{bn} + S'_{dn}$$

Phân lượng phụ tải dịch chuyển của S_c qua các điểm b và d là S''_{bn} và S''_{dn}

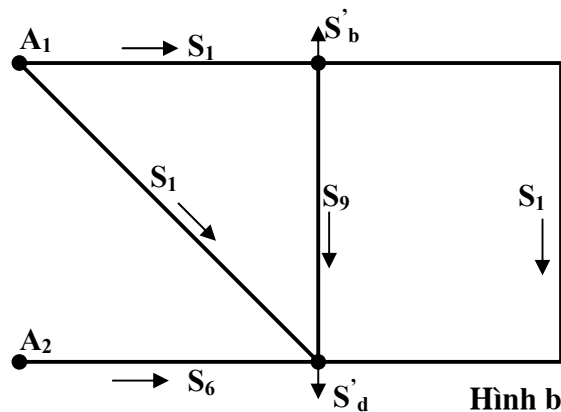
$$S''_{bn} = S_c \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3}; \quad S''_{dn} = S_c \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}; \quad \text{với} \quad S_c = S''_{bn} + S''_{dn}$$

Phân lượng phụ tải dịch chuyển của S_f qua các điểm A₁ và d là S_{A1n} và S'''_{dn}

$$S_{A1n} = S_f \frac{Z_7}{Z_7 + Z_8}; \quad S'''_{dn} = S_f \frac{Z_8}{Z_7 + Z_8}; \quad \text{với} \quad S_f = S_{A1n} + S'''_{dn}$$

Khi tính các phân lượng phụ tải, ta cần kiểm tra lại trị số của chúng để tránh sai sót, điều đó hết sức cần thiết đối với các mạng điện kín phức tạp.

Sau khi dịch chuyển phụ tải, ta có sơ đồ mới như hình b. Phụ tải mới nhận được tại b và d là S'_b và S'_d. Phân lượng phụ tải dịch chuyển về nguồn không cần lưu ý vì nó không ảnh hưởng đến



Hình b

sự phân bố công suất trong mạng mới.

$$S'_b = S_b + S'_{bn} + S''_{bn};$$

$$S'_d = S_d + S'_{dn} + S''_{dn} + S'''_{dn}$$

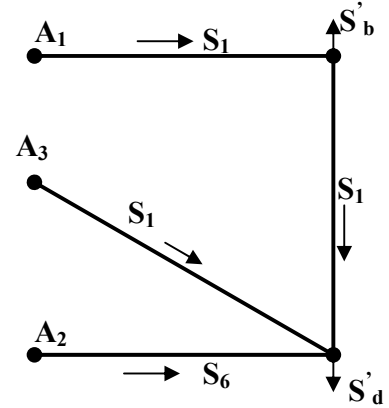
Sau khi dịch chuyển phụ tải, ta ghép các nhánh song song 9 và 10, tách nguồn A_1 thành hai nguồn A_1 và A_3 ta có sơ đồ như hình c.

Tổng trở của nhánh song song 9, 10

$$Z_{12} = \frac{Z_9 \cdot Z_{10}}{Z_9 + Z_{10}}$$

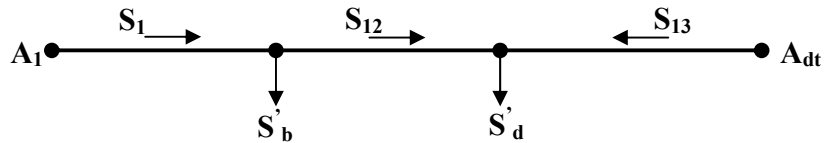
Ghép hai nguồn A_2 và A_3 thành nguồn đẳng trị (A_{dt}) theo phương pháp biến đổi mạng đồng quy, tổng trở của nhánh đẳng trị (nhánh 13) được tính

$$Z_{13} = \frac{Z_6 \cdot Z_{11}}{Z_6 + Z_{11}}$$



Hình c

Ta trở về mạng điện kín đơn giản hai nguồn cung cấp có sơ đồ như hình d.



Hình d

Tính phân bố công suất cho mạng kín đơn giản

$$S_1 = \frac{S'_b(Z_{12} + Z_{13}) + S'_d Z_{13}}{Z_1 + Z_{12} + Z_{13}};$$

$$S_{13} = \frac{S'_d(Z_1 + Z_{12}) + S'_b Z_1}{Z_1 + Z_{12} + Z_{13}};$$

Thử lại

$$S_1 + S_{13} = S'_b + S'_d;$$

$$S_{12} = S_1 - S'_b;$$

$$S_{12} + S_{13} = S'_d$$

Đoạn 1 không biến đổi nên S_1 tìm được chính là công suất truyền tải trên đoạn 1 của mạng thực trong sơ đồ ban đầu.

Bước 2: Hoàn nguyên sơ đồ

Hoàn nguyên sơ đồ được thực hiện từ mạng kín đơn giản, quay ngược lại theo các bước đã biến đổi để trở về sơ đồ ban đầu.

Từ sơ đồ hình d, trở lại sơ đồ hình c, hoàn nguyên mạng đồng quy

$$S_{11} = S_{13} \frac{Z_{13}}{Z_{11}}; \quad S_6 = S_{13} \frac{Z_{13}}{Z_6};$$

Kiểm tra lại $S_{11} + S_6 = S_{13}$ và $S_{11} + S_6 + S_{12} = S'_d$

S_6 ứng với công suất truyền tải trên đoạn 6 của mạng thực. Trở lại sơ đồ hình b, ta tìm công suất trên các đoạn song song 9 và 10

$$S_9 = S_{12} \frac{Z_{12}}{Z_9}; \quad S_{10} = S_{12} \frac{Z_{12}}{Z_{10}};$$

Kiểm tra lại $S_9 + S_{10} = S_{12}$ và $S_{11} + S_6 + S_9 + S_{10} = S'_d$

Trở lại sơ đồ hình a, tính công suất truyền tải trên các đoạn còn lại của mạng thực ban đầu.

$$\begin{aligned} S_7 &= S_{11} - S''_{dn}; & S_8 &= S_{11} + S_{A1n} \\ S_5 &= S_{10} - S''_{dn}; & S_4 &= S_{10} + S'_{bn} \\ S_2 &= S_9 + S'_{bn}; & S_3 &= S_9 - S'_{dn} \end{aligned}$$

Kiểm tra:

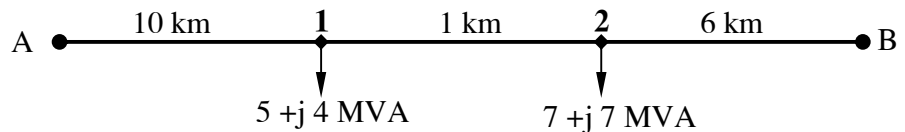
$$S_6 + S_7 + S_3 + S_5 = S_d; \quad S_1 = S_b + S_2 + S_4$$

Trong tính toán, nếu mạng đã cho có tiết diện các đoạn bằng nhau, đồng nhất thì ta vẫn tính theo các biểu thức trên nhưng thay tổng trở Z bằng chiều dài của đường dây.

Ví dụ 4

Một mạng điện kín có điện áp định mức $U_{dm} = 35$ kV cung cấp cho hai phụ tải có công suất như trên sơ đồ hình vẽ a. Hao tổn điện áp cho phép của mạng trong chế độ làm việc bình thường $\Delta U_{cp} = 4\%$ và hao tổn điện áp cho phép trong chế độ sự cố $\Delta U_{cpSC} = 12\%$. Toàn bộ đường dây dùng một tiết diện, sử dụng dây dẫn bằng thép nhôm có khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn là $D_{tb} = 3,5$ m. điện áp hai nguồn bằng nhau về trị số và góc pha và bằng 35 kV. Tính tiết diện dây dẫn của đường dây.

Giải



Hình a

1- Xác định sự phân bố công suất trong mạng với $U_A = U_B$

Do mạng có tiết diện không đổi, có $D_{tb} = 3,5$ m nên sự phân bố công suất của mạng phụ thuộc vào chiều dài, sự phân bố công suất tác dụng và phản kháng được tính riêng rẽ.

$$S_{A1} = P_{A1} + j Q_{A1} = \frac{\sum s_i Z_i''}{Z_\Sigma} = \frac{\sum s_i l_i''}{l_\Sigma} = \frac{\sum p_i l_i''}{l_\Sigma} + j \frac{\sum q_i l_i''}{l_\Sigma}$$

$$S_{A1} = \left(\frac{p_1 l_{1B} + p_2 l_{2B}}{l_\Sigma} \right) + j \left(\frac{q_1 l_{1B} + q_2 l_{2B}}{l_\Sigma} \right)$$

$$S_{A1} = \left(\frac{5 \cdot 7 + 7 \cdot 6}{17} \right) + j \left(\frac{4 \cdot 7 + 7 \cdot 6}{17} \right) = 4,53 + j 4,12 \text{ MVA}$$

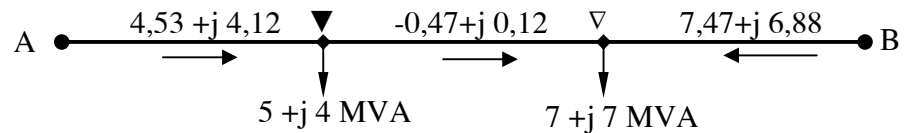
Có thể dùng biểu thức để tính tiếp công suất phát ra từ nguồn B (S_{B2})

$$S_{B2} = \frac{\sum s_i l_i'}{l_\Sigma} = \left(\frac{5 \cdot 10 + 7 \cdot 11}{17} \right) + j \left(\frac{4 \cdot 10 + 7 \cdot 11}{17} \right) = 7,47 + j 6,88 \text{ MVA}$$

Công suất trên đoạn giữa: $S_{12} = S_{A1} - s_1 = (4,53 + j 4,12) - (5 + j 4) = -0,47 + j 0,12 \text{ MVA}$.

Ta thấy, tại điểm 1 công suất tác dụng đổi dấu, đó chính là điểm phân công suất tác dụng. Điểm 2 sẽ là điểm phân công suất phản kháng.

Ấp đồ mạng điện thể hiện điểm phân công suất cho trên hình b.



Hình b

Do có hai điểm phân công suất nên

ta chưa biết điểm nào có điện áp thấp nhất trên mạng.

Để xác định tiết diện dây dẫn, ta có thể tách mạng kín ở điểm

1 hoặc điểm 2, thường người ta tách mạng ở điểm phân công suất tác dụng (điểm 1).

Chọn sơ bộ giá trị $x_0 = 0,4 \Omega/\text{km}$

$$\Delta U_{cp} = 4\% = \frac{4 \cdot 35000}{100} = 1.400 \text{ V} = 1,4 \text{ kV}$$

$$\Delta U_p = \frac{x_0 \cdot Q_{A1} \cdot l_{A1}}{U_{dm}} = \frac{0,4 \cdot 4,12 \cdot 10}{35} = 0,47 \text{ kV}$$

$$\Delta U_{acp} = \Delta U_{cp} - \Delta U_p = 1,4 \text{ kV} - 0,47 \text{ kV} = 0,93 \text{ kV}$$

Tiết diện dây dẫn được xác định theo biểu thức

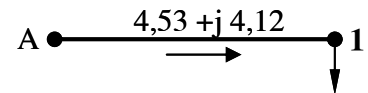
$$F = \frac{P_{A1} l_{A1}}{\gamma \cdot U_{dm} \cdot \Delta U_{acp}} = \frac{4,53 \cdot 10 \cdot 10^3}{31,7 \cdot 0,93 \cdot 35} = 43,9 \text{ mm}^2$$

Ta chọn tiết diện dây dẫn quy chuẩn AC 50 cho toàn bộ đường dây.

Với dây AC50, tra bảng có $r_0 = 0,65 \Omega/\text{km}$; $x_0 = 0,428 \Omega/\text{km}$

Tính và kiểm tra hao tổn điện áp trong chế độ làm việc bình thường

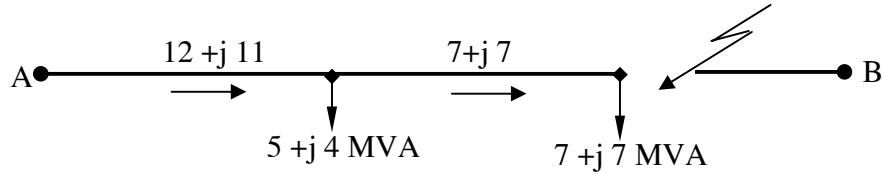
$$\Delta U_{tt} = \frac{\sum PR + \sum QX}{U_{dm}} = \frac{(4,53 \cdot 0,65 + 4,12 \cdot 0,428) \cdot 10}{35} = 1,345 \text{ kV} < \Delta U_{cp} = 1,4 \text{ kV}$$



Hình c

Xác định hao tổn điện áp trong chế độ sự cố

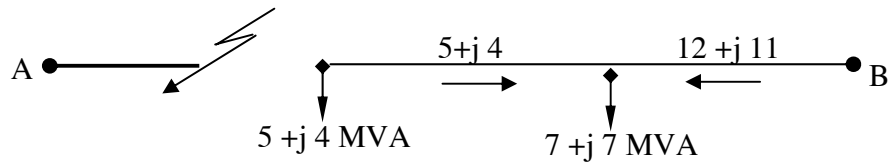
Khi sự cố mất nguồn B thể hiện trong sơ đồ hình c



Hình c

Hao tổn điện áp trong chế độ sự cố khi mất nguồn B

$$\Delta U_{A-2} = \frac{\sum PR + \sum QX}{U_{dm}} = \frac{(12 \cdot 10 + 7 \cdot 1)0,65 + (11 \cdot 10 + 7 \cdot 1)0,428}{35} = 3,789 \text{ kV}$$



Hình d

Hao tổn điện áp trong chế độ sự cố khi mất nguồn A

$$\Delta U_{A-2} = \frac{\sum PR + \sum QX}{U_{dm}} = \frac{(12 \cdot 6 + 5 \cdot 1) \cdot 0,65 + (11 \cdot 6 + 4 \cdot 1) \cdot 0,428}{35} = 2,286 \text{ kV}$$

Vậy hao tổn điện áp trong chế độ sự cố

$$\Delta U_{\max SC} = 3,789 \text{ kV} < \Delta U_{\text{cp} SC} = 12\% = \frac{12 \cdot 35}{100} = 4,2 \text{ kV}.$$

CHƯƠNG 6

ĐỘ LỆCH ĐIỆN ÁP VÀ TỔN THẤT ĐIỆN ÁP CHO PHÉP

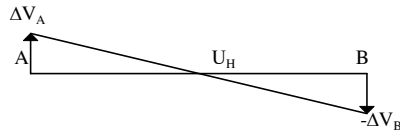
Chương này trình bày các phương pháp xác định tổn thất điện áp cho phép (ΔU_{cp}) dựa vào độ lệch điện áp cho phép và thành phần thiết bị trong hệ thống điện, giúp việc tính toán tiết diện dây dẫn hợp lý, đảm bảo chất lượng điện và kinh tế nhất.

§ 6-1. ĐỘ LỆCH ĐIỆN ÁP VÀ ẢNH HƯỞNG TỚI SỰ LÀM VIỆC CỦA THU ĐIỆN

Phụ tải điện luôn luôn thay đổi theo thời gian. Vì vậy tổn thất điện áp trên đường dây và điện áp tại thụ điện cũng thay đổi theo. Sự thay đổi có tính chất thường xuyên liên tục của điện áp tại một điểm so với điện áp định mức gọi là độ lệch điện áp (ký hiệu là ΔV). Độ lệch điện áp là hiệu đại số của điện áp tại điểm đã cho trong chế độ đã cho so với điện áp định mức của mạng. Độ lệch điện áp có thể tính bằng Vôn hay biểu thị theo % so với điện áp định mức.

$$\Delta V = U - U_{dm}$$

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{U_{dm}} 100 = \frac{U - U_{dm}}{U_{dm}} 100$$



Hình 6-1. Độ lệch điện áp trên đường dây

Xét một đoạn đường dây AB như hình 6-1

Độ lệch điện áp tại đầu đường dây (điểm A) và cuối (điểm B) của đường dây phụ tải phân bố đều và tiết diện không đổi (hình 6-1) có giá trị là:

$$\Delta V_A = U_A - U_{dm} \tag{6-1}$$

$$\Delta V_B = U_B - U_{dm} \tag{6-2}$$

U_A, U_B - Là điện áp tại điểm A và điểm B (V);

U_{dm} - là điện áp định mức của mạng điện (V).

$$\Delta V_A - \Delta V_B = (U_A - U_{dm}) - (U_B - U_{dm}) = U_A - U_B = \Delta U_{AB} \tag{6-3}$$

Như vậy, tổn thất điện áp chính bằng hiệu số giữa độ lệch điện áp của điểm đầu và cuối đường dây.

Thực tế vận hành cho thấy, phụ tải cực đại (S_{max}) chỉ xảy ra trong một số giờ không lớn lắm hàng năm còn phụ tải cực tiểu (S_{min}) chiếm số giờ khá lớn nhưng ít khi giảm quá 25% phụ tải cực đại ($S_{min} \geq 25\% S_{max}$). Tuy nhiên trong thiết kế và quy hoạch, nếu có điều kiện cần xác định chính xác các giá trị S_{max} và S_{min} căn cứ vào đồ thị phụ tải thu thập được, có như vậy việc tính toán hao tổn điện áp cho phép mới chính xác. Trong tính toán mạng điện, khi không có đồ thị tải, người ta thường căn cứ vào 2 trường hợp là 100% S_{max} và 25% S_{max} . Theo " quy phạm trang bị điện " để cho thiết bị làm việc bình thường thì điện áp trên các cực thụ điện được quy định như sau:

Mạng cung cấp cho các động cơ điện trong XNCN

$$-5\% \leq \Delta V \leq + 10\%$$

Mạng chiếu sáng cho các XNCN và chiếu sáng công cộng

$$-2,5\% \leq \Delta V \leq + 5\%$$

Mạng cung cấp cho các thiết bị điện ở thành phố, xí nghiệp

$$-5\% \leq \Delta V \leq +5\%$$

Mạng điện cung cấp cho các XN nông nghiệp và nông thôn

$$-7,5\% \leq \Delta V \leq +7,5\%$$

Như vậy, đối với mạng điện nông nghiệp thì độ lệch điện áp không tăng quá +7,5% khi S_{\min} và không giảm quá -7,5% khi S_{\max} so với U_{dm} .

Khi tải cực đại tổn thất điện áp lớn nhất đối với những thụ điện ở cuối đường dây, nghĩa là độ lệch điện áp ở thụ điện xa nhất (điểm B) là thấp nhất, theo quy phạm thì:

$$\Delta V_{CP}^{100} \geq -7,5\% U_{dm} \quad (6-4)$$

Khi tải cực tiểu (25% S_{\max}) điện áp ở các thụ điện gần nhất (như điểm A gần thanh cái trạm) có thể vượt quá U_{dm} , theo quy phạm thì:

$$\Delta V_{CP}^{25} \leq +7,5\% U_{dm} \quad (6-5)$$

ΔV_{CP}^{100} và ΔV_{CP}^{25} - là độ lệch điện áp cho phép khi tải max và min.

Độ lệch điện áp có ảnh hưởng rất lớn đến sự làm việc của thụ điện. Nhạy cảm nhất là đèn chiếu sáng. Đối với đèn sợi đốt khi tăng giảm $\pm 1\% U_{dm}$ thì thay đổi công suất là $\pm 1,5\%$, quang thông $\pm 3,4\%$, cường độ sáng $\pm 1,8\%$ và thời gian sử dụng là $\pm 1,3\%$. Khi điện áp tăng quá $5\% U_{dm}$ thì thời gian sử dụng của đèn giảm đến 3 lần còn khi U giảm $5\% U_{dm}$ thì quang thông giảm 17,5%. Đèn huỳnh quang chịu ảnh hưởng của ΔV ít hơn so với đèn sợi đốt. Trung bình U_{dm} thay đổi $\pm 1\%$ thì quang thông thay đổi $\pm 1\%$ và cường độ sáng thay đổi $\pm 0,5\%$. Khi U giảm còn $93,9\% U_{dm}$ thì việc mỗi đèn đã gặp khó khăn. Những dụng cụ đốt nóng như lò sưởi, bếp điện... có công suất tỷ lệ với bình phương của thay đổi điện áp nhưng ít ảnh hưởng đến sinh hoạt. Đặc biệt, mô men quay động cơ tỷ lệ thuận với bình phương U cho lên nếu U giảm quá động cơ có thể không khởi động được. Vì vậy mạng điện phải được tính toán sao cho ΔV ở các cực thụ điện nằm trong giới hạn cho phép.

§ 6-2. ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THIẾT BỊ ĐIỆN TỚI ĐỘ LỆCH ĐIỆN ÁP

Khi có sự thay đổi điện áp ở các thiết bị điện như máy phát điện, máy biến áp tăng hạ áp, đường dây thì độ lệch điện áp ở thụ điện (ΔV_{td}) cũng thay đổi theo.

1. Ảnh hưởng của máy phát điện

Phần lớn máy phát điện của các trạm phát điện đều có cơ cấu tự động điều chỉnh điện áp. Điện áp trên cực của máy phát điện thường được giữ không đổi và cao hơn điện áp định mức (U_{dm}) của mạng là 5% cả khi tải max và tải min.

Độ lệch điện áp của máy phát điện có giá trị là:

$$\Delta V_{mp}^{100} = \Delta V_{mp}^{25} = +5\% \quad (6-6)$$

2. Thanh cái của trạm biến áp cung cấp

Phần lớn thụ điện nông nghiệp được cung cấp từ trạm biến áp trung gian 35/10 kV, 110/35/10(6) kV hoặc các trạm trung gian mới xây dựng với cấp điện áp 110/22 kV, 220/110/22 kV. Các máy biến áp này thường được chế tạo với dải điều chỉnh rất rộng, kèm theo các máy biến áp công suất lớn có bộ phận điều áp dưới tải, trên thanh cái thứ cấp của trạm biến áp có điều chỉnh điện áp khi phụ tải thay đổi.

Đối với máy biến áp có bộ chuyển đổi đầu phân áp cố định, thường được sản xuất ngoài một đầu chính còn có 4 đầu phân áp phụ, đầu chính có điện áp bằng định mức của cuộn sơ cấp, khi dùng các đầu phụ thì hệ số biến áp sẽ thay đổi khác hệ số biến áp định mức là + 5%, + 2,5%, -2,5%, - 5%. Điện áp định mức của cuộn thứ cấp sẽ cao hơn điện áp định mức của mạng là 5% với máy có $U_k\% < 7,5\%$ và bằng 10% với máy có $U_k\% \geq 7,5\%$. Với loại máy biến áp này, người ta không điều chỉnh điện áp liên tục theo các chế độ của phụ tải trong ngày mà thường điều chỉnh một lần theo mùa để điều áp.

Đối với máy biến áp điều áp dưới tải, tại thanh cái thứ cấp 6, 10, 15,22 kV

- Chế độ điều chỉnh cao:

$$\text{Tải cực đại} \quad \Delta V_{tc}^{100} = 5\% \quad (6-7)$$

$$\text{Tải cực tiểu} \quad \Delta V_{tc}^{25} = 0\% \quad (6-8)$$

Khi sự cố duy trì điện áp: $0 \leq \Delta V_{TC} \leq 5\%$

- Chế độ điều chỉnh thấp $+2,5\% \leq \Delta V_{TC} \leq 7,5\%$

$$\text{Tải cực đại} \quad \Delta V_{tc}^{100} \geq + 2,5\%$$

$$\text{Tải cực tiểu} \quad \Delta V_{tc}^{25} \leq + 7,5\%$$

$$\text{Khi sự cố:} \quad \Delta V_{TC} \geq -2,5\%$$

Ở các trạm biến áp khu vực dải điều chỉnh nấc của các máy biến áp thường rất rộng, có thể từ - 17,5% đến + 17,5%, sự thay đổi độ lệch giữa các nấc cũng tùy thuộc nhà sản xuất, có thể từ 1,5%, 1,78%, 2,5% ... ưu điểm của máy điều áp dưới tải là không cần cắt điện trong quá trình điều chỉnh điện áp và duy trì điện áp ở phía phụ tải một điện áp gần bằng điện áp định mức trong tất cả các trường hợp: sự cố, tải cực đại, cực tiểu... và việc điều chỉnh các đầu phân áp có thể bằng tay, tự động điều khiển hay điều khiển từ xa. Khi xác định hao tổn điện áp trong mạng, cần căn cứ vào chế độ vận hành cụ thể của trạm.

3. Dây dẫn của đường dây trên không

Tổn thất điện áp tính toán theo chế độ tải cực đại đã tính ở chương trước. Vì hao tổn điện áp gần như tỷ lệ với phụ tải nên khi tải cực tiểu, tổn thất điện áp được lấy bằng 25% hao tổn điện áp khi tải cực đại:

$$\Delta U_{dd}^{25} = 0,25 \Delta U_{dd}^{100} \quad (6-10)$$

4. Ảnh hưởng của máy biến áp tiêu thụ

Khi có phụ tải là I_1 , tổn thất điện áp trong máy biến áp là:

$$\Delta U_{BA} = \sqrt{3} I_1 (R_B \cos\varphi + X_B \sin\varphi) \quad (6-11)$$

$$\text{Với} \quad R_B = \frac{u_a\% U_{dm}^2}{100 S_{dm}}; \quad (6-12)$$

$$X_B = \frac{u_p\% U_{dm}^2}{100 S_{dm}} \quad (6-13)$$

Các thành phần điện áp ngắn mạch tác dụng và phản kháng có giá trị là:

$$u_a\% = \frac{\sqrt{3} I_{dm} R_B}{U_{dm}} = \Delta P_K \frac{100}{S_{dm}} = \Delta P_K\% \quad (6-14)$$

$$u_p\% = \sqrt{(u_k\%)^2 - (u_a\%)^2} \quad (6-15)$$

Các thành phần ΔP_K (kW), $u_k\%$ cho trong lý lịch máy theo công suất định mức của máy biến áp S_{dm} , thay vào ta có

$$\Delta U_{BA} = \sqrt{3} I_t \left(\frac{u_a \% U_{dm}^2}{100 S_{dm}} \cos \varphi + \frac{u_p \% U_{dm}^2}{100 S_{dm}} \sin \varphi \right) \quad (6-16)$$

$$\Delta U_{BA} = U_{dm} \frac{S_t}{100 S_{sm}} (u_a \% \cos \varphi + u_p \% \sin \varphi) \quad (V) \quad (6-17)$$

$$\Delta U \%_{BA} = \frac{\Delta U_{BA}}{U} 100 \quad \Delta U \%_{BA} = \frac{S_t}{S_{dm}} (u_a \% \cos \varphi + u_p \% \sin \varphi) \% \quad (6-18)$$

Khi không có số liệu chính xác của máy biến áp thì hao tổn trong máy biến áp thường lấy bằng 4%.

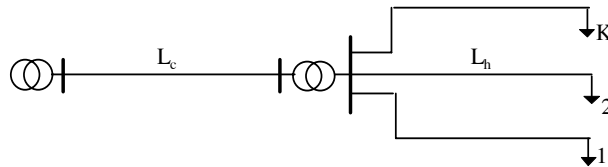
Trong máy biến áp tiêu thụ, ngoài tổn thất còn có độ gia điện áp. Khi chế tạo MBA, ngoài nấc chính 0 thường có thêm 2 đầu phân áp +5% và -5%. Khi sử dụng nấc chính (nấc 0), cuộn thứ cấp của máy biến áp được chế tạo có độ gia không đổi là 5%, nếu điều chỉnh kết hợp với các nấc thì tùy theo cách đặt nấc điều chỉnh mà độ gia là 0%, 5% hay 10% (nấc -5% thì độ gia là 10%, nấc 0 là +5% và nấc +5% là 0%).

§ 6-3. PHÂN CHIA TỔN THẤT ĐIỆN ÁP CHO PHÉP GIỮA MẠNG ĐIỆN CAO ÁP VÀ HẠ ÁP

Bằng cách chọn độ gia điện áp của các máy biến áp một cách hợp lý và lập bảng độ lệch điện áp, ta xác định được hao tổn điện áp cho phép. Trong nhiều trường hợp giá trị này là tổng của cả mạng cao và hạ áp. Việc phân chia hao tổn điện áp cho phép giữa mạng cao và hạ áp là một bài toán phức tạp và phụ thuộc nhiều yếu tố. Phần lớn các mạng điện việc phân chia chúng được tính toán một cách cụ thể. Cơ sở để phân chia là dựa vào điều kiện kinh tế.

Giả sử một đường dây cao áp chiều dài L_c cung cấp cho k tuyến dây hạ áp, chiều dài một tuyến là L_h (hình 6-6)

Hình 6-6.
Sơ đồ mạng điện
có 2 cấp điện áp



Thể tích của kim loại làm dây dẫn là:

$$V = F.L = \frac{\sqrt{3} I \cos \varphi . L^2}{\gamma \Delta U_{acp}} = \frac{\sqrt{3} I \cos \varphi . L^2 100}{\gamma U_{dm} \Delta U_{acp} \%} \quad (6-19)$$

Dùng chỉ số c - cho mạng cao áp và h - cho mạng hạ áp. Khi coi hai mạng cao và hạ áp cùng sử dụng một loại vật liệu (nhôm) và hệ số $\cos \varphi$ như nhau, tổng thể tích kim loại cho mạng cao áp và hạ áp là:

$$V = V_c + V_h = \frac{n_c \sqrt{3} I_c L_c^2 100}{\gamma (\Delta U_{acp} \% - \Delta U_{ah} \%) U_c} + k \frac{n_h \sqrt{3} I_h L_h^2 100}{\gamma \Delta U_{ah} \% U_h} \quad (6-20)$$

n_c và n_h - là số dây dẫn của mạng cao áp và hạ áp;

k - là số tuyến dây của mạng điện hạ áp;

$\Delta U_{ac}\%$ và $\Delta U_{ah}\%$ - là tổn thất điện áp cho phép tác dụng tổng cộng và hạ áp:
 $\Delta U_{ac}\% = \Delta U_{acp}\% - \Delta U_{ah}\%$;

I_c và I_h - là dòng điện cao và hạ áp.

L_c, L_h là chiều dài đường dây cao áp và chiều dài trung bình các tuyến hạ áp

Cơ sở phân chia ΔU_{acp} là chi phí kim loại cực tiểu. Lấy đạo hàm V theo $\Delta U_{ah}\%$ và cho bằng không được:

$$-n_c \frac{100\sqrt{3}I_c L_c^2}{\gamma(\Delta U_{acp}\% - \Delta U_{ah}\%)^2 U_c} + k.n_h \frac{100\sqrt{3}I_h L_h^2}{\gamma(\Delta U_{ah}\%)^2 U_h} = 0$$

suy ra:
$$\frac{\Delta U_{ac}\%}{\Delta U_{ah}\%} = \frac{L_c}{L_h} \sqrt{\frac{n_c I_c U_h}{K n_h I_h U_c}} \quad (6-21)$$

Nếu $\frac{I_c}{K I_h} = \frac{U_h}{U_c}$ thì
$$\frac{\Delta U_{ac}\%}{\Delta U_{ah}\%} = \frac{U_h L_c}{U_c L_h} \sqrt{\frac{n_c}{n_h}} \quad (6-22)$$

Để tìm ΔU_{ac} và ΔU_{ah} ta giải hệ phương trình:

$$\begin{cases} \Delta U_{ac} + \Delta U_{ah} = \Delta U_{acp} \\ \frac{\Delta U_{ac}}{\Delta U_{ah}} = \frac{U_h L_c}{U_c L_h} \sqrt{\frac{n_c}{n_h}} \end{cases} \quad (6-23)$$

hay
$$\begin{cases} \Delta U_{cpC} + \Delta U_{cpH} = \Delta U_{cp\Sigma} \\ \frac{\Delta U_{cpC} - \Delta U_{pc}}{\Delta U_{cpH} - \Delta U_{pH}} = \frac{U_h L_c}{U_c L_h} \sqrt{\frac{n_c}{n_h}} \end{cases} \quad \text{với } \Delta U_p = \frac{x_0 \cdot \sum QI}{U_{dm}} = x_0 \sqrt{3} \Sigma I_p.l$$

Xác định giá trị của ΔU_p đối với lưới cao và hạ áp bằng cách lấy một giá trị gần đúng của x_0 để tính. Đối với lưới hạ áp lấy $x_0 = 0,32 - 0,34 \Omega/\text{km}$, lưới 6, 10kV lấy $x_0 = 0,36 - 0,37 \Omega/\text{km}$, lưới 15 kV lấy $x_0 = 0,38 - 0,39 \Omega/\text{km}$, lưới 22 kV lấy $x_0 = 0,39 - 0,4 \Omega/\text{km}$, lưới 35 kV lấy $x_0 = 0,4 - 0,41 \Omega/\text{km}$, lưới 110 kV lấy $x_0 = 0,41 - 0,42 \Omega/\text{km}$. Trường hợp đường dây có nhiều tuyến thì tính cho tuyến có giá trị ΔU_p lớn nhất.

Để thuận tiện tính toán, gần đúng người ta coi biểu thức (6 - 23) trên được tính với chính hao tổn điện áp cho phép của mạng cao và hạ áp.

Chó ý:

1. Khi phụ tải của đường dây hạ áp phân bố đều thì đoạn cuối tiết diện dây dẫn có thể giảm đi. Tính trung bình chiều dài L_h giảm đi $\sqrt{2}$ lần ta có:

$$\frac{\Delta U_{ac}}{\Delta U_{ah}} = \frac{U_h L_c}{U_c L_h} \sqrt{\frac{2n_c}{n_h}} \quad (6-24)$$

2. Đối với đường dây phân nhánh

Sự phân chia ΔU_{acp} cần phải có các bước tính toán tỷ mỉ và rất phức tạp. Để đơn giản ta lấy chiều dài đường dây bằng chiều dài trung bình (L_{TB}) và có:

$$\frac{\Delta U_{ac}}{\Delta U_{ah}} = \frac{U_h L_{cTB}}{U_c L_{hTB}} \sqrt{\frac{n_c}{n_h}} \quad (6-25)$$

3. Đối với mạng điện trong nhà

Nếu chiều dài ngắn thì F chọn theo phương pháp đốt nóng. Nếu mạng điện khá dài thì phải phân chia ΔU_{cp} giữa đường dây ngoài trời và đường dây trong nhà một lần nữa. Bài toán trở lên rất phức tạp vì phụ tải phân tán thành một pha. Trong trường hợp phụ tải 3 pha phân bố đều đến cuối đường dây trong nhà thì ΔU_{cp} phân chia cho đường dây ngoài trời và trong nhà tỷ lệ nghịch với chiều dài mỗi đường dây.

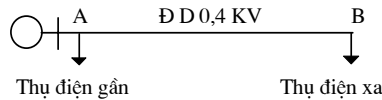
Việc xác định chính xác ΔU_{cp} theo ΔV cho phép tận dụng hết khả năng truyền đạt của "Quy trình trang bị điện". Nhờ đó mạng điện được xây dựng với chi phí kim loại ít nhất. Với tầm quan trọng như thế nhất thiết phải xác định ΔU_{cp} . Chính bằng phương pháp này mà khi tính toán mạng điện không bị hạn chế bởi các giá trị ước chừng của hệ thống có các cấp điện áp khác nhau.

§ 6-4. TỔN THẤT ĐIỆN ÁP CHO PHÉP CỦA MẠNG ĐƯỢC CẤP ĐIỆN TỪ TRẠM PHÁT ĐIỆN NHỎ

Đây là mô hình của trạm thủy điện nhỏ hoặc trạm phát công suất nhỏ cung cấp cho nhóm phụ tải công suất không lớn, một nông trường, hợp tác xã hay các hộ tiêu thụ vùng sâu, vùng xa. Nó thích hợp với điện khí hoá nông thôn ở vùng núi không có lưới điện quốc gia.

1. Tổn thất điện áp cho phép của mạng điện từ trạm phát điện nhỏ tới đường dây hạ áp

Hình 6-2.
Trạm phát điện nhỏ với mạng điện hạ áp



Hao tổn điện áp cho phép được xác định trên cơ sở độ lệch điện áp cho phép tại thụ điện và các thành phần thiết bị cấu trúc nên hệ thống điện. Giới hạn độ lệch điện áp tại thụ điện, duy trì cho thiết bị làm việc với một chất lượng điện đảm bảo được quy định trong "Quy trình trang bị điện" gọi là độ lệch điện áp cho phép. Khi thành lập bảng độ lệch điện áp cần căn cứ vào tính chất của thụ điện trong mạng (XNCN, đô thị, mạng chiếu sáng, phụ tải điện nông nghiệp ...) mà lựa chọn giá trị cho phù hợp. Trong phạm vi của giáo trình này, ta chỉ xét đối với mạng điện nông nghiệp có độ lệch điện áp cho phép được quy định trong giới hạn $-7,5\% \leq \Delta V_{TB} \leq +7,5\%$, khi tính với các mạng điện khác cần căn cứ vào độ lệch điện áp cho phép đã quy định. Hao tổn điện áp cho phép được xét với chế độ tải cực đại, tính cho điểm B là phụ tải xa nhất, ứng với tải cực đại (100% tải) có độ lệch điện áp theo quy phạm không được vượt quá $-7,5\%$. Khi tải cực tiểu, ứng với các chế độ điều chỉnh đã lựa chọn của thiết bị điện trong hệ thống, cần kiểm tra với các thụ điện gần nhất (điểm A khi 25% tải) xem độ lệch điện áp có vượt quá giá trị cho phép hay không (với mạng nông nghiệp, quy định không vượt quá $+7,5\%$). Để thuận tiện cho việc xác định hao tổn điện áp cho phép, người ta tiến hành lập bảng độ lệch điện áp. Giả sử điện áp trên thanh cái của máy biến áp được duy trì không đổi theo các chế độ tải $\Delta V_{TC}^{100} = \Delta V_{TC}^{25} = 5\%$ (giá trị này được

xác định dựa vào chế độ làm việc của máy phát điện, khi thiết kế hoặc quy hoạch cần căn cứ vào chế độ vận hành cụ thể của máy phát).

Bảng 6-1. Tổn thất điện áp cho phép và độ lệch điện áp của mạng điện (Hình 6-2).

Thành phần thiết bị điện	Phụ tải 100% (thụ điện xa nhất)	Phụ tải 25% (thụ điện gần nhất)
Máy phát điện : ΔV_{TC}	+5	+5
Đường dây 0,4 kV : $[\Delta U_{cp}]$	(+12,5)	0
Độ lệch U cho phép tại thụ điện ΔV_{TD}	- 7,5	+5 ≤ $[\Delta V_{cp}]$

a. Xác định tổn thất điện áp cho phép $[\Delta U_{cp}]$ ở phụ tải xa (điểm B) khi S_{max} :

$$\Delta V_{TC}^{100} = +5\%; \text{ độ lệch cho phép tại B: } \Delta V_{TD}^{100} = -7,5\%$$

$$[\Delta U_{cp}] = \Delta V_{TC}^{100} - \Delta V_{TD}^{100} = +5 - (-7,5) = + 12,5\%$$

b. Kiểm tra độ lệch điện áp ở thụ điện gần (điểm A) khi tải cực tiểu và so sánh với giá trị độ lệch điện áp cho phép là $\Delta V_{TD}^{25} = + 7,5\%$, khi đó hao tổn điện áp trên đường dây 0,4 kV tính cho điểm A bằng không.

$$\Delta V_{TC}^{25} = 5\%; \Delta U_A^{25} = 0\%$$

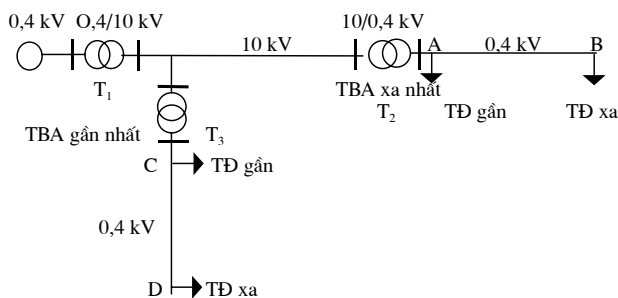
$$\Delta V_A^{25} = \Delta V_{TD}^{25} - \Delta U_A^{25} = +5 - 0 = 5\% \leq [\Delta V_A] = 7,5\%.$$

Kết quả tính toán thể hiện trong bảng 6-1:

2. Tổn thất điện áp cho phép của mạng điện từ trạm phát điện nhỏ qua máy tăng áp và mạng phân phối tới lưới điện hạ áp (hình 6-3)

+ Khi duy trì điện áp trên cực máy phát không đổi

Xét mạng điện được cung cấp từ máy phát điện, qua máy biến áp tăng áp để nâng điện áp lên 10 kV, truyền tải đi trong phạm vi 5 - 20 km cung cấp cho một số trạm biến áp tiêu thụ. Từ thanh cái của trạm tăng áp, có thể có một số tuyến đường dây trung áp, ta xét cho một tuyến đường dây để xác định hao tổn điện áp cho phép. Giả sử tuyến dây xét có sơ đồ như hình vẽ 6-3. Trên tuyến dây, có một trạm biến áp ở gần thanh cái trạm tăng áp nhất và một trạm ở xa nhất.



Hình 6-3.
Mạng điện phân phối của trạm phát điện nhỏ

Giả thiết, đoạn đường dây cao áp đến trạm xa nhất $L = 10$ km, MBA T_3 gần trạm cách thanh cái trạm tăng áp $l = 2$ km. Hai trạm đều có chiều dài trung bình đường dây hạ áp các tuyến là 0,8 km và dây trung tính có tiết diện bằng dây pha. Trong chế độ vận hành thực tế, máy phát điện luôn có độ gia điện áp tại thanh cái là không đổi: $\Delta V_{mp} = +5\%$ và máy biến áp tăng áp có độ gia điện áp không đổi trên thanh cái: $\Delta V_{TA} = 0\%$

a. Chọn độ gia hợp lý của các máy biến áp T_2

$$\Delta V_{T_2}^{100} = \Delta V_{T_2}^{25} = +5\% \text{ ở mọi chế độ tải.}$$

b. Chọn độ gia hợp lý của các máy biến áp T_3

$$\Delta V_{T_3}^{100} = \Delta V_{T_3}^{25} = 0 \text{ ở mọi chế độ tải.}$$

Độ gia điện áp của các máy biến áp tiêu thụ được chọn với giá trị lớn nhất có thể nhằm mục đích hao tổn điện áp cho phép tổng cộng trên hai tuyến dây là lớn nhất (khi đó chi phí kim loại màu cho các tuyến dây là nhỏ nhất vì chi phí kim loại màu tỷ lệ nghịch với hao tổn điện áp cho phép) và được giữ không đổi ở các chế độ tải. Xác định độ gia điện áp của các máy biến áp phải kiểm tra khi tải cực tiểu, độ lệch điện áp tại thụ điện gần nhất không vượt quá độ lệch cho phép (mạng nông nghiệp với giá trị cho phép là $+7,5\%$).

Khi không biết thông số và phụ tải của MBA, tổn thất điện áp của máy biến áp tăng áp và hạ áp lấy gần đúng:

$$\Delta U_{BA}^{100} = -4\%; \Delta U_{BA}^{25} = 0,25\Delta U_{BA}^{100} = -1\%.$$

c. Thành lập bảng độ lệch điện áp và xác định tổn thất điện áp cho phép.

Các số liệu được ghi vào bảng 6-2.

Bảng 6-2. Độ lệch điện áp và tổn thất điện áp cho phép của mạng điện (Hình 6-3)

Thành phần thiết bị điện	Mức phụ tải (%) của máy biến áp			
	MBA xa nhất T_2		MBA gần nhất T_3	
	100	25	100	25
1. Máy phát điện: ΔV_{mp}	5	5	5	5
2. Máy biến áp T_1 :				
Độ gia điện áp : ΔV_T	0	0	0	0
Tổn thất điện áp: ΔU_{BAT}	-4	-1	-4	-1
3. Tổn thất U cho phép lưới 10 kV: ΔU_{cp10}	(-2,9)	(-0,725)	(-0,58)	(-0,145)
4. Máy biến áp tiêu thụ:				
Độ gia điện áp: ΔV_H	5	5	0	0
Tổn thất điện áp: ΔU_{BAH}	-4	-1	-4	-1
5. Tổn thất U cho phép lưới 0,4 kV: $\Delta U_{cp0,4}$	(-6,6)	0	(-3,92)	0
6. Độ lệch U cho phép tại thụ điện ΔV_{TD}	-7,5	(+7,275%) < $[\Delta V]_{cp}$	-7,5	(+2,85%) < $[\Delta V]_{cp}$

d. Xác định ΔU_{cp} tăng cồng của mạng 10 và 0,4 kV (chỉ ví dụ máy biến áp xa T_2)

$$\begin{aligned} \Delta U_{cp\Sigma} &= \Delta U_{cp10} + \Delta U_{cp0,4} = \Delta V_{mp}^{100} + \Delta V_T^{100} + \Delta U_{BAT}^{100} + \Delta V_H^{100} + \Delta U_{BAH}^{100} - \Delta V_{TD}^{100} \\ &= 5 + 0 - 4 + 5 - 4 - (-7,5) = 9,5 (\%). \end{aligned}$$

$\Delta U_{cp\Sigma}$ cần được phân phối một cách có lợi nhất giữa các cấp điện áp khác nhau. Nó phải được tính toán cụ thể, ở đây ta tạm thời phân chia $\Delta U_{cp\Sigma}$ cho mạng 10 kV và mạng 0,4 kV theo cách tính gần đúng.

Khi không biết phụ tải của trạm tiêu thụ, gần đúng ta có thể áp dụng biểu thức 6-23 để tính ΔU_{cp} các tuyến

$$\begin{cases} \Delta U_{cpC} + \Delta U_{cpH} = 9,5\% \\ \frac{\Delta U_{cpC}}{\Delta U_{cpH}} = \frac{0,4 \cdot 10}{10 \cdot 0,8} \sqrt{\frac{3}{4}} = 0,433 \end{cases}$$

Giải ra ta có $\Delta U_{cpC} = 2,9\%$, $\Delta U_{cpH} = 6,6\%$

c. Kiểm tra độ lệch điện áp tại thụ điện gần (điểm A) khi phụ tải cực tiểu: Việc lựa chọn độ gia điện áp của máy T_2 chỉ hợp lý khi kiểm tra độ lệch điện áp tại thụ điện gần cho máy T_2 (điểm A) là không vượt quá giá trị cho phép. Khi kiểm tra cho điểm A, hao tổn trên đường dây 0,4 kV lấy bằng không.

$$\Delta V_A^{25} = \Delta V_{mp} + \Delta V_T + \Delta U_{BAT} + \Delta V_{10} + \Delta V_H + \Delta U_{BAH} - \Delta V_{TD}$$

$$\Delta V_A = 5 + 0 - 1 - 0,725 + 5 - 1 - 0 = +7,275\% < [\Delta V]_{cp} = +7,5\% \rightarrow \text{đảm bảo.}$$

$$\text{Trong đó: } \Delta U_{10}^{25} = 0,25 \Delta U_{cp10}^{100} = 0,25 \cdot 2,9\% = 0,725\%.$$

Kết quả ghi như cột 2-3 ở bảng 6-2.

g. Xác định ΔU_{cp} của mạng 0,4 kV (đối với máy biến áp gần nhất T_3).

Khi đã có hao tổn điện áp trên đường dây 10 kV (được tính với trạm xa nhất) là 2,9%, ta coi hao tổn điện áp cho phép trên đoạn từ thanh cái trạm tăng áp đến máy biến áp gần nhất tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng, khi đó

$$\frac{\Delta U_{cp10xa}}{\Delta U_{cp10gan}} \approx \frac{L}{l} \quad \text{hay} \quad \frac{2,9}{\Delta U_{cp10gan}} \approx \frac{10}{2} \quad \text{và} \quad \Delta U_{cp10gan} = 0,58\%$$

$$\Delta U_{cp0,4gan} = \Delta V_{mp}^{100} + \Delta V_T^{100} + \Delta U_{BAT}^{100} + \Delta U_{cp10gan}^{100} + \Delta V_H^{100} + \Delta U_{BAH}^{100} + \Delta V_{TD}^{100}$$

$$\Delta U_{cp0,4gan} = 5 + 0 - 4 - 0,58 + 0 - 4 - (-7,5) = 4,5(\%).$$

h. Kiểm tra ΔV tại thụ điện gần (điểm C) khi tải min

$$\Delta V_C^{25} = \Delta V_{mp} + \Delta V_T + \Delta U_{BAT} + \Delta U_{10gan} + \Delta V_H + \Delta U_{BAH} - \Delta V_{TD}$$

$$\Delta V_C^{25} = 5 + 0 - 1 - 0,145 + 0 - 1 - 0 = 2,855(\%) < [\Delta V]_{cp} = 7,5\%$$

Kết quả ghi như cột 4-5 ở bảng 6-2.

Ta thấy rằng đối với mạng điện phân phối cung cấp từ trạm phát điện nhỏ, với chế độ vận hành như trên thì ΔU_{cp} rất thấp dẫn đến tiết diện dây dẫn lớn hoặc là bán kính hoạt động của mạng điện nhỏ mới bảo đảm bảo chất lượng điện áp.

+ Khi thay đổi điện áp trên cực máy phát

Cũng với chế độ vận hành của hệ thống như trên, ta chỉ thay đổi điện áp trên cực của máy phát theo chế độ tải. Cụ thể: khi tải cực đại duy trì điện áp trên cực máy phát là + 5%, khi tải cực tiểu, điện áp trên cực máy phát là 0%.

a. Chọn độ gia hợp lý của các máy biến áp T_2

Comment [DB1]:

- $\Delta V_{T_2}^{100} = \Delta V_{T_2}^{25} = +10\%$ ở mọi chế độ tải.
 b. Chọn độ gia hợp lý của các máy biến áp T_3
 $\Delta V_{T_2}^{100} = \Delta V_{T_2}^{25} = +5\%$ ở mọi chế độ tải.
 C. Thành lập bảng độ lệch điện áp

Bảng 6-3. Độ lệch điện áp và tổn thất điện áp cho phép của mạng điện (Hình 6-3)

Thành phần thiết bị điện	Mức phụ tải (%) của máy biến áp			
	MBA xa nhất T_2		MBA gần nhất T_3	
	100	25	100	25
1. Máy phát điện: ΔV_{mp}	5	0	5	0
2. Máy biến áp T_1 :				
Độ gia điện áp : ΔV_T	0	0	0	0
Tổn thất điện áp: ΔU_{BAT}	-4	-1	-4	-1
3. Tổn thất U cho phép lưới 10 kV: ΔU_{cp10}	(-4,4)	(-1,1)	(-0,88)	(-0,22)
4. Máy biến áp tiêu thụ:				
Độ gia điện áp: ΔV_H	+10	+10	+5	+5
Tổn thất điện áp: ΔU_{BAH}	-4	-1	-4	-1
5. Tổn thất U cho phép lưới 0,4 kV: $\Delta U_{cp0,4}$	(-10,1)	0	(-8,62)	0
6. Độ lệch U cho phép tại thụ điện ΔV_{TD}	-7,5	(+6,9%)	-7,5	(+2,78%)
		$< [\Delta V]_{cp}$		$< [\Delta V]_{cp}$

d. Xác định ΔU_{cp} tầng cáp của mạng 10 và 0,4 kV (ví dụ máy biến áp xa T_2)

$$\Delta U_{cp\Sigma} = \Delta U_{cp10} + \Delta U_{cp0,4} = \Delta V_{mp}^{100} + \Delta V_T^{100} + \Delta U_{BAT}^{100} + \Delta V_H^{100} + \Delta U_{BAH}^{100} + \Delta V_B^{100}$$

$$= 5 + 0 - 4 + 10 - 4 - (-7,5) = 14,5 (\%)$$

$\Delta U_{cp\Sigma}$ cần được phân phối một cách có lợi nhất giữa các cấp U khác nhau. Nó phải được tính toán cụ thể, ở đây ta tạm thời phân chia ΔU_{Σ} cho mạng 10 kV và mạng 0,4 kV là theo cách tính gần đúng.

Khi không biết phụ tải của trạm tiêu thụ, gần đúng ta có thể áp dụng biểu thức 6-23 để tính ΔU_{cp} các tuyến

$$\begin{cases} \Delta U_{cpC} + \Delta U_{cpH} = 14,5\% \\ \frac{\Delta U_{cpC}}{\Delta U_{cpH}} = \frac{0,4 \cdot 10}{10 \cdot 0,8} \sqrt{\frac{3}{4}} = 0,433 \end{cases}$$

Giải ra ta có $\Delta U_{cpC} = 4,4\%$, $\Delta U_{cpH} = 10,1\%$

e. Kiểm tra độ lệch U tại thụ điện gần (điểm A) khi phụ tải min: Việc lựa chọn độ gia điện áp của máy T_2 chỉ hợp lý khi kiểm tra độ lệch điện áp tại thụ điện gần cho máy T_2 (điểm A) là không vượt quá giá trị cho phép. Khi kiểm tra cho điểm A, hao tổn trên đường dây 0,4 kV lấy bằng không.

$$\Delta V_A^{25} = \Delta V_{mp} + \Delta V_T + \Delta U_{BAT} + \Delta V_{10} + \Delta V_H + \Delta U_{BAH} - \Delta V_{TD}$$

$$\Delta V_A = 0 + 0 - 1 - 1,1 + 10 - 1 - 0 = +6,9\% < [\Delta V]_{cp} = +7,5\% \rightarrow \text{đảm bảo.}$$

Trong đó: $\Delta U_{10}^{25} = 0,25 \Delta U_{cp10}^{100} = 0,25 \cdot 4,4\% = 1,1\%$.

Kết quả ghi như cột 2-3 ở bảng 6-3.

g. Xác định ΔU_{cp} của mạng 0,4 kV (đối với máy biến áp gần nhất T_3).

Khi đã có hao tổn điện áp trên đường dây 10 kV (được tính với trạm xa nhất) là 4,4%, ta coi hao tổn điện áp cho phép trên đoạn từ thanh cái trạm tăng áp đến máy biến áp gần nhất tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng, khi đó

$$\frac{\Delta U_{cp10xa}}{\Delta U_{cp10gan}} \approx \frac{L}{l} \quad \text{hay} \quad \frac{4,4}{\Delta U_{cp10gan}} \approx \frac{10}{2} \quad \text{và} \quad \Delta U_{cp10gan} = 0,88\%$$

$$\Delta U_{cp0,4gan} = \Delta V_{mp}^{100} + \Delta V_T^{100} + \Delta U_{BAT}^{100} + \Delta U_{cp10gan}^{100} + \Delta V_H^{100} + \Delta U_{BAH}^{100} + \Delta V_{TD}^{100}$$

$$\Delta U_{cp0,4gan} = 5 + 0 - 4 - 0,88 + 5 - 4 - (-7,5) = 8,62(\%)$$

h. Kiểm tra ΔV tại thụ điện gần (điểm C) khi tải min

$$\Delta V_C^{25} = \Delta V_{mp} + \Delta V_T + \Delta U_{BAT} + \Delta U_{10gan} + \Delta V_H + \Delta U_{BAH} - \Delta V_{TD}$$

$$\Delta V_C^{25} = 0 + 0 - 1 - 0,22 + 5 - 1 - 0 = 2,78(\%) < [\Delta V]_{cp} = 7,5\%$$

Kết quả ghi như cột 4-5 ở bảng 6-3. Ta thấy, khi thay đổi chế độ vận hành thì hao tổn điện áp cho phép trên các tuyến dây hạ áp tăng lên rất nhiều, điều đó có ý nghĩa kinh tế do giảm được chi phí kim loại màu làm dây dẫn.

Comment [DB2]:

§ 6.5. TỔN THẤT ĐIỆN ÁP CHO PHÉP CỦA MẠNG ĐIỆN TỪ THANH CÁI TRẠM BIẾN ÁP TRUNG GIAN HAY KHU VỰC TỚI THỤ ĐIỆN HẠ ÁP

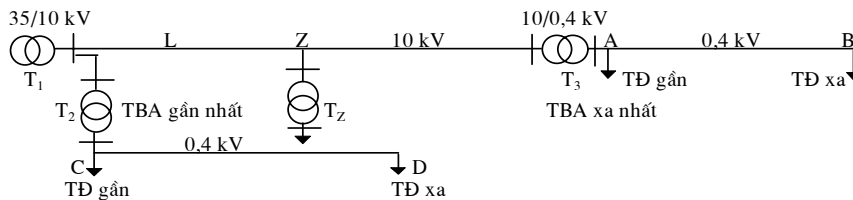
Phần lớn các thụ điện hiện nay đều được cung cấp từ thanh cái trạm biến áp trung gian, khu vực hay từ nhánh của đường dây phân phối. Các sơ đồ đưa ra ở đây là rất phổ biến và việc nghiên cứu, xác định ΔU_{cp} có ý nghĩa lớn trong thực tế.

1. Tổn thất điện áp cho phép của mạng điện cung cấp từ thanh cái trạm biến áp 35/10 kV hay từ nhánh đường dây 10 kV tới thụ điện hạ áp

+ Mạng được đấu trực tiếp từ thanh cái trạm trung gian

Căn cứ vào chế độ vận hành của trạm trung gian và trạm biến áp ở xa nhất khi tải cực đại, ta có thể xác định được hao tổn điện áp cho phép trên mạng 10 kV và trên mạng 0,4 kV của trạm xa nhất. Dựa vào hao tổn cho phép trên mạng 10 kV vừa xác định và vị trí của các máy biến áp đấu vào mạng này, ta hoàn toàn có thể xác định được hao tổn trên mạng 0,4 kV của bất kỳ trạm biến áp nào.

Xét một mạng điện được cung cấp từ thanh cái trạm biến áp 35/10 kV có sơ đồ như hình vẽ (hình 6-4). Trạm xa nhất là trạm T_3 , trạm gần nhất (đấu vào thanh cái trạm trung gian là T_2), trạm T_Z đấu vào điểm bất kỳ trên mạng.



Hình 6-4. Mạng điện của trạm biến áp trung gian

Giả sử chế độ vận hành của trạm trung gian 35/10 kV: $\Delta V_{TC}^{100} = +5\%$; $\Delta V_{TC}^{25} = 0\%$, các máy biến áp tiêu thụ chưa có thông số cụ thể lấy $\Delta U_{BA}^{100} = -4\%$, $\Delta U_{BA}^{25} = -1\%$. Đường dây cao áp có $L = 12$ km, trạm gần nhất tại thanh cái trung gian, trạm đầu tại điểm Z có khoảng cách tới thanh cái 10 kV là 4 km. Chiều dài trung bình các tuyến dây hạ áp là 0,8 km và dây trung tính có tiết diện bằng nửa dây pha. Mạng điện nông nghiệp nên độ lệch cho phép tại thụ điện $-7,5\% \leq \Delta V_{TD} \leq +7,5\%$ và chọn độ gia điện áp trên thanh cái của máy biến áp tiêu thụ xa nhất $\Delta V_T^{100} = \Delta V_T^{25} = +10\%$.

Ta chọn độ gia điện áp hợp lý của các máy tiêu thụ ghi vào bảng cùng với ΔU_{BA} và ΔV_{TD} rồi xác định ΔU_{cp} của mạng điện như bảng 6-4.

Đối với trạm biến áp xa nhất T_2 : Tổn thất điện áp tổng cộng là:

$$\Delta U_{cp\Sigma} = \Delta U_{cp10} + \Delta U_{cp0,4} = \Delta V_{TC}^{100} + \Delta V_T^{100} + \Delta V_B^{100} - \Delta V_{TD}^{100} = \Delta U_{cp\Sigma} = 5 + 10 - 4 - (-7,5) = 18,5 (\%).$$

Khi không biết phụ tải của trạm tiêu thụ, gần đúng ta có thể áp dụng biểu thức 6-23 để tính ΔU_{cp} các tuyến

$$\begin{cases} \Delta U_{cpC} + \Delta U_{cpH.xa} = 18,5\% \\ \frac{\Delta U_{cpC}}{\Delta U_{cpH.xa}} = \frac{0,4.12}{10.0,8} \sqrt{\frac{3}{3,5}} = 0,555 \end{cases}$$

Giải ra ta có: $\Delta U_{cp10} = 6,6\%$, $\Delta U_{cpH.xa} = 11,9\%$.

Kiểm tra độ lệch U tại thụ điện gần của máy xa nhất (điểm A) khi tải cực tiểu, coi phụ tải nằm sát thanh cái trạm 0,4 kV nên hao tổn đường dây 0,4 kV tới điểm A bằng không:

$$\Delta V_A^{25} = \Delta V_{TC}^{25} + \Delta U_{10}^{25} + \Delta V_T^{25} + \Delta U_T^{25} + \Delta U_{0,4(A)}^{25} = \Delta V_A^{25} = 0 - 1,65 + 10 - 1 + 0 = +7,35\% < [\Delta V]_{cp} = +7,5\%$$

Bảng 6-4. Độ lệch điện áp và ΔU_{cp} của mạng điện từ thanh cái 10 kV

Thành phần thiết bị điện	Mức phụ tải (%) của máy biến áp			
	MBA Xa nhất T_2		MBA Gần nhất T_3	
	100	25	100	25
1. Thanh cái 10 kV: ΔV_{TC}	+5	0	+5	0
2. Tổn thất U cho phép mạng 10 kV : ΔU_{cp10}	(-6,6)	(-1,65)	0	0
3. Máy biến áp 10/0,4 kV :				
Độ gia điện áp: ΔV_T	+10	+10	+5	+5
Tổn thất điện áp: ΔU_T	-4	-1	-4	-1
4. Tổn thất U cho phép mạng 0,4 kV: $\Delta U_{cp0,4}$	(-11,9)	0	(-13,5)	0
6. Độ lệch U cho phép tại thụ điện: ΔV_{TD}	-7,5	+7,35%	-7,5	+4%
		< $[\Delta V]_{cp}$		< $[\Delta V]_{cp}$

Đối với trạm biến áp gần nhất T_3 ; khi xác định ΔU_{cp} của mạng 0,4 kV, do trạm được đấu vào thanh cái 10 kV nên hao tổn trên đường 10 kV đối với trạm này bằng không, ta chọn độ gia của máy biến áp tiêu thụ $\Delta V_T^{100} = \Delta V_T^{25} = +5\%$

$$\Delta U_{cp0,4 gan} = \Delta V_{TC}^{100} + \Delta U_{10 gan}^{100} + \Delta V_T^{100} + \Delta U_T^{100} - \Delta V_{TD}^{100} =$$

$$\Delta U_{cp0,4 gan} = 5 + 0 + 5 - 4 - (-7,5) = 13,5 (\%)$$

Kiểm tra ΔV tại thụ điện gần (điểm C) khi tải min:

$$\Delta V_C^{25} = \Delta V_{TC}^{25} + \Delta U_{10 gan}^{25} + \Delta V_T^{25} + \Delta U_T^{25} + \Delta U_{0,4 (C)}^{25} =$$

$$\Delta V_C^{25} = 0 + 0 + 5 - 1 + 0 = 4 (\%) < [\Delta V]_{cp}$$

Nếu cần tính hao tổn điện áp cho phép trên mạng điện 0,4 kV của trạm được nối từ điểm Z nào đó trên đường dây 10 kV với chiều dài l cách trạm 35/10 kV thì phải tính ΔU trên đoạn đó và lập bảng.

Khi hao tổn điện áp trên đường dây 10 kV (được tính với trạm xa nhất) tính được là 6,6%, ta coi hao tổn điện áp cho phép trên đoạn từ thanh cái trạm tăng áp đến máy biến áp gần nhất tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng

$$\frac{\Delta U_{cp10 xa}}{\Delta U_{cp10(Z)}} \approx \frac{L}{l} \text{ hay } \frac{6,6}{\Delta U_{cp10(Z)}} \approx \frac{12}{4} \text{ và } \Delta U_{cp10 gan} = 2,2\%$$

Chọn độ gia của máy biến áp tiêu thụ $\Delta V_T^{100} = \Delta V_T^{25} = +5\%$

Bảng 6-5. Độ lệch điện áp và ΔU_{cp} của mạng điện từ thanh cái 10 kV

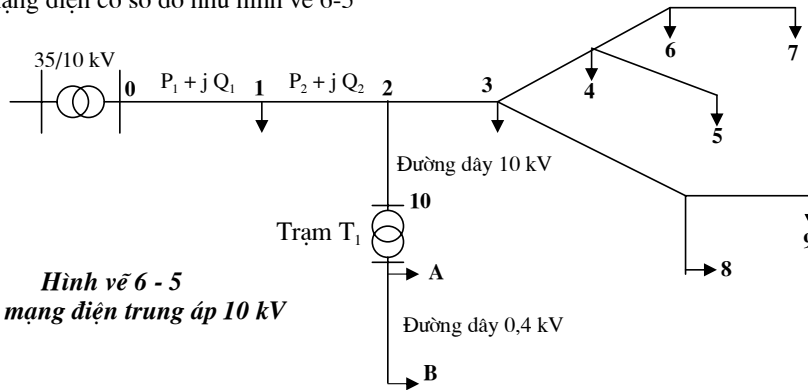
Thành phần thiết bị điện	Mức phụ tải (%) của máy biến áp			
	MBA Xa nhất T_2		MBA Gần T_Z	
	100	25	100	25
1. Thanh cái 10 kV: ΔV_{TC}	+5	0	+5	0
2. Tổn thất U cho phép mạng 10 kV : ΔU_{cp10}	(-6,6)	(-1,65)	(-2,2)	(-0,55)
3. Máy biến áp 10/0,4 kV :				
Độ gia điện áp: ΔV_T	+10	+10	+5	+5
Tổn thất điện áp: ΔU_T	-4	-1	-4	-1
4. Tổn thất U cho phép mạng 0,4 kV: $\Delta U_{cp0,4}$	(-11,9)	0	(-11,3)	0
6. Độ lệch U cho phép tại thụ điện: ΔV_{TD}	-7,5	+7,35% < $[\Delta V]_{cp}$	-7,5	+3,45% < $[\Delta V]_{cp}$

Ta có $\Delta U_{cp 0,4(Z)}^{100} = 11,3\%$.

+ Mạng được đấu trực tiếp trên đường dây trung áp

- Trong khi làm thiết kế hoặc quy hoạch, nếu cần xác định hao tổn điện áp cho phép để tính tiết diện dây dẫn cho mạng cao áp và hạ áp của một trạm biến áp thiết kế mới (trạm T_1), đấu vào một điểm nào đó trên đường dây trung áp đang vận hành (điểm 2), ta cần xác định hao tổn điện áp thực tế trên mạng trung áp trên đoạn 0 - 2 (phụ tải của mạng được tính

bằng phụ tải hiện có cộng với phụ tải của trạm thiết kế mới). Từ đó xác định được độ lệch tại điểm đấu điện (điểm 2) và tiến hành xác định hao tổn điện áp cho phép trên đoạn 2 - 10 của đường trung áp cần thiết kế và hao tổn cho phép trên đường 0,4 kV bằng cách lập bảng, Xét mạng điện có sơ đồ như hình vẽ 6-5



Hình vẽ 6 - 5
Sơ đồ mạng điện trung áp 10 kV

Giả thiết, qua khảo sát chế độ vận hành của trạm 35/10 kV ta có độ lệch điện áp trên thanh cái là $\Delta V_{TC}^{100} = +5\%$, $\Delta V_{TC}^{25} = +0\%$, công suất truyền tải trên đoạn 0 - 1 là P_1, Q_1 và trên đoạn 1 - 2 là P_2, Q_2 (có tính đến công suất của trạm mới cấy vào) tương ứng với tổng trở các đoạn là Z_1 và Z_2 . Trạm biến áp cách điểm đấu 2 km và chiều dài trung bình đường dây hạ áp là 0,7 km, lưới hạ áp có dây trung tính bằng nửa tiết diện dây pha. Ta cần xác định hao tổn điện áp trên các đoạn này trong các chế độ tải cực đại và cực tiểu, quy đổi ra % so với điện áp định mức.

Bảng 6-6. Độ lệch điện áp và ΔU_{cp} của mạng điện

Thành phần thiết bị điện	Mức phụ tải (%) của máy biến áp	
	100	25
1. Thanh cái 10 kV: ΔV_2	+2,9	-0,8
2. Tổn thất U cho phép mạng 10 kV : ΔU_{cp10}	(-1,1)	(-0,275)
3. Máy biến áp 10/0,4 kV :		
Độ gia điện áp: ΔV_T	+5	+5
Tổn thất điện áp: ΔU_T	-4	-1
4. Tổn thất U cho phép mạng 0,4 kV: $\Delta U_{cp0,4}$	(-10,3)	0
6. Độ lệch U cho phép tại thụ điện: ΔV_{TD}	-7,5	+2,925% < $[\Delta V]_{cp}$

$$\Delta U_{\Sigma \max} = \Delta U_{\max 01} + \Delta U_{\max 12} = \frac{P_{1\max} R_1 + Q_{1\max} X_1}{U_{dm}} + \frac{P_{2\max} R_2 + Q_{2\max} X_2}{U_{dm}}$$

$$\Delta U_{\Sigma \min} = \Delta U_{\min 01} + \Delta U_{\min 12} = \frac{P_{1\min} R_1 + Q_{1\min} X_1}{U_{dm}} + \frac{P_{2\min} R_2 + Q_{2\min} X_2}{U_{dm}}$$

$$\text{Tính } \Delta U\%_{\Sigma_{\max}} = \frac{\Delta U_{\Sigma_{\max}}}{U_{dm}} 100 \text{ và } \Delta U\%_{\Sigma_{\min}} = \frac{\Delta U_{\Sigma_{\min}}}{U_{dm}} 100$$

Độ lệch điện áp tại điểm 2: $\Delta V_2^{100} = \Delta V_{TC}^{100} - \Delta U\%_{\Sigma_{\max}}$ và $\Delta V_2^{25} = \Delta V_{TC}^{25} - \Delta U\%_{\Sigma_{\min}}$

Giả sử ta tính được hao tổn trên đường dây $\Delta U\%_{\Sigma_{\max}} = 2,1\%$ và $\Delta U\%_{\Sigma_{\min}} = 0,8\%$. khi đó $V_2^{100} = \Delta V_{TC}^{100} - \Delta U\%_{\Sigma_{\max}} = + 2,9\%$ và $\Delta V_2^{25} = \Delta V_{TC}^{25} - \Delta U\%_{\Sigma_{\min}} = - 0,8\%$. Thành lập bảng xác định hao tổn điện áp tổng trên các tuyến (bảng 6-6).

Khi không biết phụ tải của trạm tiêu thụ, gần đúng ta có thể áp dụng biểu thức 6-23 để tính ΔU_{cp} các tuyến

$$\begin{cases} \Delta U_{cpC} + \Delta U_{cpH.xa} = 11,4\% \\ \frac{\Delta U_{cpC}}{\Delta U_{cpH.xa}} = \frac{0,4.2}{10.0,7} \sqrt{\frac{3}{3,5}} = 0,1058 \end{cases}$$

Giải ra ta có: $\Delta U_{cp(2-10)} = 1,1\%$, $\Delta U_{cp0,4} = 10,3\%$.

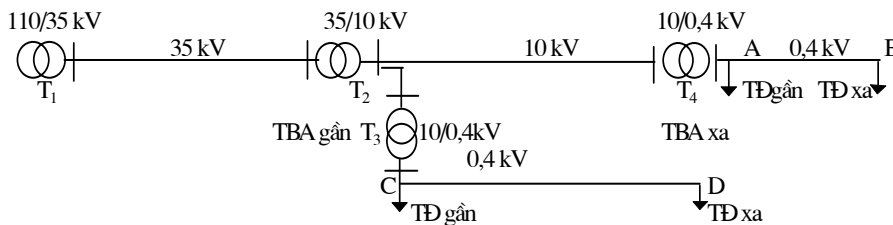
Trường hợp khi cải tạo đường dây hạ thế (tuyến 0,4 kV) mà không cần cải tạo lại đường dây trung áp, ta tiến hành tính hao tổn điện áp thực trên đường dây 10 kV với dây dẫn hiện có (đoạn 2- 10), xác định độ lệch điện áp tại điểm đầu và thay vào bảng để tính được hao tổn điện áp cho phép trên đường dây 0,4 kV.

2. Tổn thất điện áp cho phép của mạng điện cung cấp từ trạm biến áp khu vực 110/35 kV hay từ nhánh đường dây 35 kV tới thụ điện hạ áp

Đối với mạng này, ta cần xác định hao tổn điện áp cho phép trên các đoạn đường dây 35, 10, 0,4 kV. Xét trường hợp mạng điện được đấu trực tiếp từ thanh cái 110/35 kV, trạm 10 kV gần nhất được đấu ngay thanh cái trạm 35/10 kV, chiều dài đường dây 35 kV là 30 km, chiều dài đường 10 kV là 15 km và chiều dài trung bình đường hạ áp là 0,8 km. Lưới hạ áp, cần xác định hao tổn điện áp cho phép của trạm xa nhất và gần nhất.

Sơ đồ tính toán thể hiện trên hình 6-6

Để xác định được hao tổn điện áp cho phép trên các tuyến, ta cần xem xét chế độ vận hành cụ thể của các trạm biến áp. Giả sử trong chế độ vận hành, máy biến áp 110/35 có điều áp dưới tải và vận hành ở yêu cầu cao, độ lệch điện áp tại thanh cái 35 kV có thể tự động điều chỉnh và duy trì: $\Delta V_{TC35}^{100} = +5\%$; $\Delta V_{TC35}^{25} = 0$. máy biến áp 35/10 kV duy trì điện áp trên thanh cái $\Delta V_{T2}^{100} = 0\%$; $\Delta V_{T2}^{25} = 0\%$.



Hình 6-6. Mạng điện cấp từ trạm biến áp khu vực 110/35 kV

Chọn độ gia điện áp của các máy biến áp tiêu thụ một cách hợp lý (độ gia điện áp lớn nhất có thể) và lập bảng độ lệch điện áp như bảng 6-7.

Bảng 6-7 Độ lệch điện áp và tổn thất điện áp cho phép của mạng điện từ thanh cái 35 kV

Thành phần thiết bị điện	Mức phụ tải (%) của máy biến áp			
	MBA xa nhất T ₄		MBA gần nhất T ₃	
	100	25	100	25
1. Thanh cái 35 kV: ΔV_{TC35}	+5	0	+5	0
2. Tổn thất U cho phép mạng 35 kV : ΔU_{cp35}	(-2,66)	(-0,665)	(-2,66)	(-0,665)
3. Máy biến áp 35/10kV (T ₂):				
Độ gia điện áp: ΔV_{T2}	0	0	0	0
Tổn thất điện áp: ΔU_{T2}	-4	-1	-4	-1
4. Tổn thất U cho phép mạng 10 kV: ΔU_{cp10}	(-4,66)	(-1,165)	0	0
5. Máy biến áp 10/0,4 kV				
Độ gia điện áp: ΔV_T	+10	+10	+10	+10
Tổn thất điện áp: ΔU_T	-4	-1	-4	-1
6. Tổn thất U cho phép mạng 0,4 kV: $\Delta U_{cp0,4}$	(-7,18)	0	(-11,84)	0
7. Độ lệch U tại thụ điện xa và gần nhất : ΔV	-7,5	+6,17%	-7,5	7,335%
		$< [\Delta V]_{cp}$		$< [\Delta V]_{cp}$

Chọn độ gia điện áp của các máy tiêu thụ $\Delta V_T^{100} = \Delta V_T^{25} = +10\%$

Xác định $\Delta U_{\Sigma CP}$ đối với các đường dây trung áp và mạng hạ áp của máy xa nhất, ta sử dụng phương trình phân chia hao tổn điện áp:

$$\begin{aligned} \Delta U_{cp\Sigma} &= \Delta U_{cp35} + \Delta U_{cp10} + \Delta U_{cp0,4\ Xa} = \\ \Delta U_{cp\Sigma} &= \Delta V_{TC35}^{100} + \Delta V_{T2}^{100} + \Delta U_{T2}^{100} + \Delta V_T^{100} + \Delta U_T^{100} - \Delta V_{TB}^{100} \\ \Delta U_{cp\Sigma} &= +5 + 0 - 4 + 10 - 4 - (-7,5) = 14,5(\%) \end{aligned}$$

Khi không biết phụ tải của trạm tiêu thụ, gần đúng ta có thể áp dụng biểu thức 6-23 để tính ΔU_{CP} các tuyến

$$\begin{cases} \Delta U_{cp35} + \Delta U_{cp10} + \Delta U_{cpH.xa} = 14,5\% \\ \frac{\Delta U_{cp35}}{\Delta U_{cp10}} = \frac{10.30}{35.15} \sqrt{\frac{3}{3}} = 0,57 \\ \frac{\Delta U_{cp10}}{\Delta U_{cp0,4\ Xa}} = \frac{0,4.15}{10.0,8} \sqrt{\frac{3}{4}} = 0,65 \end{cases}$$

Giải ra ta có: $\Delta U_{cp35} = 2,66\%$, $\Delta U_{cp10} = 4,66\%$, $\Delta U_{cp0,4} = 7,18\%$.

Tương tự ta xác định được ΔU_{cp} của mạng 0,4 kV đối với máy biến áp gần T₄:

$$\Delta U_{cp0,4\ Gan} = 11,84\%$$

Kiểm tra độ lệch điện áp tại thụ điện gần (điểm C) đảm bảo.

§ 6-6. KIỂM TRA MẠNG ĐIỆN THEO DAO ĐỘNG ĐIỆN ÁP KHI MỞ MÁY ĐỘNG CƠ

Ta biết rằng dòng điện mở máy của động cơ dị bộ lồng sóc lớn hơn dòng điện định mức của nó từ 4 - 7,5 lần. Vì thế tổn thất điện áp khi khởi động động cơ sẽ tăng lên gấp mấy lần lúc làm việc bình thường còn điện áp tại động cơ điện sụt đi đáng kể so với chế độ định mức. Bởi vậy nếu mạng điện hạ áp có các động cơ công suất lớn làm việc thì sau khi tính toán mạng điện theo tổn thất điện áp cho phép, vẫn phải kiểm tra sự dao động điện áp khi khởi động động cơ.

Mặt khác, đa số các trường hợp động cơ điện chỉ mở máy vài lần trong một giờ và thời gian lấy đà rất ngắn (không quá 10 s). Điều đó cho phép điện áp đặt vào động cơ điện giảm đi nhiều so với lúc làm việc bình thường. Khi mở máy chỉ cần mô men khởi động đủ thắng mô men cản của nó là động cơ có thể quay được.

Theo " quy phạm trang bị điện " khi đường dây dẫn đến một động cơ, cho phép độ sụt áp ở thời điểm mở máy động cơ dị bộ lồng sóc lên tới 40% so với điện áp định mức:

$$\Delta U_{kd} \geq -40\% U_{dm} \quad (6-26)$$

Phần lớn các máy công tác (ví dụ như các loại máy bơm nước, quạt gió, máy công cụ truyền động bằng dây cua-roa hay nối cứng) mô men ban đầu không vượt quá 1/3 mô men định mức của động cơ điện. Điều đó ảnh hưởng đến các cực các động cơ khác đang làm việc. Do đó trường hợp đường dây dẫn đến nhiều động cơ, theo quy định, khi mở máy động cơ, điện áp trên cực các động cơ còn lại không được giảm quá 20% so với điện áp định mức, nghĩa là:

$$\Delta U_{kd} \geq -20\% U_{dm} \quad (6-27)$$

Đồng thời để tránh điện áp giảm quá mức, các động cơ đều không chế không mở máy cùng một lúc bằng các Rơ-le thời gian.

Phần lớn các động cơ điện được cung cấp từ các trạm biến áp hay máy phát đồng bộ qua đường dây trên không (hay cáp). Nếu động cơ được cung cấp điện từ máy biến áp qua đường dây thì tổn thất điện áp lúc mở máy 1 động cơ có tính đến điện trở của mạng điện xác định theo biểu thức:

$$\Delta U_{kd} = \frac{Z_{mba} + Z_{dd}}{Z_{mba} + Z_{dd} + Z_{dc}} 100 \quad (6-28)$$

trong đó:

Z_{mba} - là tổng trở của máy biến áp, có thể chọn theo bảng 6-5 hoặc tính theo biểu thức:

$$Z_{mba} = \frac{u_k \%}{100} \frac{U_{dm}}{\sqrt{3} I_{dm}} \quad (6-29)$$

ở đây:

$u_k \%$ - là điện áp ngắn mạch phần trăm của máy biến áp ;

U_{dm}, I_{dm} - là điện áp và dòng điện định mức;

Z_{dd} - là tổng trở của đường dây có thể chọn theo bảng 6-6 hoặc tính theo công thức:

$$Z_d = (r_0 + jx_0)l = Z_0 l (\Omega) \quad (6-30)$$

Z_{dc} - là tổng trở của động cơ khi mở máy:

$$Z_{dc} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}I_{dm}K_{mm}} \quad (6-31)$$

K_{mm} - là bội số dòng điện mở máy của động cơ, cho trong lý lịch máy.

Bảng 6-5. Tổng trở của một số máy biến áp quy về điện áp 380V.

Công suất (kVA)	20	30	50	100	180
Z_{mba} (Ω)	0,4	0,265	0,16	0,08	0,036

Bảng 6-6. Tổng trở của một số tiết diện dây dẫn đường dây trên không.

Mác dây dẫn	M10	M16	M25	A, AC16	A, AC25	A, AC35
Z_{0d} (Ω/km)	1,88	1,27	0,84	2,0	1,34	1,0

Trường hợp động cơ điện được cung cấp từ máy phát đồng bộ qua đường dây thì tổn thất điện áp tính theo biểu thức:

$$\Delta U_{kd} = \frac{Z_{mp} + Z_{dd}}{Z_{mp} + Z_{dd} + Z_{dc}} 100 \quad (6-32)$$

trong đó : Z_{mp} - là tổng trở của máy phát.

$$Z_{mp} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}I_{dm}K_{nm}} \quad (6-33)$$

K_{nm} - là bội số dòng điện ngắn mạch của máy phát điện cho trong lý lịch máy. Tổng trở của máy phát điện nhỏ được tính sẵn cho trong bảng 6-7.

Bảng 6-7. Tổng trở của máy phát điện điện áp 0,4kV.

Công suất (kVA)	15	25	35	45	60
Z_{mp} (Ω)	9,4	5,75	5,15	4,0	3,15

Ví dụ

Một động cơ điện rô to lồng sóc, công suất $P_H = 10kW$ được cung cấp từ máy biến áp dung lượng 100kVA. Đường dây trên không dùng dây dẫn AC25 dài 0,75km. Hãy kiểm tra dao động điện áp khi mở máy động cơ.

Giải:

Tra bảng phụ lục với động cơ lồng sóc DK624-10kW có: $\cos\varphi = 0,88$; $K_{mm} = 6,5$; $\eta = 0,87$, tính được:

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm} \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,87} = 19,8 \text{ (A)}$$

$$Z_{dc} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}I_{dm}K_{mm}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 19,8 \cdot 6,5} = 1,7 \text{ (}\Omega\text{)}$$

Tra bảng 6-7 và 6-8 ta được : $Z_{mba} = 0,08 \Omega$; $Z_0 = 1,34 \Omega/km$.

Tổng trở của đường dây là:

$$Z_d = Z_{0,1} = 1,34.0,75 = 1,0 (\Omega)$$

Độ sụt áp khi khởi động động cơ là:

$$\Delta U_{kd} \% = \frac{Z_{mba} + Z_{dd}}{Z_{mba} + Z_{dd} + Z_{dc}} 100 = \frac{0,08 + 1,0}{0,08 + 1,0 + 1,7} 100 = 38,8 (\%)$$

Ta có $\Delta U_{kd} = 38,8 < 40\%$, vậy động cơ có thể khởi động được.

§ 6-7. BIỆN PHÁP BÙ DUNG LƯỢNG PHẢN KHÁNG TRONG MẠNG ĐIỆN

1. Khái niệm chung

Trong hệ thống điện, người ta phải giải quyết vấn đề cân bằng công suất giữa nguồn và thụ điện. Công suất toàn phần S có 2 thành phần là công suất tác dụng P và phản kháng Q . Chúng liên quan chặt chẽ với nhau bởi hệ số công suất $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Công suất toàn phần là công suất thiết kế của thiết bị nó đã được khống chế. Vì vậy việc tăng hay giảm P hoặc Q không thể tùy tiện được. Trong mạng điện công suất tác dụng P có liên quan đến quá trình động lực mô men quay động cơ, truyền lực đến máy công cụ, làm nóng dây dẫn và lõi thép. Tại nguồn điện công suất tác dụng liên quan trực tiếp đến tiêu hao than, nước và nhiên liệu. Công suất phản kháng liên quan chủ yếu đến suất điện động của máy phát hay dòng điện kích từ. Ở mạng điện công suất phản kháng liên quan đến quá trình từ hoá trong lõi thép, máy biến áp, động cơ điện, gây ra biến đổi từ thông, tạo ra suất điện động phía thứ cấp và gây ra tản từ trong mạng điện.

Để đáp ứng yêu cầu của thụ điện, công suất tác dụng phải được lấy từ nguồn phát là thủy điện, nhiệt điện qua các máy biến áp và đường dây đến phụ tải. Công suất phản kháng có thể lấy từ nguồn (nhà máy điện) hoặc từ thiết bị bù đặt ngay tại phụ tải. Ở đây, người ta phải giải bài toán kinh tế và kỹ thuật là: đặt thiết bị bù như thế nào là kinh tế nhất.

Bù công suất phản kháng đặt tại phụ tải có thể sử dụng tụ điện tĩnh hay máy bù đồng bộ.

Tụ điện tĩnh có ưu nhược điểm là: vận hành đơn giản, giá thành tương đối rẻ, có thể chia nhỏ thành các bộ ghép nối tiếp hoặc song song, đặt ở mạng điện cao hoặc hạ áp; tổn hao công suất tương đối nhỏ. Nhược điểm của tụ bù là công suất phản kháng phát ra tỷ lệ với bình phương điện áp ($Q_d = U^2/x_c$) cho nên nếu điện áp giảm quá và kéo dài có thể gây ra thủng cách điện, làm mất ổn định trong mạng điện. Ngoài ra còn nhược điểm nữa là khi phụ tải nhỏ cần tiêu thụ công suất phản kháng của mạng điện thì nó không giải quyết được.

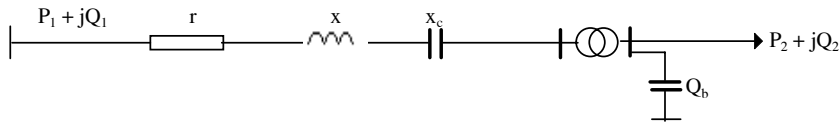
Máy bù đồng bộ là loại động cơ điện đồng bộ chạy không tải tiêu thụ công suất tác dụng từ mạng điện. Nó có thể phát ra hoặc tiêu thụ công suất phản kháng tùy theo dòng điện kích từ của nó. Ưu điểm cơ bản của máy bù đồng bộ là có thể điều chỉnh công suất phản kháng phát ra. Do đó điều chỉnh được điện áp một cách linh hoạt và có thể giữ cho điện áp ở các nút được ổn định. Nhược điểm của máy bù là vận hành phức tạp và giá thành cao.

Biện pháp bù dung lượng phản kháng trong mạng điện có thể thực hiện theo 2 hướng là bù theo điều kiện kinh tế tức là giải bài toán đặt thiết bị bù tại nguồn hay phụ tải thì có lợi. Bù theo điều chỉnh điện áp nhằm giải quyết yêu cầu về chất lượng điện.

Đối với mạng điện địa phương hoạt động trong một phạm vi không rộng lắm và gần thụ điện hạ áp, cho nên dùng máy bù là không có lợi. Vì vậy người ta thường bù theo điều kiện điều chỉnh điện áp bằng tụ điện tĩnh. Sau đây chỉ nêu 2 phương pháp: bù ngang và bù dọc bằng tụ điện.

2. Bù ngang bằng tụ điện tĩnh

Khi công suất phản kháng đi trên đường dây thay đổi thì tổn thất điện áp cũng thay đổi theo. Vì vậy có thể điều chỉnh được điện áp ở cực các phụ tải bằng các thiết bị bù phản kháng theo phương pháp bù ngang. Sơ đồ bù ngang bằng tụ điện (Q_b) theo phương pháp điều chỉnh điện áp đối với mạng điện địa phương như trên hình vẽ (hình 6-7).



Hình 6-7. Bù theo điều chỉnh điện áp

Q_b - lµ bñ ngang b»ng tå iõn;
 x_c - lµ bñ dắc b»ng tå iõn.

Tụ điện tĩnh phát ra công suất phản kháng nên khi đặt ở phụ tải, nó có tác dụng làm giảm công suất phản kháng đi trên đường dây. Gọi Q_b là dung lượng của tụ điện cần thiết để nâng điện áp từ U_2 đến U_{2b} là giá trị điện áp cần đạt được, còn điện áp đầu đường dây coi như không đổi.

Khi chưa đặt tụ điện ta có:

$$U_2 = U_1 - \frac{Pr + Qx}{U_{dm}} \quad (6-34)$$

trong đó:

P, Q - là công suất tác dụng và phản kháng truyền tải của đường dây;

r, x - là điện trở tác dụng và phản kháng của đường dây nơi đặt tụ điện.

Khi đặt tụ điện Q_b , điện áp được nâng từ U_2 lên đến U_{2yc} có giá trị là:

$$U_{2b} = U_1 - \frac{Pr + Qx}{U_{dm}} + \frac{Q_b x}{U_{2yc}} \quad (6-35)$$

So sánh (6-34) và (6-35) ta thấy khi có tụ bù, công suất phản kháng giảm đi một lượng là $Q - Q_b$. Tổn thất điện áp giảm đi một lượng do dòng điện dung đi ngược trên đường dây.

Lấy (6-35) trừ đi (6-34) ta được:

$$U_{2yc} - U_2 = \frac{Q_b x}{U_{2b}} \quad (6-36)$$

suy ra:
$$Q_b = \frac{U_{2yc} - U_2}{x} U_{2yc} = \frac{\Delta U_b}{x} U_{2yc} \quad (6-37)$$

Với $\Delta U_b = U_{2yc} - U_2$

Muốn chọn số lượng tụ điện, ta phải căn cứ vào số liệu của mỗi tụ điện và thông số của đường dây.

Số tụ điện mắc nối tiếp là:

$$n = \frac{U_{2yc}}{U_c} \quad (6-38)$$

U_{2yc} , U_c - là điện áp yêu cầu của mạng điện và điện áp cho phép của tụ điện.

Số tụ điện mắc song song là:

$$m = \frac{I}{I_c} \quad (6-39)$$

I , I_c - là dòng điện truyền tải của đường dây và dòng điện cho phép đi qua tụ điện.

Khi đặt tụ điện, người ta phải tính toán ở lúc phụ tải cực đại, còn khi phụ tải cực tiểu phải cắt tụ điện ra khỏi mạng điện. Vì vậy phải kết hợp giữa bù bằng tụ điện với chọn nấc của máy biến áp sao cho khi phụ tải cực tiểu điện áp đạt giá trị yêu cầu là nhờ nấc máy biến áp chọn hợp lý (vì tụ điện đã được cắt ra).

3. Bù dọc

Sơ đồ bù dọc thực hiện bằng tụ điện (X_c) cho trên hình 6-7.

Khi đặt tụ bù dọc trên đường dây, tổn thất điện áp giảm đi một lượng là:

$$\Delta U = \sqrt{3}I[r \cos \varphi + (x - x_c) \sin \varphi] \quad (6-40)$$

trong đó: x , x_c - là điện kháng của đường dây và điện kháng của bộ tụ điện bù.

Đối với mạng điện khu vực, thì công suất phản kháng thấp, hệ số công suất cao nên hiệu quả bù rất thấp.

Tổn thất điện áp phụ thuộc rất nhiều vào $\cos \varphi$, nếu $\cos \varphi$ cao thì tổn thất điện áp rất ít nên hiệu quả bù cũng không đáng kể.

Đối với mạng điện địa phương và nhất là mạng điện nông nghiệp, hệ số $\cos \varphi$ tương đối thấp nên bù dọc rất có hiệu quả.

Khi chưa đặt tụ điện bù dọc, tổn thất điện áp trên đường dây xác định theo biểu thức:

$$\Delta U\% = \frac{Pr + Qx}{U^2} 100 \quad (6-41)$$

Khi có đặt tụ bù tổn thất điện áp là:

$$\Delta U_{tb}\% = \frac{Pr + Q(x - x_b)}{U^2} 100 \quad (6-42)$$

Do đặt tụ bù dọc, tổn thất điện áp giảm đi một lượng là:

$$\Delta U_b\% = \Delta U\% - \Delta U_{tb}\% = \frac{Qx_b}{U^2} 100 \quad (6-43)$$

suy ra:
$$x_b = \frac{\Delta U_b\% U^2}{Q \cdot 100} = \frac{\Delta U_b\% U^2}{Ptg\phi \cdot 100} \quad (6-44)$$

Điện áp mỗi pha đặt lên bộ tụ điện là:

$$U_b = I \cdot x_b \quad (6-45)$$

Căn cứ vào tham số của tụ điện: dung lượng Q_c , dung kháng x_c , điện áp U_c và dòng điện cho phép đi qua tụ điện ($I_c = Q_c / U_c$), ta có thể chọn được số tụ điện mắc nối tiếp và song song:

$$n = \frac{U_b}{U_c}; \quad m = \frac{I}{I_c} \quad (6-46)$$

Khi tính m và n ta phải làm tròn cho đến số nguyên gần nhất do đó dung lượng thực của bộ tụ điện trên 3 pha sẽ là:

$$Q_b = 3 \cdot m \cdot n \cdot Q_c \quad (6-47)$$

Dung kháng bù thực tế là:

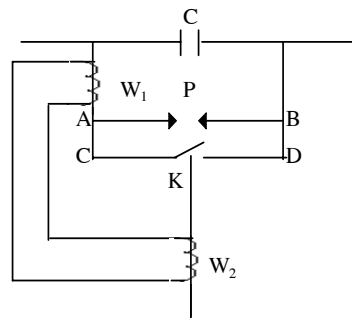
$$x_{bt} = \frac{n \cdot x_c}{m} = \frac{n \cdot U_c^2}{m \cdot Q_c} \quad (6-48)$$

Độ giảm tổn thất điện áp thực tế có giá trị là:

$$\Delta U_{bt}\% = \frac{Ptg\phi \cdot x_{bt} \cdot 100}{U^2} \quad (6-49)$$

Vị trí tụ điện được đặt ở trạng thái đường dây làm việc bình thường và có tính đến hạn chế dòng điện khi xảy ra ngắn mạch. Nếu đường dây có 1 phụ tải thì nên đặt tụ điện ở cuối đường dây (vì khi đó nếu xảy ra ngắn mạch thì dòng điện qua tụ điện bé). Nếu đường dây có nhiều phụ tải thì nên đặt tụ điện bù ở giữa trung tâm phụ tải.

Để bảo vệ cho tụ điện khi xảy ra ngắn mạch, người ta dùng hệ thống Rơ- le máy ngắt như trên hình 6-8.



Hình 6-8.
Sơ đồ bảo vệ tụ điện bù dọc

- C - bộ tụ điện.
- P- khe hở phóng điện.
- K- máy cắt bảo vệ.
- W₁, W₂- cuộn dây Rơ-le.

Khi xảy ra ngắn mạch dòng điện qua tụ điện C tăng lên, điện áp rơi trên tụ điện tăng quá giới hạn cho phép. Khe hở phóng điện P mắc song song với tụ C nên cũng chịu một điện áp lớn và xảy ra phóng điện. Đoạn AB được nối liền mạch. Cuộn dây điện từ (hay cuộn dây máy cắt) có điện và hút công tắc K, nối tắt mạch CD, hồ quang qua khe hở P tắt. Dòng điện sẽ đi qua K và nối tắt mạch, tụ điện được bảo vệ an toàn.

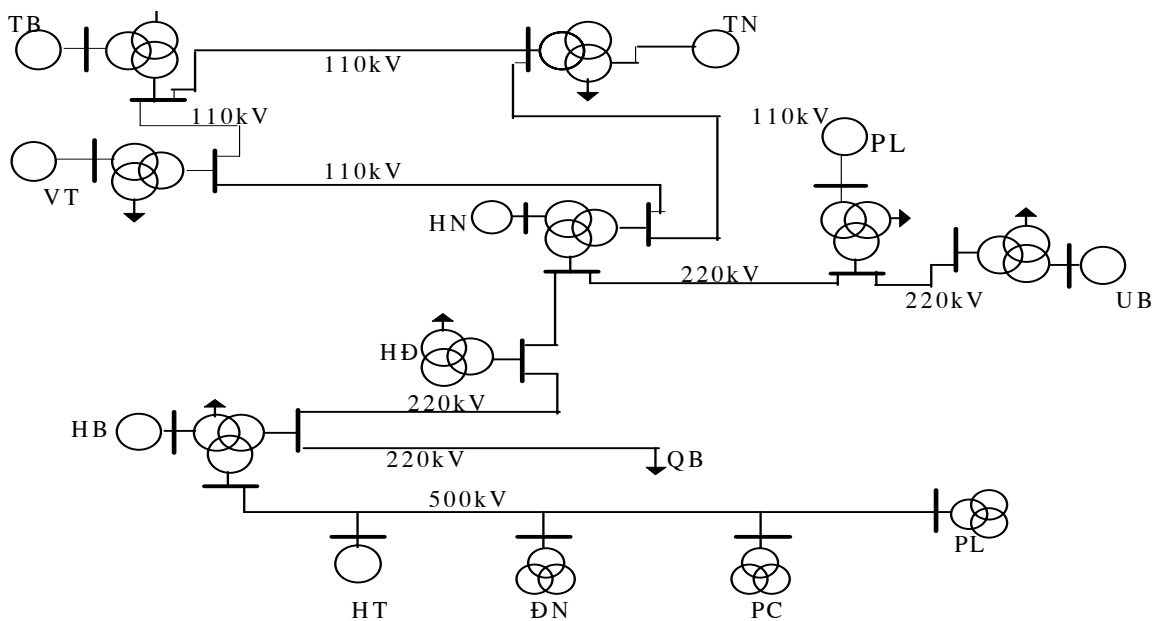
CHƯƠNG 7

TRUYỀN TẢI ĐIỆN NĂNG ĐI XA

§ 7-1. KHÁI NIỆM CHUNG

Sự phát triển của hệ thống điện nhiều khi gặp phải tình trạng là nhiên liệu để sản xuất điện năng ở xa trung tâm tiêu thụ điện. Vì vậy vấn đề đặt ra là sản xuất điện ở nơi có nhiên liệu hay là vận chuyển nhiên liệu đến trung tâm phụ tải để sản xuất điện năng. Người ta thấy rằng, với các phương tiện kỹ thuật hiện đại như hiện nay thì vận chuyển điện năng đi xa là kinh tế hơn. Do đó trong hệ thống điện xuất hiện các đường dây rất dài và điện áp rất cao. Các nhà máy điện nối liền với các đường dây dài tạo thành hệ thống tải điện đi xa. Mặt khác, do sự phát triển rộng lớn về địa dư, việc nối liền hệ thống điện ở các miền hoặc nối liền trong cả nước cũng cần các đường dây tải điện dài gọi là đường dây liên lạc. Đường dây liên lạc chuyên tải điện năng qua lại trong một miền hay giữa các miền của hệ thống điện.

Việc truyền tải điện năng có công suất lớn đi xa đòi hỏi điện áp phải rất cao: từ 110 , 220, 330, 400 đến 500 kV hoặc cao hơn. Các máy phát điện hiện nay điện áp đều không lớn hơn 75 kV. Vì vậy người ta phải dùng các máy biến áp tăng và hạ áp. Sơ đồ truyền tải điện năng đi xa của một hệ thống điện có dạng như hình 7-1.



Hình 7-1. Sơ đồ truyền tải điện năng đi xa.

Việc sử dụng U cao (≤ 330 kV) và siêu cao ($U > 330$ kV) xoay chiều đi xa gặp phải những vấn đề kỹ thuật phức tạp mà ở U thấp và đường dây ngắn không có. Gắn liền với U cao là hiện tượng vầng quang điện, gây ra tổn thất rất lớn. Khi $U \geq 80$ kV, vầng quang điện

là yếu tố chủ yếu để lựa chọn F dây dẫn và khoảng cách giữa chúng làm giảm tổn thất điện năng đến mức chấp nhận được. Do vậy F dây dẫn thường rất lớn. Nếu dùng dây dẫn đặc sẽ không kinh tế mà người ta phải phân nhỏ dây dẫn mỗi pha.

Do điện áp cao, cách điện ở các máy biến áp và đường dây phải tăng cường làm tăng chi phí. Biện pháp chính để giảm cách điện là trung tính các máy biến áp nối đất (cách điện là cách điện pha), nhưng bất lợi là hệ thống điện hay bị chạm đất 1 pha và cắt điện.

Ở chế độ không tải xảy ra hiện tượng tăng cao U cuối đường dây. Đường dây dài 1000 km điện áp có thể tăng gấp đôi. Vì vậy phải sử dụng thiết bị bù để điều chỉnh U. Mặt khác do đường dây có điện dung lớn, lúc không tải, máy phát mang tải điện dung. Dòng điện dung này từ hoá lõi thép stato, có thể gây ra hiện tượng tự kích thích.

Hạn chế cơ bản nhất của tải điện đi xa của điện áp cao xoay chiều là khó giữ ổn định cho các máy phát điện làm việc song song. Để ổn định, công suất tải trên đường dây dài không được vượt ra ngoài một giới hạn xác định theo công suất tự nhiên. Công suất giới hạn tăng lên là nhờ nâng cao điện áp.

Ngoài sử dụng điện áp xoay chiều, người ta còn dùng dòng điện một chiều điện áp cao để truyền tải điện năng đi xa. Nhưng vì thiết bị nghịch lưu phức tạp và đắt tiền nên người ta ít sử dụng. Do đó trong giáo trình này ta chỉ nghiên cứu truyền tải điện năng đi xa bằng dòng điện xoay chiều.

§ 7-2. CHỌN ĐIỆN ÁP CỦA ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

Yếu tố có tính chất quyết định khi lựa chọn cấp U là công suất và chiều dài đường dây tải điện. Khi tăng U_H thì khả năng tải tăng nhưng tổn thất công suất do vầng quang điện cũng tăng lên. Do đó khi tải nhỏ sử dụng U_H thấp sẽ đạt hiệu quả hơn. Việc lựa chọn cấp U_H là một bài toán phức tạp. Hiện nay người ta dùng phương pháp so sánh kinh tế kỹ thuật của các phương án với các cấp U_H khác nhau. Phương án nào có chi phí tính toán Z thấp nhất là có cấp điện áp được lựa chọn.

Để sơ bộ lựa chọn cấp điện áp một cách đơn giản ta dựa vào cách tính tổn thất công suất trên đường dây như sau:

$$\Delta P_{dd} = 3I^2R = 3I^2\rho L/F10^{-3} \text{ (kW)}. \quad (7-1)$$

$$\Delta P_{dd} = \frac{p\%}{100} P_H = \frac{p\%}{100} \sqrt{3}UI \cos \varphi \quad (7-2)$$

Cân bằng (7-1) và (7-2) rút ra:

$$U = \frac{\sqrt{3}\rho L}{10p\% \cos \varphi} \frac{I}{F} = \frac{\sqrt{3}\rho Lj}{10p\% \cos \varphi} \quad (7-3)$$

Với một điện áp đã chọn ta có thể tính được chiều dài kinh tế nhất của đường dây:

$$L = \frac{10p\%U \cos \varphi}{\sqrt{3}j\rho} \quad (7-4)$$

ở đây p% - là tổn thất công suất tính theo % so với công suất truyền tải.

Căn cứ vào quan hệ của P, U, L ta thành lập được các mẫu truyền dẫn điện ứng với các điều kiện có tính chất phổ biến như sau:

BẢNG 7-1. Các mẫu truyền dẫn điện.

U _{dm} (kV)	j (A/mm ²)	p(%)	Cosφ	L (km)	F (mm ²)	P.10 ³ (kW)
110	1,1	8	0,9	120	AC-185	12,5-33
220	0,75	8	0,9	380	AC-300	80-130
330	0,60	8	1,0	800	AC-300-510	330
500	0,60	8	1,0	1200	AC-480	750
500	0,60			1487	4ACRS 330	610-680
Việt Nam						

Bằng kinh nghiệm, người ta còn đưa ra một số công thức đơn giản để sơ bộ xác định cấp điện áp. Công thức của Still (Mỹ) có dạng:

$$U = 4,34 \sqrt{L+16P}. \quad (kV) \quad (7-5)$$

P- công suất truyền tải MW, L- chiều dài truyền tải km

Công thức này khá tin cậy khi L nhỏ hơn hoặc bằng 250 km và P ≤ 60 MW.

Khi P và L lớn hơn nên dùng công thức Zalesski (Liên Xô cũ):

$$U = \sqrt{P(100+15\sqrt{L})} \quad (kV) \quad (7-6)$$

P- Công suất truyền tải MW

Hoặc dùng công thức của Itra Rionop

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} \quad (kV)$$

Ngoài ra VayKert (Đức) còn đưa ra dưới dạng sau:

$$U = 3\sqrt{S} + 0,5L \quad (kV) \quad (7-7)$$

Trong một mạng điện thường sử dụng nhiều cấp điện áp để truyền tải và phân phối điện, mỗi nước lại có những cấp điện áp khác nhau. Hiện nay cấp điện áp ở một số nước trên thế giới như sau:

Việt Nam: 6; 10; 20; 35; 110; 220; 500 (kV)

Liên Xô cũ: 3; 6; 10; 35; 110; 154; 220; 330; 500 (kV).

Mỹ: 2,4; 4,8; 12; 14,4; 23; 31,5; 46; 69; 115; 161; ... (kV).

Anh: 6; 11; 12; 33; 66; 88; 110; 161 kV

Pháp: 3,2; 5,5; 10; 15; 20; 35; 45; 90; 110; 150; 380 (kV).

Điện áp cấp này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của cấp kia và ngược lại. Lời giải kinh tế của mạng điện về cấp điện áp là lời giải ứng với hệ cấp điện áp tối ưu. Nó phụ thuộc vào từng nước, từng vùng do điều kiện dân cư, trình độ kinh tế và phân bố vùng công nghiệp quyết định.

§ 7.3. THÔNG SỐ VÀ SƠ ĐỒ THAY THẾ CỦA ĐƯỜNG DÂY

1. Điện dẫn tác dụng

È mạng điện cao áp ngoài tổn thất điện năng do phát nóng dây dẫn còn có tổn thất do sự rò điện và vầng quang điện gây ra.

+ Rò điện: khi các men sứ không nhẵn và mặt sứ bị bụi bẩn, ẩm ướt thì mặt sứ trở lên dẫn điện gọi là hiện tượng rò điện. Dòng điện rò sẽ thấm lậu xuống đất. Ban đêm ta thấy mặt sứ có ánh sáng xanh xanh và tiếng kêu lách tách. Tuy nhiên, ở điện áp 110 - 220 kV tổn thất công suất tác dụng do dòng điện rò và tổn thất trong chất điện môi của sứ cũng nhỏ cho nên trong tính toán thường bỏ qua.

+ Vầng quang điện: khi thời tiết ẩm ướt, dưới tác dụng của cường độ điện trường (E) đủ lớn, không khí xung quanh dây dẫn bị ion hoá và trở lên dẫn điện gọi là hiện tượng vầng quang điện. Ban đêm ta thấy xung quanh dây dẫn có một vầng sáng xanh. Vầng quang điện gây ra tổn thất điện năng, khi U đường dây lớn hơn U tới hạn phát sinh vầng quang điện (U_{th}) thì xuất hiện hiện tượng vầng quang điện. Với dòng điện xoay chiều 3 pha, điện áp tới hạn tính theo công thức:

$$U_{th} = (65-70) r \lg \frac{D_{TB}}{r} \quad (7-8)$$

r - là bán kính dây dẫn (cm);

D_{TB} - là khoảng cách trung bình hình học giữa các dây dẫn (cm).

Muốn không có vầng quang điện thì E không quá 17 - 19 kV/cm. Giá trị của E là:

$$E = \frac{0,354U}{nr \lg(D_{TB} / r_{dt})} \left[1 + \frac{2r \sin(180/n)}{a} (n-1) \right] \frac{kV}{cm} \quad (7-9)$$

n, r - là số dây dẫn và bán kính mỗi dây phân nhỏ một pha;

r_{dt} - là bán kính đẳng trị của dây dẫn mỗi pha, xác định theo công thức:

$$r_{dt} = R \sqrt[nr]{R} \quad (cm) \quad (7-10)$$

R - là khoảng cách tương đương giữa các dây dẫn, xác định theo công thức:

$$R = \frac{a}{2 \sin(180/n)} \quad (7-11)$$

a - là khoảng cách giữa các dây dẫn một pha phân nhỏ (cm).

Ta thấy rằng, muốn giảm E phải tăng D_{TB} và r. Vì tăng D_{TB} là không có lợi nên chủ yếu tăng r. Người ta quy định: khi $U = 110$ kV thì $d > 9,9$ mm ($F \geq 70$ mm²); $U = 150$ kV thì $d > 13,9$ mm ($F \geq 120$ mm²) và $U = 220$ kV thì $d > 21,5$ mm ($F \geq 240$ mm²).

Để giảm vầng quang điện người ta dùng dây dẫn rỗng hoặc phân nhỏ dây dẫn mỗi pha. Thông thường $U \geq 110$ kV mới có thể tính đến tổn thất do vầng quang điện (ΔP_{vq}). Tổn thất vầng quang điện phụ thuộc chủ yếu vào điều kiện khí quyển. Khi thay đổi điều kiện khí quyển thì hao tổn công suất và điện năng do vầng quang điện thay đổi rất nhiều. Việc tính toán chính xác tổn thất do vầng quang điện là một vấn đề phức tạp. Khi tính mạng điện, tổn thất công suất tác dụng do vầng quang điện được phản ánh trên sơ đồ thay thế bằng điện dẫn g_0 của 1 km chiều dài đường dây.

$$G = g_0 \cdot L = \frac{\Delta P_{0vq} L}{U^2} \quad \text{với} \quad \Delta P_{0vq} = \frac{\Delta P_{0vq \max} + \Delta P_{0vq \min}}{2} \quad (7-12)$$

$\Delta P_{0vq \max}$, $\Delta P_{0vq \min}$ - là tổn thất công suất tác dụng cực đại và cực tiểu do vầng quang điện của 3 pha trên 1 km đường dây, cho trong phụ lục

2. Điện dẫn phản kháng của đường dây

Điện dẫn phản kháng (dung kháng) của đường dây do điện dung giữa các dây dẫn với nhau và dây dẫn với đất gây ra. Điện dung của dây dẫn với đất rất nhỏ nên trong tính toán thường bỏ qua.

Khi có dòng điện xoay chiều đi qua, giữa dây dẫn các pha và dây dẫn với đất xuất hiện một trường tĩnh điện. Dưới tác dụng của trường này, chất điện môi quanh dây dẫn xuất hiện dòng điện chuyển dịch (I_c nạp) có tính chất điện dung (vượt 90⁰ so với U pha). Dòng chuyển dịch (I_c) tỷ lệ với U pha (U_\varnothing) và dung dẫn đường dây:

$$I_c = U_\varnothing b_0 L = U_\varnothing B \quad (7-13)$$

b_0 - là dung dẫn trên 1 km đường dây, cho trong phụ lục (1/ Ω km).

$$b_0 = \omega c_0 = 2\pi f \frac{0,024}{\lg(D_{TB} / r)} \cdot 10^{-6} = \frac{7,58}{\lg(D_{TB} / r)} \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{\Omega km} \right) \quad (7-14)$$

Nếu mỗi pha phân nhỏ thành n dây thì thay r bằng r_{dt} .

Dung dẫn của đường dây trên không và cáp cho trong phụ lục.

Công suất phản kháng do đường dây sinh ra là:

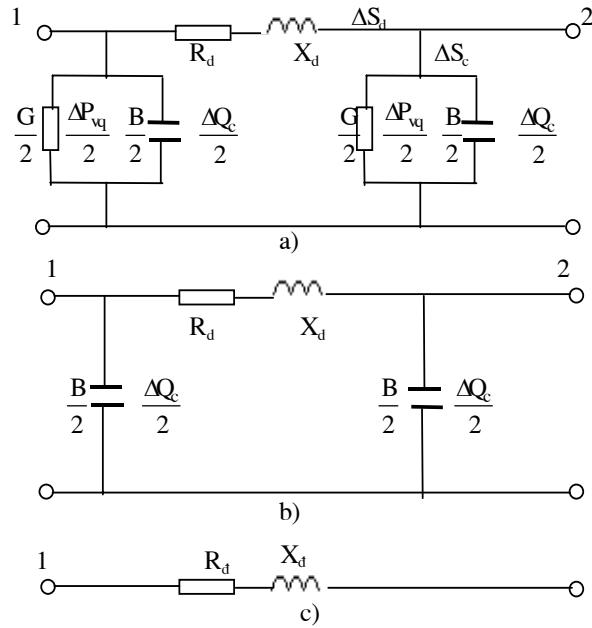
$$\Delta Q_c = 3I_c U_\varnothing = 3U_\varnothing^2 b_0 L = U^2 B \quad (7-15)$$

$$B = b_0 L \quad (1/\Omega) \quad (7-16)$$

ở đường dây trên không $U > 35$ kV và cáp $U > 20$ kV dung dẫn không thể bỏ qua.

3. Sơ đồ thay thế của đường dây

Nhìn chung mạng điện dài có điện áp cao thì có các thông số rải R, X, G, B phân bố đều dọc đường dây. Tuy nhiên với các đường dây không dài lắm ($L \leq 300$ km và cáp $L \leq 50$ km) trong giới hạn cho phép có thể dùng thông số tập trung. Riêng mạng điện siêu cao áp có chiều dài lớn thì phải tính toán theo thông số rải. Sơ đồ thay thế đường dây có dạng hình π cho trên hình 7-2a.



Hình 7-2.

Sơ đồ thay thế đường dây

a - sơ đồ hình π đầy đủ;

b - bỏ qua văng quang điện;

c - bỏ qua điện dẫn.

ở đây thành phần ngang trục tập trung đặt tại 2 đầu đường dây (do phụ thuộc vào điện áp các điểm nút).

Tổng trở và tổng dẫn của đường dây là:

$$Z = R_d + jX_d = (r_0 + jx_0)L. \quad (7-17)$$

$$Y = G + jB = (g_0 + jb_0)L. \quad (7-18)$$

trong đó: R_d, X_d là điện trở tác dụng và phản kháng của đường dây.

Đối với mạng điện khu vực, $U = 110 - 220$ kV, khi đã chú ý đến tiết diện tối thiểu hạn chế văng quang điện ta có thể bỏ qua G . Sơ đồ thay thế như hình 7-2b. Với mạng điện địa phương chiều dài ngắn, công suất nhỏ ta có thể bỏ qua Y như hình 7-2c.

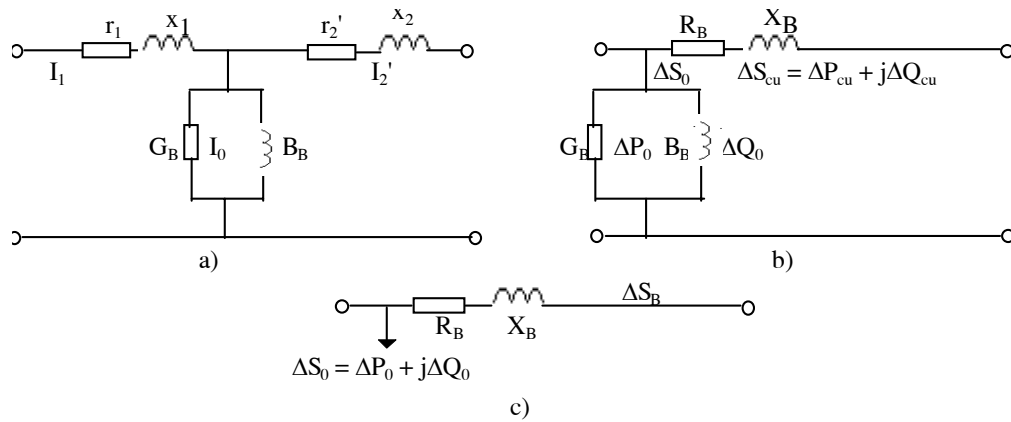
Tổn thất công suất trên đường dây là:

$$\Delta S_d = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} (R_d + jX_d) \quad (7-19)$$

§ 7-4. THÔNG SỐ VÀ SƠ ĐỒ THAY THẾ CỦA MÁY BIẾN ÁP

1. Sơ đồ thay thế của máy biến áp 2 dây quấn.

Sơ đồ thay thế của máy biến áp (MBA) khi đã quy đổi về bên sơ cấp có dạng như hình 7-3.



Hình 7-3. Sơ đồ thay thế của máy biến áp

a - sơ đồ thay thế đầy đủ;

b - sơ đồ thay thế bỏ qua dòng điện không tải;

c - sơ đồ tính toán.

trong đó:

r_1, x_1 - là điện trở và cảm kháng cuộn dây sơ cấp;

r_2', x_2' - là điện trở và cảm kháng cuộn thứ cấp đã quy đổi về bên sơ cấp;

G_B, B_B - là điện dẫn tác dụng và phản kháng trong lõi thép;

I_0 - là dòng điện gây từ;

$\Delta P_0, \Delta Q_0$ - là tổn thất công suất tác dụng và phản kháng trong lõi thép;

R_B, X_B - là điện trở và cảm kháng một pha máy biến áp gây ra tổn thất đồng (ΔS_{cu}).

$$R_B = r_1 + r_2'; X_B = x_1 + x_2' \quad (7-20)$$

$$Z_B = R_B + jX_B \quad (7-21)$$

2. Xác định các tham số của máy biến áp 2 dây quấn

Trong lý lịch máy biến áp, người ta cho 4 thông số:

ΔP_K - là tổn thất công suất ngắn mạch, với dòng $I_K = I_{dm}$ (kW);

ΔP_0 - là tổn thất công suất tác dụng trong lõi thép khi không tải (kW);

$u_K\%$ - là điện áp ngắn mạch (%); $u_K\% = \frac{U_k}{(U_{dm} / \sqrt{3})} 100$

$I_0\%$ - là dòng điện không tải (%). $I_0\% = \frac{I_0}{I_{dm}} 100$

Dựa vào các thông số đó người ta tính được các thông số khác: khi U_H (kV); S_H (kVA) thì

$$R_B = \frac{\Delta P_K U_{dm}^2}{S_{dm}^2} \cdot 10^3 = \frac{u_a \% U_{dm}^2}{100 S_{dm}} (\Omega) \quad (7-22)$$

$$X_B = \frac{u_p \% U_{dm}}{\sqrt{3} I_{dm} 100} = \frac{u_p \% U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot 10 (\Omega) \quad (7-23)$$

Vì $R_B \gg X_B$ nên có thể lấy $X_B \approx \frac{u_k \% U_{dm}^2}{S_{dm}} \cdot 10 (\Omega)$ (7-24)

$$\Delta S_{cu} = \Delta P_{cu} + j\Delta Q_{cu} = \Delta P_K \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 + j \frac{u_p \% S^2}{100 S_{dm}} = \frac{(P^2 + Q^2)}{U} (R_B + jX_B) \quad (7-25)$$

$$G_B = \frac{\Delta P_0}{U_{dm}^2} \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{\Omega} \right) \quad (7-26)$$

$$B_B = \frac{\Delta Q_0}{U_{dm}^2} \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{\Omega} \right) \quad (7-27)$$

$$\Delta Q_0 = \frac{I_0 \% \cdot S_{dm}}{100} \quad (\text{kVAr}) \quad (7-28)$$

Vì dòng điện I_a gây ra ΔP_0 rất nhỏ so với I_p gây ra ΔQ_0 ($\Delta P_0 \ll \Delta Q_0$) nên đôi khi lấy:

$$\Delta S_0 = \Delta P_0 + j\Delta Q_0 \approx \Delta Q_0 \quad (7-29)$$

Tổn thất công suất tổng cộng trong máy biến áp là:

$$\Delta S_B = \Delta S_0 + \Delta S_{cu} = \Delta P_0 + j \frac{I_0 \% \cdot S_{dm}}{100} + \Delta P_K \left(\frac{S}{S_{dm}} \right)^2 + j \frac{u_k \% S^2}{100 S_{dm}} \quad (\text{kVA}) \quad (7-30)$$

§ 7-5. TÍNH TOÁN MẠNG ĐIỆN THEO SƠ ĐỒ THAY THẾ

1. Quy đổi thông số mạng điện về một cấp điện áp cơ bản

Khi mạng điện có nhiều cấp U, để thành lập sơ đồ thay thế ta phải quy đổi các tham số về cùng một cấp U cơ bản. Thường lấy cấp U cao nhất của mạng điện làm điện áp cơ bản.

Tổng trở và tổng dẫn quy đổi từ mạng hạ áp sang cao áp là:

$$R_h' = k^2 \cdot R_h; \quad X_h' = k^2 \cdot X_h \quad (7-31 \text{ a-b})$$

$$B_h' = \frac{1}{k^2} B_h; \quad G_h' = \frac{1}{k^2} G_h \quad (7-32 \text{ a-b})$$

k - là tỷ số của máy biến áp khi không tải.

Trong tính toán k thường lấy bằng tỷ số giữa U_{dm} ở bên sơ cấp và U_{dm} bên thứ cấp.

Trong trường hợp đường dây có nhiều cấp điện áp thì:

$$Z_i' = (\pi k_i)^2 \cdot Z_i \quad Y_i' = (1/\pi k_i)^2 \cdot Y_i \quad (7-33); (7-34)$$

πk_i - là tích các tỉ số biến áp của cấp điện áp thứ i quy về cấp điện áp cơ bản.

Điện áp tại nút thứ i quy đổi về cấp điện áp cơ bản có dạng:

$$U_i' = \pi k_i U_i \quad (7-35)$$

2. Tính toán gần đúng tổn thất điện áp

Điện áp tại đầu và cuối đường dây có giá trị là:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + \delta U^2}; \quad (7-36)$$

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + \delta U^2} \quad (7-37)$$

Khai triển theo nhị thức Niuton, với độ chính xác cho phép, bỏ qua số hạng bậc cao ($U_2 \gg \Delta U$) ta có:

$$U_1 = U_2 + \Delta U + \frac{\delta U^2}{2(U_2 + \Delta U)} \quad (7-38 a)$$

$$U_2 = (U_1 - \Delta U) + \frac{\delta U^2}{2(U_1 - \Delta U)} \quad (7-38 b)$$

Khi thành phần δU tương đối nhỏ, ta có thể bỏ qua. Ví dụ đường dây 110 kV trở xuống có thể lấy:

$$U_1 = U_2 + \Delta U; \quad (7-39)$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U. \quad (7-40)$$

Đối với đường dây U cao hơn và dài hơn yêu cầu độ chính xác cao thì tính toán như trên gặp sai số lớn. Ta phải kể đến thành phần δU .

3. Tính toán mạng điện theo sơ đồ thay thế

Khi tính toán mạng truyền tải điện áp cao, ta cần thành lập sơ đồ thay thế của mạng điện bằng cách thay các phần tử trên sơ đồ bằng sơ đồ thay thế của nó, thứ tự ghép nối giống như sơ đồ thực. Mục đích là đi xác định các thông số chế độ của hệ thống như công suất và điện áp các điểm nút, tổn thất trên các đoạn đường dây...

3.1 Tính thông số chế độ của đường dây

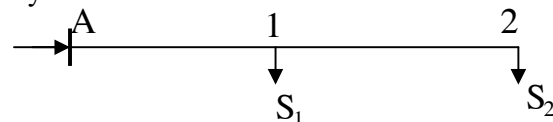
xét mạng điện có sơ đồ như hình vẽ 7-4

Cần xác định các thông số chế độ như công suất phát ra từ nguồn A và điện áp các điểm nút

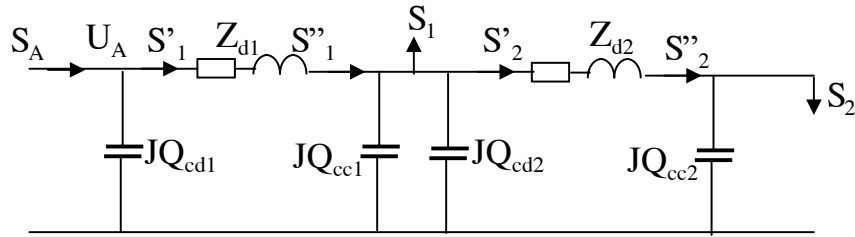
khi biết công suất của phụ tải. Để giải bài toán, ta chia thành hai trường hợp:

+ Khi biết công suất phụ tải, điện áp U_2 tại điểm 2, xác định công suất cấp từ nguồn A và điện áp tại các điểm nút

Sử dụng sơ đồ như trên, ta vẽ sơ đồ thay thế cho mạng



Hình 7-4



Tổng trở các đoạn đường dây: $Z_{d1} = R_{d1} + jX_{d1}$ $Z_{d2} = R_{d2} + jX_{d2}$

Bỏ qua tổn thất vầng quang, điện dẫn PK $JQ_{cc2} = U_2^2 \cdot \frac{B_2}{2}$ Với $B_2 = b_{02} \cdot l_2$

$$S_2'' = S_2 - JQ_{cc2} = P_2'' + j Q_2''$$

$$\Delta S_{d2} = \Delta P_{d2} + j \Delta Q_{d2} = \frac{P_2''^2 + Q_2''^2}{U_2^2} (R_{d2} + j X_{d2}) \quad \text{và} \quad S_2' = S_2'' + \Delta S_{d2} = P_2' + j Q_2'$$

$$U_1 = U_2 + \Delta U_{d2} \quad \text{với} \quad \Delta U_{d2} = \frac{P_2'' R_{d2} + Q_2'' X_{d2}}{U_2} + j \frac{P_2'' X_{d2} - Q_2'' R_{d2}}{U_2} = \Delta U_{d2} + j \delta U_{d2}$$

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_{d2})^2 + \delta U_{d2}^2} \quad \text{và} \quad JQ_{cd2} = U_1^2 \cdot \frac{B_2}{2}; \quad JQ_{cc1} = U_1^2 \cdot \frac{B_1}{2} \quad \text{Với} \quad B_1 = b_{01} \cdot l_1$$

$$S_1'' = S_2' - JQ_{cd2} + S_1 - JQ_{cc1} = P_1'' + j Q_1''$$

$$\Delta S_{d1} = \Delta P_{d1} + j \Delta Q_{d1} = \frac{P_1''^2 + Q_1''^2}{U_1^2} (R_{d1} + j X_{d1}) \quad \text{và} \quad S_1' = S_1'' + \Delta S_{d1} = P_1' + j Q_1'$$

$$U_A = U_1 + \Delta U_{d1} \quad \text{với} \quad \Delta U_{d1} = \frac{P_1'' R_{d1} + Q_1'' X_{d1}}{U_1} + j \frac{P_1'' X_{d1} - Q_1'' R_{d1}}{U_1} = \Delta U_{d1} + j \delta U_{d1} \quad (7 - 41)$$

$$U_A = \sqrt{(U_1 + \Delta U_{d1})^2 + \delta U_{d1}^2} \quad \text{và} \quad JQ_{cd1} = U_A^2 \cdot \frac{B_1}{2} \quad (7 - 42)$$

$$S_A = S_1' - JQ_{cd1}$$

+ Khi biết công suất phụ tải, điện áp U_A tại điểm \hat{A} , xác định công suất cấp từ nguồn A và điện áp tại các điểm nút

Để giải được bài toán, ta phải dùng phương pháp lặp theo hai giai đoạn:

Bước 1: coi điện áp các điểm nút bằng định mức, tính hao tổn công suất trên các đoạn mạng từ phía cuối đường dây về nguồn và công suất cấp từ đầu nguồn A.

Bước 2: sau khi có công suất cấp từ nguồn và truyền tải trên các đoạn đường dây, ta tiến hành tính điện áp các điểm nút theo công suất truyền tải phía đầu đường dây.

Để xác định chính xác điện áp các điểm nút và công suất truyền tải, phép lặp được thực hiện cho đến khi đạt được độ chính xác theo yêu cầu (kết quả tính cho lần lặp thứ n-1 sai khác với lần tính thứ n trong giới hạn cho phép).

Bước 1: tính công suất truyền tải và hao tổn công suất với điện áp các điểm $U = U_{dm}$

Bỏ qua tổn thất vầng quang, điện dẫn PK $JQ_{cc2} = U_{dm}^2 \cdot \frac{B_2}{2}$ Với $B_2 = b_{02} \cdot l_2$

$$S_2'' = S_2 - JQ_{cc2} = P_2'' + j Q_2''$$

$$\Delta S_{d2} = \Delta P_{d2} + j \Delta Q_{d2} = \frac{P_2''^2 + Q_2''^2}{U_{dm}^2} (R_{d2} + j X_{d2}) \quad \text{và} \quad S_2' = S_2'' + \Delta S_{d2} = P_2' + j Q_2'$$

$$S_1'' = S_2' - JQ_{cd2} + S_1 - JQ_{cc1} = P_1'' + j Q_1'' \quad \text{với} \quad JQ_{cd2} = U_{dm}^2 \cdot \frac{B_2}{2}; \quad JQ_{cc1} = U_{dm}^2 \cdot \frac{B_1}{2}$$

$$\Delta S_{d1} = \Delta P_{d1} + j \Delta Q_{d1} = \frac{P_1''^2 + Q_1''^2}{U_{dm}^2} (R_{d1} + j X_{d1}) \quad \text{và} \quad S_1' = S_1'' + \Delta S_{d1} = P_1' + j Q_1'$$

$$S_A = S_1' - JQ_{cd1} \quad \text{với} \quad JQ_{cd1} = U_A^2 \cdot \frac{B_1}{2}; \quad B_1 = b_{01} \cdot l_1$$

Bước 2: tính điện áp các điểm nút sau khi có công suất truyền tải

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_A - \Delta \dot{U}_{d1} \quad \text{với} \quad \Delta \dot{U}_{d1} = \frac{P_1' R_{d1} + Q_1' X_{d1}}{U_A} + j \frac{P_1' X_{d1} - Q_1' R_{d1}}{U_A} = \Delta U_{d1} + j \delta U_{d1} \quad (7 - 43)$$

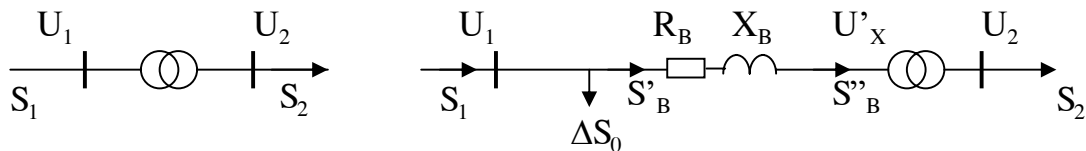
$$\text{Trị số điện áp điểm 1:} \quad U_1 = \sqrt{(U_A - \Delta U_{d1})^2 + \delta U_{d1}^2} \quad (7 - 44)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \Delta \dot{U}_{d2} \quad \text{với} \quad \Delta \dot{U}_{d2} = \frac{P_2' R_{d2} + Q_2' X_{d2}}{U_1} + j \frac{P_2' X_{d2} - Q_2' R_{d2}}{U_1} = \Delta U_{d2} + j \delta U_{d2}$$

$$\text{Trị số điện áp điểm 2:} \quad U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U_{d2})^2 + \delta U_{d2}^2}$$

3.2 Tính thông số chế độ của trạm biến áp

Xét một trạm biến áp có sơ đồ như hình vẽ 7-5



Hình 7-5

Vẽ sơ đồ thay thế trạm biến áp, Trạm biến áp thay thế bao gồm:

- Tổng trở của máy biến áp Z_B được xác định từ các thông số chế tạo (tính R_B và X_B)
- Máy biến áp lý tưởng không có hao tổn, chỉ có tỷ số biến áp $k = \frac{U_{dmC}}{U_{dmH}}$, điểm X là

điểm giả tưởng nằm giữa Z_B và MBA lý tưởng với $U'_X = U_2 \cdot k$

- Hao tổn công suất trong lõi thép (hao tổn không tải) đặc trưng bằng ΔS_0

+ Trường hợp 1: Biết phụ tải của trạm biến áp là S_2 , biết điện áp tại điểm 1 là U_1

Tính công suất đầu vào trạm S_1 và điện áp tại thanh cái thứ cấp U_2

Tính tổn thất công suất công suất trong cuộn dây (hao tổn đồng):

$$S''_B = S_2 = P''_B + j Q''_B \quad \text{và} \quad \Delta S_{Cu} = \Delta P_K \left(\frac{S_2}{S_{dm}} \right)^2 + j \frac{U_k \% \cdot S_2^2}{100 \cdot S_{dm}} \quad (7 - 45)$$

$$S'_B = S''_B + \Delta S_{Cu} = P'_B + j Q'_B$$

$$S_1 = S'_B + \Delta S_0 = S'_B + \Delta P_0 + j \frac{I_0 \% \cdot S_{dm}}{100} = P_1 + j Q_1 \quad (7 - 46)$$

Tính điện áp rơi trên Z_B $\Delta \dot{U}_B = \frac{P'_B R_B + Q'_B X_B}{U_1} + j \frac{P'_B X_B - Q'_B R_B}{U_1} = \Delta U_B + j \delta U_B$

$\dot{U}'_X = \dot{U}_1 - \Delta \dot{U}_B$ Trị số điện áp tại X: $U'_X = \sqrt{(U_1 - \Delta U_B)^2 + \delta U_B^2}$ và $U_2 = \frac{U'_X}{k}$.

+ Trường hợp II: Biết phụ tải của trạm biến áp là S_2 , biết điện áp tại điểm 2 là U_2

Tính công suất đầu vào trạm S_1 và điện áp tại thanh cái sơ cấp U_1

Điện áp tại điểm X: $U'_X = U_2 \cdot k$ và $S''_B = S_2 = P''_B + j Q''_B$

Tính tổn thất công suất trong cuộn dây (hao tổn đồng): $\Delta S_{Cu} = \Delta P_K \left(\frac{S_2}{S_{dm}} \right)^2 + j \frac{U_k \% \cdot S_2^2}{100 \cdot S_{dm}}$

Tính điện áp rơi trên Z_B $\Delta \dot{U}_B = \frac{P''_B R_B + Q''_B X_B}{U'_X} + j \frac{P''_B X_B - Q''_B R_B}{U'_X} = \Delta U_B + j \delta U_B$

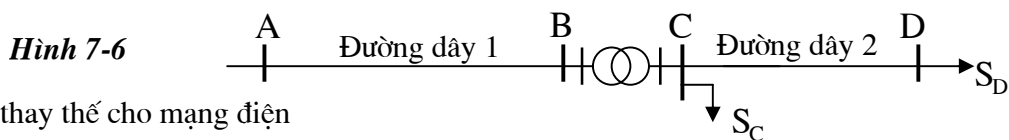
$\dot{U}_1 = \dot{U}'_X + \Delta \dot{U}_B$ Trị số điện áp tại 1: $U_1 = \sqrt{(U'_X + \Delta U_B)^2 + \delta U_B^2}$

$S'_B = S''_B + \Delta S_{Cu} = P'_B + j Q'_B$ và $S_1 = S'_B + \Delta S_0 = S'_B + \Delta P_0 + j \frac{I_0 \% \cdot S_{dm}}{100} = P_1 + j Q_1$

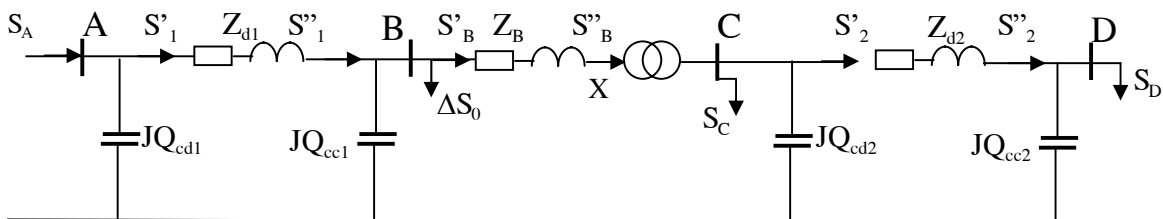
3.3 Tính thông số chế độ trong trường hợp mạng có nhiều cấp điện áp

Phương pháp tính mạng theo sơ đồ thay thế bằng cách quy đổi tổng trở, tổng dẫn và điện áp của mạng có cấp điện áp thấp về cấp điện áp cao hơn (cấp cơ bản) ít được dùng khi giải tích mạng điện nhằm xác định các thông số chế độ của hệ thống. Phương pháp này thường được dùng khi tiến hành tính toán ngắn mạch trong hệ thống điện. Để tính toán các thông số chế độ, người ta cần xét đến sự làm việc của máy biến áp lý tưởng khi có tính đến tỷ số biến áp thực tế của MBA khi làm việc không tải.

Xét mạng điện có sơ đồ như hình vẽ 7-6



Vẽ sơ đồ thay thế cho mạng điện



Cho điện áp tại điểm A, công suất các điểm tải S_C và S_D , tính S_A và điện áp các nút.

+ **Bước 1:** Lấy điện áp các điểm bằng định mức, tính công suất truyền tải

Tổng trở các đoạn đường dây: $Z_{d1} = R_{d1} + jX_{d1}$ $Z_{d2} = R_{d2} + jX_{d2}$

Bỏ qua tổn thất vầng quang, điện dẫn PK $JQ_{cc2} = U_{dm}^2 \cdot \frac{B_2}{2}$ Với $B_2 = b_{02} \cdot l_2$

$$JQ_{cd2} = U_{dm}^2 \cdot \frac{B_2}{2}; JQ_{cc1} = U_{dm}^2 \cdot \frac{B_1}{2}; JQ_{cd1} = U_A^2 \cdot \frac{B_1}{2} \quad \text{Với } B_1 = b_{01} \cdot l_1$$

$$S_2'' = S_D - JQ_{cc2} = P_2'' + j Q_2''$$

$$\Delta S_{d2} = \Delta P_{d2} + j \Delta Q_{d2} = \frac{P_2''^2 + Q_2''^2}{U_{dm}^2} (R_{d2} + j X_{d2}) \quad \text{và} \quad S_2' = S_2'' + \Delta S_{d2} = P_2' + j Q_2'$$

$$S_B'' = S_2' + S_C - JQ_{cd2} = P_B'' + j Q_B'' \quad \text{và} \quad \Delta S_{Cu} = \Delta P_K \left(\frac{S_B''}{S_{dm}} \right)^2 + j \frac{U_k \% \cdot S_B''^2}{100 \cdot S_{dm}}$$

$$S_B' = S_B'' + \Delta S_{Cu} = P_B' + j Q_B'$$

$$S_1'' = S_B' + \Delta S_0 - JQ_{cc1} = S_B' + \Delta P_0 + j \frac{I_0 \% \cdot S_{dm}}{100} - JQ_{cc1} = P_1'' + j Q_1''$$

$$\Delta S_{d1} = \Delta P_{d1} + j \Delta Q_{d1} = \frac{P_1''^2 + Q_1''^2}{U_{dm}^2} (R_{d1} + j X_{d1}) \quad \text{và} \quad S_1' = S_1'' + \Delta S_{d1} = P_1' + j Q_1'$$

$$S_A = S_1' - JQ_{cd1}$$

+ **Bước 2:** Tính điện áp các điểm nút theo công suất truyền tải đầu đường dây

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A - \Delta \dot{U}_{d1} \quad \text{với} \quad \Delta \dot{U}_{d1} = \frac{P_1' R_{d1} + Q_1' X_{d1}}{U_A} + j \frac{P_1' X_{d1} - Q_1' R_{d1}}{U_A} = \Delta U_{d1} + j \delta U_{d1}$$

$$\text{Trị số điện áp điểm B: } U_B = \sqrt{(U_A - \Delta U_{d1})^2 + \delta U_{d1}^2}$$

$$\text{Tính điện áp rơi trên } Z_B \quad \Delta \dot{U}_B = \frac{P_B' R_B + Q_B' X_B}{U_B} + j \frac{P_B' X_B - Q_B' R_B}{U_B} = \Delta U_B + j \delta U_B$$

$$\dot{U}_X = \dot{U}_B - \Delta \dot{U}_B \quad \text{Trị số điện áp tại X: } U_X = \sqrt{(U_B - \Delta U_B)^2 + \delta U_B^2} \quad \text{và} \quad U_C = \frac{U_X}{k}$$

$$\dot{U}_D = \dot{U}_C - \Delta \dot{U}_{d2} \quad \text{với} \quad \Delta \dot{U}_{d2} = \frac{P_2' R_{d2} + Q_2' X_{d2}}{U_1} + j \frac{P_2' X_{d2} - Q_2' R_{d2}}{U_1} = \Delta U_{d2} + j \delta U_{d2}$$

$$\text{Trị số điện áp điểm D: } U_D = \sqrt{(U_C - \Delta U_{d2})^2 + \delta U_{d2}^2}$$

Để tính chính xác các thông số chế độ, sau bước lập thứ nhất, ta có điện áp các điểm nút và tiến hành thực hiện các bước lập tiếp theo với điện áp điểm cuối D và công suất phụ tải đã biết, đến khi đạt được độ chính xác theo yêu cầu thì dừng lại. Thông thường, khi yêu cầu độ chính xác tính toán không cao, người ta chỉ tiến hành lập một bước là đủ.

§ 7-6. CÔNG SUẤT TỰ NHIÊN VÀ KHẢ NĂNG TẢI CỦA ĐƯỜNG DÂY

1. Công suất tự nhiên

Truyền tải điện năng trên đường dây được tiến hành bằng sự truyền sóng điện từ. Nếu bỏ qua điện trở và điện dẫn của đường dây thì tốc độ truyền sóng có giá trị là: $v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$.

L_0, C_0 - là điện cảm và điện dung của 1 đơn vị chiều dài đường dây.

Đối với đường dây trên không tốc độ đó gần bằng tốc độ ánh sáng. Còn dây cáp do điện dung lớn, tốc độ truyền sóng điện từ giảm xuống còn độ một nửa.

Khi tải điện trên đường dây độ dài có hạn, xảy ra hiện tượng phản xạ sóng từ cuối đường dây. Các sóng dòng điện và điện thế di chuyển với tốc độ v do sự xếp chồng của sóng thuận và sóng nghịch. Sự phản xạ của sóng sẽ không có nếu tổng trở của phụ tải (Z_{pt}) bằng tổng trở sóng của đường dây (Z_c):

$$Z_c = \sqrt{L_0/C_0} = Z_{pt} \quad (7-47)$$

Để truyền tải điện năng với tổn thất công suất và năng lượng nhỏ nhất cần phải điều chỉnh điện thế và dòng điện ở đầu đường dây sao cho chúng đồng pha ($\cos\phi = 1$). Khi đó công suất truyền tải với tổng trở bằng tổng trở sóng là:

$$P_{TN} = U^2/Z_c \quad (7-48)$$

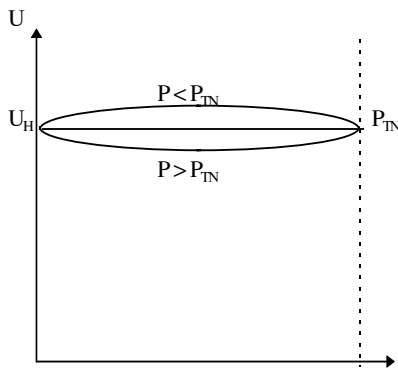
P_{TN} - gọi là công suất tự nhiên của đường dây.

Đối với đường dây trên không điện áp cao, Z_c biến thiên trên phạm vi hẹp (từ 375 - 400 Ω) khi đó ta có thể tìm được công suất tự nhiên ứng với các điện áp khác nhau. Ví dụ điện áp 500 kV $P_{TN} = 625$ MW. Khi dùng dây dẫn phân pha, P_{TN} sẽ tăng lên.

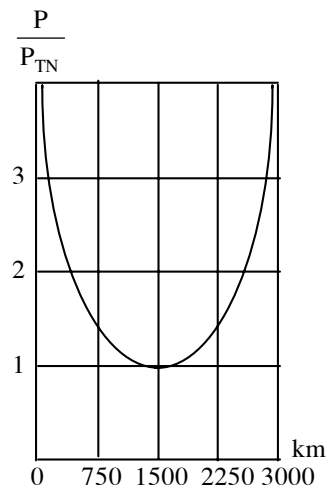
Khi truyền tải công suất tự nhiên, trên mỗi đoạn bất kỳ của đường dây, tổn thất công suất phản kháng bằng công suất phản kháng phát ra của đoạn đường dây đó. Nghĩa là dòng điện và điện thế dọc đường dây có giá trị không đổi.

Khi $P > P_{TN}$, tổn thất công suất phản kháng vượt quá công suất phản kháng phát ra bởi đường dây. Ở 2 đầu đường dây phải bổ xung Q phản kháng vào. Do đó điện thế ở 2 đầu đường dây cao hơn ở giữa.

Khi $P < P_{TN}$ tổn thất Q phản kháng bé hơn công suất phản kháng phát ra của đường dây.



Hình 7-7



Số dư công suất phản kháng chạy về 2 đầu. Do đó điện thế tăng lên và lớn nhất ở giữa đường dây.

Khả năng tải tốt nhất của đường dây ở độ dài 1/2 bước sóng (3000 km) và xấu nhất ở 1/4 bước sóng (hình 7-7)

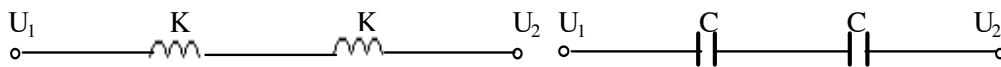
Độ nâng cao điện áp có thể đạt tới 20% ở độ dài 1/4 bước sóng (1500 km). Điện thế tăng như vậy sẽ không có lợi cho nên người ta phải dùng biện pháp bù đường dây.

2. Đường dây tải điện có bù

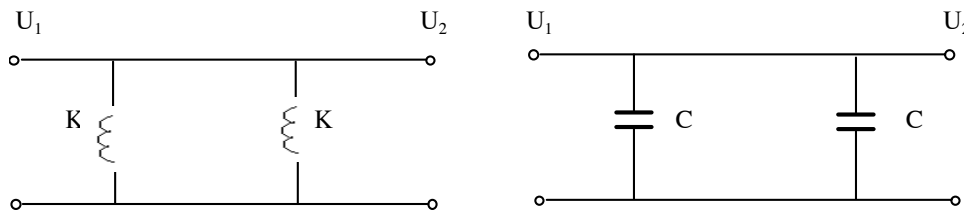
Khả năng tải của đường dây phụ thuộc vào độ dài bước sóng:

$$\lambda_s = 2\pi f L \sqrt{L_0 \cdot C_0} \quad (7-49)$$

Khi L_0 , C_0 biến thiên thì λ_s cũng thay đổi. Sự biến thiên của L_0 , C_0 có thể thực hiện bằng cách đấu tổng trở và tổng dẫn nhân tạo vào đường dây. Khi mắc nối tiếp những cuộn kháng điện K vào đường dây làm tăng cảm kháng và dẫn tới tăng λ_s . Còn khi mắc nối tiếp tụ điện C với đường dây làm giảm cảm kháng và do đó làm giảm λ_s (hình 7-8 a b). Hiệu chỉnh đường dây còn có thể dùng tụ điện và kháng điện mắc // (bù ngang). Mắc kháng điện K song song với đường dây làm giảm điện dung tức là làm giảm λ_s . Còn mắc tụ điện C song song làm tăng độ dài bước sóng λ_s của đường dây (hình 7-9 a b).



Hình 7-8. Bù dọc đường dây bằng kháng điện K và tụ điện C



Hình 7.9. Bù ngang đường dây bằng kháng điện K và tụ điện C

Việc lựa chọn kháng điện và tụ điện thích hợp có thể biến thiên λ_s đến gần trị số có điều kiện làm việc tốt nhất. Đó là hiệu chỉnh đường dây để nó làm việc tương ứng với độ dài nửa bước sóng. Khi đó công suất truyền tải là lớn nhất. Mặt khác phải có sơ đồ bù được tính toán hợp lý cả về kinh tế và kỹ thuật. Thường để tăng khả năng tải của đường dây U từ 110 - 220 kV, người ta dùng bù dọc bằng tụ điện. Đường dây U = 330 - 500 kV dùng bù ngang bằng kháng điện và dùng bù dọc bằng tụ điện. Vị trí đặt tụ điện được lựa chọn một cách hợp lý có tính đến hạn chế tác hại của dòng điện ngắn mạch. Không nên đặt gần trạm phát điện và các máy biến áp tăng hạ áp mà đặt ở giữa hoặc cuối đường dây.

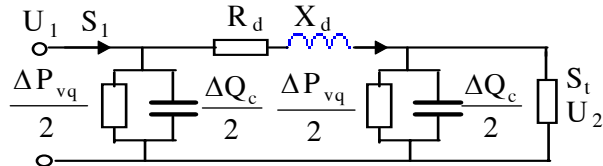
§ 7-7. MỘT SỐ VÍ DỤ TÍNH TOÁN ĐƯỜNG DÂY TẢI ĐIỆN

Ví dụ 1

Một đường dây trên không điện áp 220 kV dài 80 km, dùng dây dẫn ACO-240 cung cấp cho phụ tải có công suất $S = 72 + j54$ MVA. Xác định điện áp U_1 đầu đường dây và công suất đầu vào, biết điện áp cuối đường dây là $U_2 = 218$ kV và $D_{TB} = 8$ m.

Sơ đồ thay thế đường dây có dạng như hình 7-10.

Hình 7-10. Sơ đồ thay thế đường dây



Giải.

Tra phụ lục ứng với dây dẫn ACO-240 ta có:

$$r_0 = 0,13 \text{ (}\Omega/\text{km)}; x_0 = 0,43 \text{ (}\Omega/\text{km)}; b_0 = 2,66 \cdot 10^{-6} \text{ (1/}\Omega\text{km)};$$

$$\Delta P_{vq\max} = 2,7 \text{ (kW/km)}; \Delta P_{vq\min} = 1,2 \text{ (kW/km)}.$$

Tính được điện trở và điện kháng của đường dây:

$$R_d = r_0 L = 0,13 \cdot 80 = 10,4 \text{ (}\Omega); \quad X_d = x_0 L = 0,43 \cdot 80 = 34,4 \text{ (}\Omega)$$

$$\frac{B}{2} = \frac{b_0 L}{2} = \frac{1}{2} \cdot 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 80 = 1,06 \cdot 10^{-4} \text{ (1/}\Omega\text{)}.$$

Dung kháng phát ra của đường dây là:

$$\frac{\Delta Q_c}{2} = U_2^2 \cdot \frac{B}{2} = 218^2 \cdot 1,06 \cdot 10^{-4} = 5,03 \text{ (MVar)}$$

Tổn thất vãng quang điện trung bình đặt ở 2 nửa đường dây là:

$$\frac{\Delta P_{vq}}{2} = 0,5 \left(\frac{\Delta P_{vq\max} + \Delta P_{vq\min}}{2} \right) L = 0,5 \left(\frac{2,7 + 1,2}{2} \right) 80 \cdot 10^{-3} = 0,08 \text{ (MW)}$$

Công suất cuối đường dây:

$$S'' = S_t + \frac{1}{2} \Delta P_{vq} - j \frac{1}{2} \Delta Q_c = 72 + j 54 + 0,08 - j 5,03 = 72,08 + j 48,97 \text{ (MVA)}$$

Tổn thất điện áp dọc và ngang trục là:

$$\Delta U = \frac{P'' R_d + Q'' X_d}{U_2} = \frac{72,08 \cdot 10,4 + 48,97 \cdot 34,4}{218} = 11,16 \text{ (kV)}$$

$$\delta U = \frac{P'' X_d - Q'' R_d}{U_2} = \frac{72,08 \cdot 34,4 - 48,97 \cdot 10,4}{218} = 9,02 \text{ (kV)}$$

Trị số điện áp đầu đường dây:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + \delta U^2} = \sqrt{(218 + 11,16)^2 + 9,02^2} = 230(kV)$$

Tổn thất công suất trên đường dây:

$$\Delta S_d = \frac{P^2 + Q^2}{U_2^2} (R_d + jX_d) = \frac{72,08^2 + 48,97^2}{218^2} (10,4 + j34,4 = 1,66 + j5,48(MVA))$$

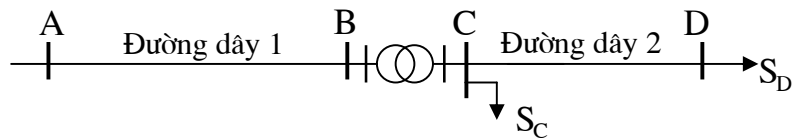
Công suất đầu vào đường dây là: $S' = S'' + \Delta S_d$

$$S_1 = S' + \Delta S_d + 0,5 \Delta P_{vq} - j 0,5 \Delta Q_c = (72,08 + j48,97) + (1,66 + j5,48) + 0,08 - j5,03$$

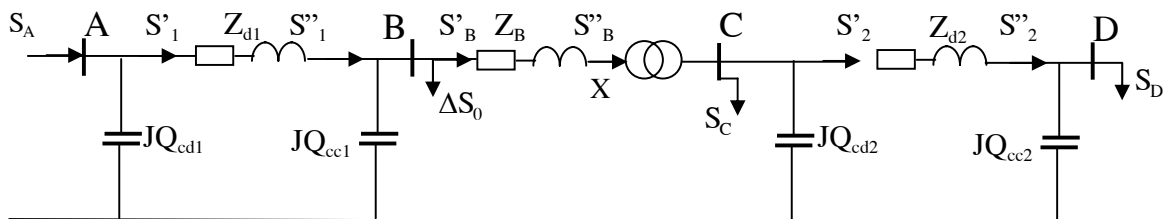
$$S_1 = 73,82 + j49,42 (MVA)$$

Ví dụ 2

Một đường dây trên không $U_{dm} = 110$ kV đoạn từ A đến B dùng dây dẫn AC-70 có điện trở $R_{d1} = 17,16\Omega$, $X_{d1} = 17,76\Omega$, $B_{d1} = 1,02 \cdot 10^{-4} 1/\Omega$. Cung cấp cho hai phụ tải qua trạm biến áp trung gian, MBA loại 16000 kVA - 115/11 kV có thông số $\Delta P_0 = 19$ kW, $\Delta P_K = 85$ kW, $U_K\% = 10,5\%$ và $I_0\% = 0,7\%$, điện áp định mức phía cao áp 115 kV và phía hạ áp 11 kV. Phụ tải của mạng là $S_D = 0,7 + j 0,5$ MVA, $S_C = 11 + j 4,8$ MVA. Đoạn từ C tới D là đường dây trên không có $U_{dm} = 10$ kV dùng dây dẫn AC- 50 có điện trở $R_{d2} = 3,02\Omega$, $X_{d2} = 1,96 \Omega$ (bỏ qua tổng dẫn đường dây). Điện áp đầu vào đường dây là $U_A = 117$ kV. Xác định công suất cấp vào mạng S_A và điện áp các điểm nút của mạng.



Hình 7-11. Sơ đồ mạng điện có 2 cấp điện áp



Hình 7-12. Sơ đồ thay thế mạng điện

Giải.

Ta vẽ sơ đồ thay thế như trên hình 7-12 và ký hiệu các điểm nút như hình vẽ.

$$\text{Tỷ số biến áp } k = \frac{U_{dmC}}{U_{dmH}} = \frac{115}{11} = 10,45$$

Tra bảng và tính tổng trở của máy biến áp:

$$R_B = \frac{\Delta P_K U_{dmC}^2 \cdot 10^3}{S_{dm}^2} = \frac{85 \cdot 115^2 \cdot 10^3}{16000^2} = 4,38(\Omega)$$

$$X_B = \frac{U_K \% \cdot U_{dmC}^2}{100 \cdot S_{dm}} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 16000} = 86,7(\Omega)$$

$$S_2'' = S_D = 0,7 + j 0,5 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_{d2} = \Delta P_{d2} + j \Delta Q_{d2} = \frac{P_2''^2 + Q_2''^2}{U_{dm}^2} (R_{d2} + j X_{d2})$$

$$\Delta S_{d2} = \frac{0,7^2 + 0,5^2}{10^2} (3,02 + j 1,96) = 0,022 + j 0,014 \text{ MVA}$$

$$S_2' = S_2'' + \Delta S_{d2} = (0,7 + j 0,5) + (0,022 + j 0,014) = 0,722 + j 0,514 \text{ MVA}$$

$$S_B'' = S_2' + S_C = (0,722 + j 0,514) + 11 + j 4,8 = 11,722 + j 5,314 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_{Cu} = \Delta P_K \left(\frac{S_B''}{S_{dm}} \right)^2 + j \frac{U_K \% \cdot S_B''^2}{100 \cdot S_{dm}} = 0,085 \frac{(11,722^2 + 5,314^2)}{16^2} + j \frac{10,5 \cdot (11,722^2 + 5,314^2)}{100 \cdot 16} =$$

$$\Delta S_{Cu} = 0,055 + j 1,084 \text{ MVA}$$

$$S_B' = S_B'' + \Delta S_{Cu} = (11,722 + j 5,314) + (0,055 + j 1,084) = 11,777 + j 6,398 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_0 = \Delta P_0 + j \frac{I_0 \% \cdot S_{dm}}{100} = 0,019 + j \frac{0,7 \cdot 16}{100} = 0,019 + j 0,112 \text{ MVA}$$

$$JQ_{cc1} = j U_{dm}^2 \cdot \frac{B_1}{2} = j 110^2 \cdot \frac{1,02 \cdot 10^{-4}}{2} = j 0,617 \text{ MVar}$$

$$S_1'' = S_B' + \Delta S_0 - JQ_{cc1} = (11,777 + j 6,398) + (0,019 + j 0,112) - j 0,617$$

$$S_1'' = 11,796 + j 5,89 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_{d1} = \Delta P_{d1} + j \Delta Q_{d1} = \frac{P_1''^2 + Q_1''^2}{U_{dm}^2} (R_{d1} + j X_{d1})$$

$$\Delta S_{d1} = \frac{11,796^2 + 5,89^2}{110^2} (17,16 + j 17,76) = 0,246 + j 0,248 \text{ MVA}$$

$$S_1' = S_1'' + \Delta S_{d1} = (11,796 + j 5,89) + (0,246 + j 0,248) = 12,042 + j 6,138 \text{ MVA}$$

$$JQ_{cd1} = j U_A^2 \cdot \frac{B_1}{2} = j 117^2 \cdot \frac{1,02 \cdot 10^{-4}}{2} = j 0,698 \text{ MVar}$$

$$S_A = S_1' - JQ_{cd1} = (12,042 + j 6,138) - j 0,698 = 12,042 + j 5,44 \text{ MVA}$$

+ **Bước 2:** Tính điện áp các điểm nút theo công suất truyền tải đầu đường dây

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A - \Delta \dot{U}_{d1} \quad \text{với} \quad \Delta \dot{U}_{d1} = \frac{P_1' R_{d1} + Q_1' X_{d1}}{U_A} + j \frac{P_1' X_{d1} - Q_1' R_{d1}}{U_A} = \Delta U_{d1} + j \delta U_{d1}$$

$$\Delta \dot{U}_{d1} = \frac{12,042.17,16 + 6,138.17,76}{117} + j \frac{12,042.17,76 - 6,138.17,16}{117}$$

$$\Delta \dot{U}_{d1} = \Delta U_{d1} + j \delta U_{d1} = 2,597 + j 0,9276 \quad \text{kV}$$

Trị số điện áp: $U_B = \sqrt{(U_A - \Delta U_{d1})^2 + \delta U_{d1}^2} = \sqrt{(117 - 2,597)^2 + 0,9276^2} = 114,4 \text{ kV}$

$$\Delta \dot{U}_B = \frac{P_B' R_B + Q_B' X_B}{U_B} + j \frac{P_B' X_B - Q_B' R_B}{U_B} = \Delta U_B + j \delta U_B$$

$$\Delta \dot{U}_B = \frac{11,777.4,38 + 6,398.86,7}{114,4} + j \frac{11,777.86,7 - 6,398.4,38}{114,4} = 5,295 + j 32,39 \text{ kV}$$

$$\dot{U}_X = \dot{U}_B - \Delta \dot{U}_B \quad U'_X = \sqrt{(U_B - \Delta U_B)^2 + \delta U_B^2}$$

$$U'_X = \sqrt{(114,4 - 5,295)^2 + 32,39^2} = 113,8 \text{ kV}$$

$$U_C = \frac{U'_X}{k} = \frac{113,8}{10,45} = 10,89 \text{ kV.}$$

$$U_D = U_C - \Delta U_{d2} \quad \text{với} \quad \Delta \dot{U}_{d2} = \frac{P_2' R_{d2} + Q_2' X_{d2}}{U_1} = \frac{0,722.3,02 + 0,514.1,96}{10,89} = 0,2927 \text{ kV}$$

Trị số điện áp điểm D: $U_D = 10,89 - 0,2927 = 10,5973 \text{ kV}$

CHƯƠNG 8

CƠ KHÍ DÂY DẪN ĐƯỜNG DÂY TRÊN KHÔNG

§ 8-1. PHÂN CẤP ĐƯỜNG DÂY VÀ VÙNG KHÍ HẬU

Dây dẫn, dây chống sét của đường dây luôn chịu tác dụng của mưa, gió, nhiệt độ, trọng lượng và sức căng của dây. Vì vậy, ngoài việc tính toán về điện ta còn phải kiểm tra độ bền cơ học của nó dưới tác động của nội lực và ngoại lực. Tính toán độ bền cơ học các phần tử của đường dây gọi là tính toán cơ khí đường dây trên không. Đây là một yếu tố cơ bản để đảm bảo việc cung cấp điện thường xuyên, liên tục và an toàn cho con người. Nó rất cần cho công tác thiết kế, thi công và sử dụng mạng điện.

Điều kiện tính toán đường dây trên không phụ thuộc vào cấp đường dây, vào vùng khí hậu và các tình trạng làm việc của nó. Theo điện áp đường dây và loại hộ tiêu thụ điện người ta chia đường dây trên không thành 3 cấp như trong bảng 8-1.

Bảng 8-1. PHÂN CẤP ĐƯỜNG DÂY TRÊN KHÔNG

Cấp đường dây	Điện áp định mức (kV)	Loại hộ tiêu thụ điện
I	>35	Bất cứ loại nào
	35	Loại I và loại II
II	35	Loại III
	$\geq 1 - 20$	Bất cứ loại nào
III	<1	Bất cứ loại nào

Để đảm bảo độ bền cơ học, khi tính toán đường dây trên không phải dự trữ một hệ số an toàn nhất định (thường $n = 2 - 2,5$).

$$[\sigma]_{cp} = \frac{\sigma_{gh}}{n}$$

Nơi không dân cư: Dây nhiều sợi $n = 2$; dây một sợi $n = 2,5$.

Nơi có dân cư và các khoảng vượt quan trọng: Thép nhôm $n = 2$; dây nhôm tiết diện $> 120 \text{ mm}^2$ thì $n = 2$ (dây nhôm tiết diện $\leq 120 \text{ mm}^2$ thì $n = 2,5$); Dây đồng tiết diện $> 70 \text{ mm}^2$ thì $n = 2$ (dây nhôm tiết diện $\leq 70 \text{ mm}^2$ thì $n = 2,5$)

Đồng thời căn cứ vào điện áp, vật liệu làm dây dẫn và tính chất vùng dân cư người ta quy định tiết diện nhỏ nhất của dây dẫn và dây chống sét như trong bảng 8-2.

Vùng đông dân cư là các thành phố, thị trấn, các xí nghiệp, nhà máy, bến tàu thuyền, bến cảng, nhà ga, công viên, trường học, chợ, bãi tắm..., làng xóm trong hiện tại và tương lai quy hoạch 5 năm tới đã dự kiến.

Vùng không dân cư là vùng không có nhà cửa, mặc dù vẫn có người và các phương tiện máy móc cơ giới nông lâm nghiệp qua lại. Các vườn cây, khu vực có nhà cửa thưa thớt nằm rải rác.

khoảng vượt quan trọng là nơi các đường dây giao chéo, song song nhau, vượt đường sắt, đường quốc lộ, đường dây thông tin, vượt sông hồ....

Bảng 8-2. TIẾT DIỆN NHỎ NHẤT CHO PHÉP CỦA DÂY DẪN VÀ DÂY CHỐNG SÉT

Điện áp (kV)	Vùng dân cư	Mã hiệu và tiết diện nhỏ nhất của dây dẫn
< 1	Không dân cư	A16, AC10, П1МC.
	Có dân cư	A25, AC 25
≥ 1 - 35	Không dân cư	A 25, AC 16
	Có dân cư	A35, AC25, ПC25, П1MС25.
110	Bất kỳ	AC70
150	Bất kỳ	AC120
220	Bất kỳ	AC240

Khi tính toán và lựa chọn kết cấu đường dây trên không, phải căn cứ vào vùng khí hậu mà đường dây đi qua. Điều kiện khí hậu được quan sát, theo dõi một cách kỹ lưỡng trong một thời gian dài và ở tình trạng bất lợi nhất (đối với đường dây có $U \leq 35$ kV trong vòng 5 năm, đường dây 110 - 220 kV trong vòng 10 năm, đường dây ≥ 330 kV thời gian từ 15 năm trở lên). Điều kiện khí hậu bất lợi cần thu thập là tốc độ gió cực đại v_{max} , nhiệt độ cực tiểu θ_{min} , nhiệt độ không khí cực đại θ_{max} .

Căn cứ vào nhiệt độ và tốc độ gió khác nhau ứng với điều kiện khí hậu thường xuyên xảy ra, nước ta tạm thời phân làm 4 vùng khí hậu như đã cho trong bảng 8-3.

Bảng 8-3. PHÂN VÙNG KHÍ HẬU

Điều kiện tính toán	Vùng khí hậu			
	I	II	III	IV
- Lúc nhiệt độ không khí thấp nhất: Nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$ (θ_{min}).	5	5	5	5
Tốc độ gió tương ứng (m/s).	0	0	0	0
- Lúc nhiệt độ không khí cao nhất: Nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$ (θ_{max}).	40	40	40	40
Tốc độ gió tương ứng (m/s).	0	0	0	0
- Lúc gió lớn nhất: Nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$ (θ_{TB}).	25	25	25	25
Tốc độ gió tương ứng (m/s).	40	35	30	25

Chú ý:

Tốc độ gió cho ở bảng 8-3 áp dụng đối với đường dây có chiều cao từ 30 m trở xuống.

Nếu chiều cao từ 30 - < 50 m thì tốc độ gió tăng lên 1,15 lần.

Nếu chiều cao từ 50 - < 70 m thì tốc độ gió tăng lên 1,25 lần.

Nếu chiều cao từ 70 - 100 m thì tốc độ gió tăng lên 1,4 lần.

Nếu đường dây đi qua khu vực thành phố, khu dân cư có chiều cao nhà cửa, công trình công cộng vượt quá 1/3 chiều cao cột điện thì cho phép giảm tốc độ gió trong bảng đi 16%. Khi tính toán cho khu vực có điều kiện khí hậu qua điều tra khác với các thông số cho trong bảng thì lấy số liệu thực tế thu thập tại địa phương để tính toán.

Trong khi chờ nhà nước có văn bản chính thức về phân vùng khí hậu, ta áp dụng quy định tạm thời, sơ bộ phân vùng khí hậu như sau:

- Vùng I: là vùng ven biển đồng bằng bắc bộ, các hải đảo ...
- Vùng II: là vùng cách bờ biển Bắc Bộ từ 40 - 80 km, vùng ven biển miền trung và miền nam.
- Vùng III: là vùng trung du tây nguyên và cách bờ biển trên 80 km.
- Vùng IV: là vùng núi cao, vùng xa ...

§ 8.2. TẢI TRỌNG CƠ GIỚI TÁC DỤNG LÊN DÂY DẪN

1. Trọng lượng bản thân dây dẫn

Dây dẫn và dây chống sét chịu tác dụng thường xuyên của tải trọng bên ngoài là gió và sự biến đổi của nhiệt độ, làm cho sức căng và độ võng của nó luôn luôn thay đổi. Để biểu diễn tải trọng của dây dẫn trong tính toán ta dùng khái niệm tỷ tải (tải trọng riêng). Tỷ tải là phụ tải cơ giới tác dụng lên chiều dài 1 mét dây dẫn có tiết diện là 1 mm². Đơn vị tỷ tải là N/m.mm².

Đối với dây dẫn một sợi, tỷ tải do trọng lượng bản thân có giá trị là:

$$g_1 = \frac{9,81.G.10^{-3}}{F} \left(\frac{N}{m.mm^2} \right) \quad (8-1)$$

trong đó: G - là khối lượng 1 km cho trong bảng tra cứu (Kg/km);

F - là tiết diện thực của dây dẫn (mm²);

Nếu cho biết trọng lượng riêng của dây dẫn δ thì:

$$g_1 = \delta.10^{-3} \left(\frac{N}{m.mm^2} \right)$$

Đối với dây dẫn nhiều sợi, tỷ tải tăng thêm do chiều dài thực của mỗi sợi dây khác với chiều dài đo được từ 2 - 3% (thường lấy bằng 1,025):

$$g_1 = (1,02 - 1,03) \frac{G}{F} 10^{-3} \left(\frac{N}{m.mm^2} \right) \quad (8-2)$$

Dây phức hợp làm bằng hai vật liệu, ví dụ dây thép nhôm (AC) thì tỷ tải là:

$$g_1 = (1,02 - 1,03) \cdot \frac{\delta_A F_A + \delta_{Fe} F_{Fe}}{F_A + F_{Fe}} 10^{-3} \left(\frac{N}{m.mm^2} \right) \quad (8-3)$$

δ_A, δ_{Fe} - là trọng lượng riêng của nhôm và thép (N/dm³);

F_A, F_{Fe} - là tiết diện phân nhôm và phân thép (mm²);

$F = F_A + F_{Fe}$ - là tiết diện của dây phức hợp AC (mm²).

2. Tải trọng do áp lực gió lên dây

Áp lực gió lên dây dẫn và dây chống sét tính toán theo biểu thức:

$$P = \alpha_k C_x Q F_C \sin \varphi \quad (8-4)$$

trong đó:

α_k - là hệ số phân bố không đều của gió trong khoảng cột, lấy giá trị như trong bảng 8-4;

C_x - là hệ số khí động học của không khí phụ thuộc vào bề mặt cản gió và đường kính dây;

Với đường kính dây dẫn $d < 20$ mm, $C_x = 1,1$;

Đường kính dây dẫn $d \geq 20 \text{ mm}$, $C_x = 1,2$.

Q - là áp lực gió lên dây, xác định theo động năng của gió;

$$Q = v^2/16 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (8-5)$$

F_C - là bề mặt cản gió (m^2);

φ - là góc giữa hướng gió và tuyến dây (trong tính toán lấy giá trị cực đại $\sin\varphi = 1$).

Bảng 8-4. HỆ SỐ PHÂN BỐ KHÔNG ĐỀU CỦA GIÓ

Tốc độ gió (m/s)	20	25	30	≥ 35
α_K	1	0,85	0,75	0,7

Áp lực của gió lên 1 mét chiều dài dây dẫn là:

$$P = k \frac{9,81 \cdot \alpha_K \cdot C_x \cdot d \cdot v^2}{16} 10^{-3} \text{ (N/m)} \quad (8-6)$$

Trong đó k là hệ số tính tới chiều dài khoảng vượt

Chiều dài khoảng vượt l (m)	≤ 50	100	150	≥ 250
k	1,2	1,1	1,05	1

Tỷ tải của gió là:

$$g_2 = \frac{P}{F} = k \frac{9,81 \cdot \alpha_K \cdot C_x \cdot d \cdot v^2}{16 \cdot F} 10^{-3} \text{ (N/m.mm}^2\text{)} \quad (8-7)$$

Tỷ tải tổng hợp của dây dẫn là:

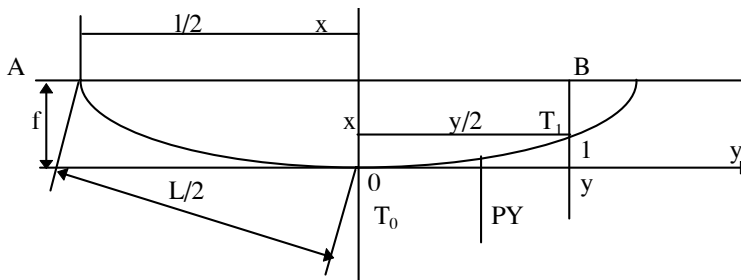
$$\vec{g}_3 = \vec{g}_1 + \vec{g}_2$$

$$g_3 = \sqrt{g_1^2 + g_2^2} \left(\frac{N}{m.mm^2} \right) \quad (8-8)$$

Tỷ tải của dây dẫn có thể được tính sẵn cho trong các bảng phụ lục.

§ 8-3. SỨC CĂNG VÀ ĐỘ VÔNG CỦA DÂY

Khi một sợi dây mềm được buộc chặt ở 2 đầu thì phương trình của chúng có dạng dây xích như đã xét trong toán học. Sau đây ta xét phương trình của dây dẫn và cáp được cột chặt ở 2 đầu. Giả sử một dây dẫn được giữ chặt ở 2 điểm A và B có cùng một độ cao (hình 8-1)



Hình 8-1.
Đường cong độ
vông của dây dẫn

Ta xét điều kiện cân bằng của dây dẫn trên đoạn 0 - 1 nào đó kể từ gốc tọa độ là điểm thấp nhất 0.

Gọi L - là chiều dài thực của dây dẫn (đoạn cong AOB).

l - là khoảng vọt của dây dẫn (đoạn AB)

f - là độ võng của dây.

Giả sử trọng lượng và áp lực gió phân bố đều trên chiều dài đường dây.

p (N/m) - là tải trọng trên 1 mét chiều dài dây dẫn.

Điểm cuối của đoạn dây xét (điểm 1) có tọa độ là: (x, y). Tại điểm 1 và điểm 0 sức căng dây là T_1 và T. Trọng tâm tải trọng là p.y đặt cách trục x một đoạn là y/2.

Khi dây cân bằng, phương trình mômen đối với điểm 1 có dạng:

$$T.x - p.y.y/2 = 0$$

suy ra: $T.x = p.y.y/2$ (8-9)

Chia cả 2 vế của (8-9) cho tiết diện F của dây dẫn ta được:

$$\frac{T}{F}x = \frac{p.y}{F} \cdot \frac{y}{2} = \frac{p}{F} \frac{y^2}{2}$$
 (8-10)

ký hiệu:

$$\sigma = \frac{T}{F}$$
 (8-11)

$$g = \frac{p}{F}$$
 (8-12)

σ - gọi là ứng suất vật liệu làm dây dẫn (N/mm²);

g - gọi là tỷ tải của dây dẫn (N/m.mm²).

Phương trình mô men có dạng:

$$\sigma.x = g \cdot \frac{y^2}{2} \text{ hay } y^2 = \frac{2\sigma}{g}x$$
 (8-13)

suy ra: $x = \frac{g}{2\sigma}y^2$ (8-14)

Đây là phương trình Parapon mà không phải dây xích vì dây dẫn được cố định chặt ở 2 đầu.

Trục tọa độ ký hiệu như hình 8-1 trùng với các điều kiện sau:

$$x = f; \quad y = \frac{l}{2}; \quad y^2 = \frac{l^2}{4}$$
 (8-15)

Thay (8-12) và (8-11) ta được

$$g = \frac{8\sigma f}{l^2} \rightarrow f = \frac{gl^2}{8\sigma}$$
 (8-16)

$$\sigma = \frac{T}{F} = \frac{gl^2}{8f}$$
 (8-17)

Theo giải tích ta tìm được độ dài cung Parapôn từ gốc tọa độ 0 đến điểm 1 có tọa độ x, y là:

$$S_{01} = y \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{x}{y} \right)^2 \right] \quad (8-18)$$

Khi $x = f$; $y = l/2$ thay giá trị $x^2 = \left[\frac{gl^2}{8\sigma} \right]^2$; $y^2 = \frac{l^2}{4}$ vào (8-18) độ dài S_{01} có giá trị là $\frac{L}{2}$ khi đó:

$$\frac{L}{2} = \frac{l}{2} \left[1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{4g^2 l^4}{24\sigma^2} \right] \quad (8-19)$$

Thay thế và rút gọn ta được :

$$L = l \left[1 + \frac{g^2 \cdot l^2}{24\sigma^2} \right] \quad (8-20)$$

Phương trình (8-20) gọi là phương trình đường đàn hồi của dây dẫn.

Thay (8-17) vào (8-20) ta tìm được:

$$L = l \left(1 + \frac{8f^2}{3l} \right) \quad (8-21)$$

Công thức (8-17) và (8-21) là những dạng cơ bản để tính ứng suất, độ võng và chiều dài dây dẫn.

§ 8-4. ỨNG SUẤT VÀ ĐỘ VÕNG CỦA DÂY TRONG ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU KHÁC NHAU

Khi nhiệt độ và tải trọng của dây dẫn thay đổi thì ứng suất và độ võng của nó cũng thay đổi nghĩa là trạng thái của dây dẫn thay đổi theo điều kiện khí hậu khác nhau.

Giả sử ở trạng thái thứ I dây dẫn có nhiệt độ: θ_1 ; tỷ tải g_1 ; ứng suất vật liệu σ_1 và chiều dài dây là L_1 .

Ở trạng thái thứ II, dây dẫn có nhiệt độ là: θ_{II} ($\theta_{II} > \theta_1$); tỷ tải g_{II} ; ứng suất vật liệu σ_{II} và chiều dài dây là L_{II} .

Vì nhiệt độ tăng lên, ở trạng thái tự do chiều dài dây dẫn bị giãn nở và tăng đến giá trị L' :

$$L' = L_1 [1 + \alpha(\theta_{II} - \theta_1)] \quad (8-22)$$

trong đó: α - là hệ số giãn dài nhiệt độ của dây ($1/^\circ\text{C}$).

Do chiều dài tăng lên, nên độ võng của dây cũng tăng từ f_1 đến f_{II} :

$$f_{II} = \frac{g_{II} l^2}{8\sigma_{II}} \text{ hay } \sigma_{II} = \frac{g_{II} l^2}{8f_{II}} \quad (8-23)$$

Mặt khác dưới tác dụng của lực đàn hồi thì ứng suất bị giảm đi và dây dẫn bị ngắn đi một đoạn, chiều dài của dây dẫn lúc này có giá trị là:

$$L_{II} = L' [1 - \beta(\sigma_1 - \sigma_{II})] = L' [1 + \beta(\sigma_{II} - \sigma_1)] \quad (8-24)$$

$\beta = 1/E$ là hệ số giãn dài đàn hồi (mm^2/N);

E - là mô đun đàn hồi của dây dẫn (N/mm^2).

Thay giá trị L' từ (8-22) vào (8-24) và biến đổi ta được:

$$\begin{aligned} L_{II} &= L_1 [1 + \alpha(\theta_{II} - \theta_1)] \cdot [1 + \beta(\sigma_{II} - \sigma_1)] \\ L_{II} &= L_1 [1 + \alpha(\theta_{II} - \theta_1) + \beta(\sigma_{II} - \sigma_1) + \alpha\beta(\theta_{II} - \theta_1)(\sigma_{II} - \sigma_1)] \end{aligned} \quad (8-25)$$

Vì α, β là những vô cùng bé bậc cao cho nên tích số $\alpha\beta$ có thể bỏ qua. Khi đó ta có:

$$L_{II} = L_I [1 + \alpha(\theta_{II} - \theta_I) - \beta(\sigma_I - \sigma_{II})] \quad (8-26)$$

Với $L_{II} = 1 [1 + \frac{g_{II}^2 J^2}{24\sigma_{II}^2}]$; $L_I = 1 [1 + \frac{g_I^2 J^2}{24\sigma_I^2}]$

thay giá trị L_{II} và L_I từ trên vào (8-26):

$$1 [1 + \frac{g_{II}^2 J^2}{24\sigma_{II}^2}] = 1 [1 + \frac{g_I^2 J^2}{24\sigma_I^2}] \cdot [1 + \alpha(\theta_{II} - \theta_I) + \beta(\sigma_{II} - \sigma_I)]$$

$$1 [1 + \frac{g_{II}^2 J^2}{24\sigma_{II}^2}] = 1 [1 + \frac{g_I^2 J^2}{24\sigma_I^2}] + l [\alpha(\theta_{II} - \theta_I) + \beta(\sigma_{II} - \sigma_I)] \quad \text{vì } l \cong L_{II} \text{ nên}$$

Thay vào và biến đổi, rút gọn ta được $\frac{g_{II}^2 J^2}{24\sigma_{II}^2} = \frac{g_I^2 J^2}{24\sigma_I^2} + (\sigma_{II} - \sigma_I) + \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{II} - \theta_I)$

hay viết dưới dạng:

$$\sigma_{II} - \frac{g_{II}^2 J^2}{24\beta\sigma_{II}^2} = \sigma_I - \frac{g_I^2 J^2}{24\beta\sigma_I^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{II} - \theta_I) \quad (8-27)$$

Phương trình (8-27) là công thức cơ bản để tính toán dây dẫn gọi là phương trình trạng thái của dây dẫn. Khi biết trạng thái thứ I có ứng suất σ_I ta có thể xác định được σ_{II} ứng với trạng thái thứ II và ngược lại. Từ ứng suất và tải trọng riêng tính được độ võng của dây:

$$f_{II} = \frac{g_{II} J^2}{8\sigma_{II}} \quad (8-28)$$

Công thức (8-28) có dạng bậc 3 đối với σ_{II} . Để dễ dàng giải theo phương pháp dò hay bằng phương pháp gần đúng, ta đưa về dạng:

$$\sigma_{II} - \frac{B}{\sigma_{II}^2} = A \quad (\text{A và B là các hệ số}) \quad (8-29)$$

§ 8-5. ỨNG SUẤT CỰC ĐẠI VÀ KHOẢNG VƯỢT GIỚI HẠN CỦA DÂY DẪN

Ứng suất của dây dẫn đạt giá trị lớn nhất khi tải trọng lớn nhất (tốc độ gió cực đại) hoặc khi nhiệt độ thấp nhất (θ_{\min}). Vì tải trọng lớn nhất thường không đồng thời xuất hiện với nhiệt độ thấp nhất nên cần phải xét xem với điều kiện nào thì dây dẫn có ứng suất lớn nhất. Muốn vậy ta dựa vào phương trình trạng thái:

$$\sigma_{II} - \frac{g_{II}^2 J^2}{24\beta\sigma_{II}^2} = \sigma_I - \frac{g_I^2 J^2}{24\beta\sigma_I^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{II} - \theta_I) \quad (8-27)$$

Chia 2 vế phương trình (8-27) cho l^2 và lấy giới hạn khi $l \rightarrow \infty$ ta được:

$$\frac{g_{II}^2}{24\beta\sigma_{II}^2} = \frac{g_I^2}{24\beta\sigma_I^2} \quad \text{hay} \quad \frac{g_{II}^2}{g_I^2} = \frac{\sigma_{II}^2}{\sigma_I^2} \quad (8-30)$$

Phương trình (8-30) cho thấy, khi khoảng vượt rất lớn thì ứng suất của dây dẫn chỉ phụ thuộc vào tải trọng cơ giới mà không phụ thuộc vào nhiệt độ. Nghĩa là khi khoảng vượt rất lớn thì ứng suất cực đại (σ_{\max}) xuất hiện ở trong dây dẫn khi tốc độ gió đạt giá trị cực đại (V_{\max}).

Với khoảng vượt bé, cho $l \rightarrow 0$ phương trình trạng thái (8-27) còn lại:

$$\sigma_{II} = \sigma_I - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{II} - \theta_I) \quad (8-31)$$

Phương trình (8-31) cho thấy, với khoảng vượt nhỏ thì ứng suất dây dẫn chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ và đạt giá trị lớn nhất khi nhiệt độ cực tiểu (θ_{\min}).

Khoảng vượt mà khi đó ứng suất lớn nhất xuất hiện đồng thời trong cả 2 điều kiện V_{\max} và θ_{\min} gọi là khoảng vượt tối hạn (ký hiệu l_{th}).

Để tìm l_{th} ta cho σ_I và σ_{II} cùng đạt giá trị σ_{\max} và lấy bằng ứng suất cho phép của vật liệu: $\sigma_{\max} = [\sigma]_{cp}$.

Gọi trạng thái I ứng với $\theta_I = \theta_{\min}$; $g_I = g_1$ ($V = 0$).

Trạng thái II ứng với V_{\max} và $g_{II} = g_3$; $\theta_{II} = \theta_{TB}$.

Thay số liệu như trên vào (8-27), phương trình trạng thái có dạng:

$$[\sigma]_{cp} - \frac{g_3^2 \cdot l_{th}^2}{24\beta[\sigma]_{cp}^2} = [\sigma]_{cp} - \frac{g_1^2 \cdot l_{th}^2}{24\beta[\sigma]_{cp}^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{TB} - \theta_{\min}) \quad (8-32)$$

$$\frac{g_3^2 \cdot l_{th}^2}{24\beta[\sigma]_{cp}^2} = \frac{g_1^2 \cdot l_{th}^2}{24\beta[\sigma]_{cp}^2} + \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{TB} - \theta_{\min}) \quad \text{hay} \quad \frac{(g_3^2 - g_1^2) \cdot l_{th}^2}{24[\sigma]_{cp}^2} = \alpha(\theta_{TB} - \theta_{\min})$$

Giải ra:

$$l_{th} = [\sigma]_{cp} \sqrt{\frac{24\alpha(\theta_{TB} - \theta_{\min})}{g_3^2 - g_1^2}} \quad (8-33)$$

Ở điều kiện chuẩn VN, $\theta_{\min} = 5^{\circ}\text{C}$; $\theta_{TB} = 25^{\circ}\text{C}$, khoảng vượt tối hạn là:

$$l_{th} = [\sigma]_{cp} \sqrt{\frac{24\alpha(25-5)}{g_3^2 - g_1^2}} = \frac{22[\sigma]_{cp}}{g_2} \sqrt{\alpha} \quad (8-34)$$

Xác định khoảng vượt tối hạn l_{th} và so sánh nó với khoảng vượt thực tế (l) ta có thể biết được ứng suất cực đại xảy ra khi nào. Như vậy về cơ bản phương trình trạng thái có 2 dạng sau:

Khi $l > l_{th}$; σ_{\max} xuất hiện khi V_{\max} thì phương trình trạng thái có dạng:

$$\sigma_{II} - \frac{g_{II}^2 \cdot l^2}{24\beta\sigma_{II}^2} = [\sigma]_{cp} - \frac{g_3^2 \cdot l^2}{24\beta[\sigma]_{cp}^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{\max} - \theta_{TB}) \quad (8-35)$$

Khi $l < l_{th}$; σ_{\max} xuất hiện khi θ_{\min} ta có:

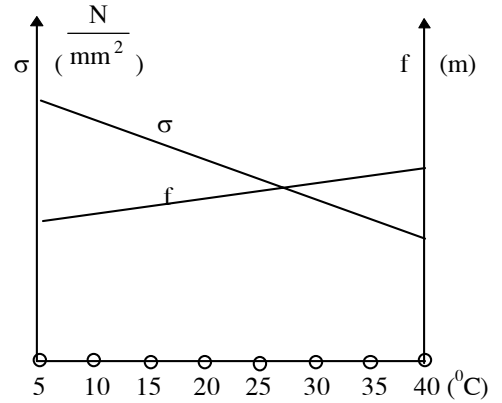
$$\sigma_{II} - \frac{g_{II}^2 \cdot l^2}{24\beta\sigma_{II}^2} = [\sigma]_{cp} - \frac{g_1^2 \cdot l^2}{24\beta[\sigma]_{cp}^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{\max} - \theta_{\min}) \quad (8-36)$$

Cho θ biến thiên từ $5 - 40^{\circ}\text{C}$ sẽ tìm được ứng suất và độ võng tương ứng. Độ võng lớn nhất (f_{\max}) ở nhiệt độ $\theta = 40^{\circ}\text{C}$ và không có gió. Khi $l = l_{th}$ thì có thể dùng một trong hai phương trình để tính toán.

Căn cứ vào sự phụ thuộc giữa ứng suất và độ võng của dây vào nhiệt độ ta vẽ được đường cong gọi là đường cong lắp dựng. Để giảm bớt khối lượng tính toán, cho nhiệt độ thay đổi mỗi lần 5°C. Đường cong lắp dựng có dạng như hình 8-2

Hình 8-2. Đường cong lắp dựng cho phép của dây dẫn $[\sigma]_{cp}$ là giá trị lớn nhất được chọn trong khi tính toán. Nó là tỷ số giữa sức cản đứt tức thời F_{cd} và hệ số an toàn n của dây dẫn:

$$[\sigma]_{cp} = \frac{F_{cd}}{n} = \frac{\sigma_{gh}}{n}$$



F_{cd} và n có thể tra cứu trong bảng phụ lục. Tuy nhiên để thuận tiện và đơn giản trong tính toán ta lấy như sau:

Đối với dây thép nhôm (AC): $[\sigma]_{cp} = 78,5 \text{ N/mm}^2$

Với dây nhôm tiết diện $F \leq 35 \text{ mm}^2$: $[\sigma]_{cp} = 62,8 \text{ N/mm}^2$.

Với dây nhôm tiết diện $F \geq 50 - 120$: $[\sigma]_{cp} = 58,8 \text{ N/mm}^2$.

Với dây nhôm tiết diện $F \geq 120$: $[\sigma]_{cp} = 73,5 \text{ N/mm}^2$.

Với dây đồng nhiều sợi: $[\sigma]_{cp} = 191 \text{ N/mm}^2$.

8-6. TÍNH TOÁN DÂY PHỨC HỢP

1. Ứng suất và độ võng của dây phức hợp

Dây phức hợp chế tạo từ 2 vật liệu khác nhau như dây nhôm lõi thép, đồng lõi thép... ở đây ta chỉ đi sâu nghiên cứu dây thép nhôm (AC) là loại thông dụng nhất. Khi bị kéo bởi lực căng T_0 thì ứng suất trong phần nhôm và phần thép khác nhau ($\sigma_{CA} < \sigma_{CFc}$) do mô đun đàn hồi của hai vật liệu là khác nhau, việc tính toán dây phức hợp là khó khăn và phức tạp. Để thuận tiện trong tính toán, người ta coi dây AC chỉ có một ứng suất duy nhất, gọi là ứng suất giả tưởng (σ_{gt}), nó là ứng suất duy nhất, tượng trưng cho sự làm việc thống nhất của 2 vật liệu chế tạo dây.

Nếu dây AC chịu 1 lực căng là T_0 thì ta có:

$$\sigma_{gt} = \frac{T_0}{F_A + F_{Fe}} = \frac{T_0}{F_{AC}} = \frac{T_A + T_{Fe}}{F_A + F_{Fe}} \quad (8-37)$$

trong đó T_A, T_{Fe} - là lực tác dụng lên phần nhôm và phần thép trong dây AC.

Từ (8-37) ta rút ra:

$$T_0 = \sigma_{gt}(F_A + F_{Fe}) = \sigma_{CA}F_A + \sigma_{CFc}F_{Fe} \quad (8-38)$$

$\sigma_{CA}, \sigma_{CFc}$ - là ứng suất cơ của phần nhôm và phần thép.

Khi dây AC chịu lực căng T_0 theo định nghĩa ta có $E = \frac{\sigma}{\Delta l}$

$$\text{nên } \Delta l = \frac{\sigma_{CA}}{E_A} = \frac{\sigma_{CFe}}{E_{Fe}} = \frac{\sigma_{gt}}{E_{AC}} \quad (8-39)$$

E_{AC} - là mô đun đàn hồi của dây thép nhôm (N/mm²).

$$\text{Từ (8-39) rút ra: } \sigma_{gt} = \sigma_{CA} \frac{E_{AC}}{E_A} = \sigma_{CFe} \frac{E_{AC}}{E_{Fe}} \quad (8-40)$$

$$\sigma_{CA} = \sigma_{gt} \frac{E_A}{E_{AC}}; \sigma_{CFe} = \sigma_{gt} \frac{E_{Fe}}{E_{AC}} \quad (8-41)$$

Thay giá trị (8-41) vào (8-38) ta được:

$$E_{AC} (F_A + F_{Fe}) = E_A F_A + E_{Fe} F_{Fe}.$$

$$\text{hay } E_{AC} = \frac{E_A F_A + E_{Fe} F_{Fe}}{F_A + F_{Fe}} = \frac{E_A F_A + E_{Fe} F_{Fe}}{F_{Fe} (1 + \frac{F_A}{F_{Fe}})}.$$

Đặt $\lambda = F_A/F_{Fe}$ ta có:

$$E_{AC} = \frac{\lambda E_A + E_{Fe}}{1 + \lambda} \quad (8-42)$$

Thay (8-42) vào (8-40) được:

$$\sigma_{gt} = \sigma_{CA} \frac{E_{Fe} + \lambda E_A}{E_A (1 + \lambda)}; \sigma_{gt} = \sigma_{CFe} \frac{E_{Fe} + \lambda E_A}{E_{Fe} (1 + \lambda)} \quad (8-43 \text{ a-b})$$

$$\text{Độ võng của dây phức hợp là: } f = \frac{g l^2}{8 \sigma_{gt}}.$$

2. ứng suất và độ võng của dây phức hợp trong điều kiện khí hậu khác nhau

Phương trình trạng thái của dây phức hợp có dạng:

$$\sigma_{gtII} - \frac{g_{II}^2 l^2}{24 \beta_{AC} \sigma_{gtII}^2} = \sigma_{gtI} - \frac{g_I^2 l^2}{24 \beta_{AC} \sigma_{gtI}^2} - \frac{\alpha_{AC}}{\beta_{AC}} (\theta_{II} - \theta_I) \quad (8-44)$$

$$\text{trong đó: } \beta_{AC} = \frac{1}{E_{AC}} = \frac{1 + \lambda}{E_{Fe} + \lambda E_A} \quad (8-45)$$

Để tìm α_{AC} ta hãy xét một đoạn dây AC. Chiều dài ban đầu ứng với nhiệt độ chế tạo dây θ_0 . Khi nhiệt độ tăng lên, nếu được tự do giãn nở thì phần nhôm dài hơn phần thép. Nhưng vì chúng được bện chặt với nhau nên giãn nở bằng nhau chiếm một chiều dài trung bình. Lúc này thép bị kéo, nhôm bị nén. Nếu nhiệt độ thấp hơn θ_0 (nhiệt độ chế tạo dây, LX thường lấy bằng 15⁰C) thì ngược lại: thép bị nén, nhôm bị kéo. Trong một trạng thái nhất định, dây luôn ở thế cân bằng, hai lực cân bằng lẫn nhau. Sức căng xuất hiện trong phần nhôm và phần thép do nhiệt độ gây ra ở nhiệt độ khảo sát θ (quy ước lực kéo có dấu +, nén dấu -) là:

$$T_A = - (\alpha_A - \alpha_{AC}) (\theta_0 - \theta) E_A F_A \quad (8-46)$$

$$T_{Fe} = (\alpha_{Fe} - \alpha_{AC}) (\theta_0 - \theta) E_{Fe} F_{Fe} \quad (8-47)$$

Cân bằng (8-46) và (8-47) rút ra:

$$\alpha_{AC} = \frac{\alpha_{Fe} E_{Fe} + \lambda \alpha_A E_A}{E_{Fe} + \lambda E_A} \quad (8-48)$$

3. Khoảng vượt tới hạn của dây phức hợp

ứng suất trong dây phức hợp do 2 thành phần là ứng suất cơ (tải trọng cơ giới) và ứng suất nhiệt (chênh lệch nhiệt độ) gây ra. Tổng của 2 ứng suất không vượt quá ứng suất cho phép của dây:

$$\sigma_C + \sigma_{nh} \leq [\sigma]_{cp}$$

Khi chia 2 vế của (8-46) và (8-47) cho F_A và F_{Fe} ta được ứng suất nhiệt của nhôm và thép (khi đó không cần chú ý đến chiều của lực):

$$\sigma_{nhA} = T_A/F_A = (\alpha_A - \alpha_{AC}) (\theta_0 - \theta) E_A \quad (8-49)$$

$$\sigma_{nhFe} = T_{Fe}/F_{Fe} = (\alpha_{Fe} - \alpha_{AC}) (\theta_0 - \theta) E_{Fe} \quad (8-50)$$

Khi $l = l_{th}$ thì xuất hiện ứng suất cực đại. Lấy ứng suất toàn phần (σ_{max}) bằng ứng suất cho phép của vật liệu, ta có:

$$\sigma_{CA} = [\sigma_A]_{cp} - \sigma_{nhA} \quad (8-51)$$

$$\sigma_{CFc} = [\sigma_{Fe}]_{cp} - \sigma_{nhFe} \quad (8-52)$$

Thay giá trị của (8-49) vào (8-51) và (8-50) vào (8-52) được ứng suất cho phép do tải trọng cơ giới tác động:

$$\sigma_{CA} = [\sigma_A]_{cp} - (\alpha_A - \alpha_{AC}) (\theta_0 - \theta) E_A \quad (8-53)$$

$$\sigma_{CFc} = [\sigma_{Fe}]_{cp} - (\alpha_{Fe} - \alpha_{AC}) (\theta_0 - \theta) E_{Fe} \quad (8-54)$$

$[\sigma_A]_{cp}$ và $[\sigma_{Fe}]_{cp}$ - là ứng suất cho phép của nhôm và thép (N/mm²).

Thay (8-53) và (8-54) vào (8-40) ta được:

$$\sigma_{gt} = \sigma_{CA} \frac{1}{\beta_{AC} E_A} = \sigma_{CFc} \frac{1}{\beta_{AC} E_{Fe}} \quad (8-55)$$

Khi bị tác động cơ giới, phần nhôm sẽ bị phá huỷ trước phần thép. Vì vậy ta dùng ứng suất cho phép của nhôm là $[\sigma_A]_{cp}$ để tính toán. ứng suất giả tưởng cho phép khi tải trọng cơ giới tác động của dây phức hợp. Xét trạng thái I khi nhiệt độ θ_{min} ký hiệu là σ_{gtI} và tải trọng g_1 , trạng thái II khi V_{max} ký hiệu là σ_{gtII} và nhiệt độ θ_{TB} , tải trọng g_3 có giá trị lần lượt là:

$$\sigma_{gtI} = \{ [\sigma_A]_{cp} - (\alpha_A - \alpha_{AC})(\theta_0 - \theta_{min}) E_A \} \frac{E_{AC}}{E_A} \quad (8-56)$$

$$\sigma_{gtII} = \{ [\sigma_A]_{cp} - (\alpha_A - \alpha_{AC})(\theta_0 - \theta_{TB}) E_A \} \frac{E_{AC}}{E_A} \quad (8-57)$$

Thay σ_{gtI} và σ_{gtII} vào phương trình trạng thái ứng với $l = l_{th}$ ta rút ra khoảng vượt tới hạn của đường dây là:

$$l_{th} = \sqrt{\frac{\sigma_{gtII} - \sigma_{gtI} + \frac{\alpha_{AC}}{\beta_{AC}} (\theta_{TB} - \theta_{min})}{\frac{g_{II}^2}{24 \beta_{AC} \sigma_{gtII}^2} - \frac{g_I^2}{24 \beta_{AC} \sigma_{gtI}^2}}} \quad (8-58)$$

Vì khi chịu tác dụng của lực cơ giới nhôm bị phá huỷ trước thép, cho nên ta lấy độ bền theo nhôm. Thay (8-56) và (8-57) vào phương trình (8-58) thì khoảng vượt tới hạn có dạng:

$$I_{th} = \frac{24\alpha_A(\theta_{TB} - \theta_{min})}{\sqrt{\left(\frac{g_{II}}{\sigma_{gII}}\right)^2 - \left(\frac{g_I}{\sigma_{gI}}\right)^2}} \quad (8-59)$$

8.7. SỨC CÁCH ĐIỆN VÀ THIẾT BỊ PHỤ CỦA ĐƯỜNG DÂY

1. Sức cách điện

Sức cách điện có nhiệm vụ cách điện cho dây dẫn với các phần tử khác của đường dây và giữ cố định dây dẫn với đường dây. Sức cách điện chế tạo bằng vật liệu là sứ và thủy tinh. Ngày nay công nghiệp hiện đại đang tìm cách chế tạo sứ bằng các vật liệu đặc biệt để tăng cường khả năng cách điện và giảm bớt trọng lượng, kích thước của sứ.

Tuỳ theo điện áp mà người ta sử dụng và phân loại sứ như sứ có điện áp dưới 1 kV (sứ hạ áp), sứ có điện áp từ 1 - 35 kV và sứ từ 35 kV trở lên. Ngoài ra tuỳ theo cách đặt mà sứ chia thành sứ đứng và sứ treo.

a. Sứ cách điện đứng

Sứ đứng dùng cho điện áp từ 35 kV trở xuống, nó được chia làm 2 loại: Sứ có điện áp dưới 1 kV và sứ có điện áp từ 1 - 35 kV.

+ Sứ đường dây hạ áp, điện áp dưới 1000 V.

- Sứ do Việt Nam sản xuất có nhãn hiệu H104, H103, H102, H101, A20, A30 ...

- Sứ nhập từ Liên Xô (cũ) tương ứng có : TΦ4, TΦ3, TΦ2, TΦ1.

Loại sứ nhỏ nhất là H104 và TΦ4 dùng cho dây dẫn có tiết diện từ 10 - 16 mm².

Sứ H103 và TΦ3 dùng cho dây dẫn tiết diện từ 25 - 35 mm².

Sứ H102 và TΦ2 dùng cho dây dẫn tiết diện từ 50 - 70 mm².

Còn sứ H101 và TΦ1 dùng cho dây dẫn tiết diện từ 95 mm² trở lên.

Các loại sứ trên và sứ A20 dùng cho cột trung gian.

Đối với sứ A30 và sứ A K Liên Xô (cũ) dùng cho các cột đầu, cuối, néo và góc rẽ.

+ Sứ dùng cho đường dây điện áp từ 1-35 kV.

Sứ do Việt Nam sản xuất có các chữ và con số kèm theo chỉ điện áp ký hiệu là VHD6, VHD10, VHD35. Sứ do Liên Xô cũ sản xuất: Đối với cột trung gian dùng loại UIC, các cột đầu, cuối, hãm dùng loại III^A

b. Sứ cách điện treo

Sứ treo dùng cho điện áp từ 35 kV trở lên. Sứ treo gồm có các bát sứ gắn với nhau bằng vữa đặc biệt, trên là chụp bằng kim loại có lỗ đặt chốt nối với bát sứ trên cùng. Các sứ treo nối tiếp nhau thành chuỗi sứ. Nếu chuỗi sứ chỉ giữ chặt dây dẫn thì gọi là chuỗi sứ treo, Nếu chuỗi sứ căng dọc theo dây dẫn gọi là sứ kéo. Sứ kéo dùng cho các cột đầu, cuối, hãm hay cột vượt.

Ngày nay người ta thay dần các chuỗi sứ do Liên Xô (cũ) sản xuất bằng các loại sứ thủy tinh của Italia và các nước tư bản, ví dụ đường dây 10 kV đến 35 kV dùng một bát sứ, đường dây 110 kV dùng 3 bát sứ, ... đường dây 500 kV hiện nay chỉ dùng 16 bát sứ.

Số bát sứ dùng trong một chuỗi sứ phụ thuộc vào điện áp của đường dây cho trong bảng sau.

Bảng 8.5. SỐ BÁT SỨ CÁCH ĐIỆN TRONG CHUỖI SỨ DO LIÊN XÔ (CŨ) SẢN XUẤT

Đặc điểm chuỗi sứ	Số bát sứ và thông số theo điện áp kV		
	35	110	220
Số sứ	3	7	13
Chiều dài (m)	0,9	1,5	2,7
Trọng lượng (kG)	25	50	95

Theo " quy trình trang bị điện" đối với đường dây điện áp từ 35 - 110 kV số bát sứ của chuỗi sứ kéo nhiều hơn sứ treo một chiếc. Ngoài ra những nơi dễ xảy ra nguy hiểm như khu vực, lò hơi ..., người ta còn dùng còn loại sứ tăng cường hay loại sứ treo nhiều tầng.

Để tăng cường sự cách điện hay giảm sự phóng điện của dây dẫn đối với sứ, người ta thường chế tạo thành 2 hay nhiều tầng (có các áo sứ khác nhau) gọi là bát sứ. Các tầng được gắn với nhau bằng vữa chịu lực cao; Như vậy khi chế tạo sẽ đơn giản hơn, đảm bảo chất lượng và tính kỹ thuật. Các loại sứ đứng điện áp cao thường gia công các bước ren chính xác dùng để bắt ty sứ. Sự giãn nở về nhiệt của sứ nhỏ hơn nhiều so với thép làm ty sứ, vì vậy để tránh giãn nở làm vỡ sứ, người ta phải quấn quanh của ty sứ một lớp vải hoặc giấy gai. Nhờ tính đàn hồi này, ứng lực tác dụng lên sứ giảm đi.

Thông số cơ bản của sứ đứng gồm có: U_H , tải trọng phá hoại, kích thước (đường kính, chiều cao sứ) Ngoài ra có thể cho thêm đường kính cân ren bắt ty sứ, dòng ổn định nhiệt. Khi chọn sứ người ta chọn theo U_H và kiểm tra theo tải trọng phá hoại lớn nhất tác dụng lên đầu sứ. Thông thường chọn sứ đứng điện áp định mức thì lực cho phép trên đầu sứ, tải trọng phá hoại lớn nhất và dòng ổn định nhiệt cũng bảo đảm.

Dây dẫn được cố định vào sứ bằng cách dùng dây buộc hay ghíp nối nếu là cột trung gian thì dây dẫn buộc vào khe sứ hay đỉnh sứ bằng các sợi dây kim loại mềm cùng vật liệu với dây dẫn. Nếu là cột đầu, cuối thì dùng sứ kép (sứ đứng) bắt trên xà kép, và dùng sứ kéo (sứ treo) đối với cột vượt. ở các vị trí cột vượt nếu dùng sứ đứng thì dùng loại sứ kép bắt chặt dây dẫn theo hình cánh cung hay hình quả trám, nếu sứ treo thì dây dẫn được nối với nhau bằng dây lèo.

2. Các loại xà

Xà thường được chế tạo bằng thép góc chữ L. Đôi khi ở đường dây cao áp người ta còn dùng xà bằng bê tông cốt thép. Đường dây cao áp (6-10-35 kV) dùng các loại xà có dạng hình tam giác cụt hoặc hình chữ nhật (thanh xà)

+ Xà cao áp: xà cao áp thường có các ký hiệu như sau:

X_1 là xà đơn 3 sứ đứng dùng để đỡ dây dẫn trên cột trung gian.

X_{2A} là xà kép 6 sứ dùng để cố định dây dẫn ở các vị trí đầu cuối, néo.

X_{2B} là xà kép 4 sứ dùng để rẽ nhánh, chuyển hướng dây hay ở các vị trí cột góc.

X_3 là xà đơn 6 sứ dùng để đỡ dây dẫn trên các cột vượt.

Các loại xà có ký hiệu từ X_4 trở đi dùng cho các vị trí cột xuất tuyến và đỡ dây đến, xà đỡ dây xuống, xà đỡ cầu dao ... ở các trạm biến áp hay phân đoạn.

+ Xà hạ thế

Xà hạ thế chủ yếu dùng cho đường dây 3 pha 4 dây. Theo chức năng và công dụng người ta chia ra các loại xà như xà đơn, xà kép, xà có 4 lỗ hay 2 lỗ, xà bắt cột đơn hay cột kép ...

Tùy theo từng địa phương xà hạ thế có thể có các ký hiệu như sau:

X_p4S là xà đơn 4 sứ .

X_k4S là xà kép 4 sứ ...

Để biểu thị đầy đủ chức năng và công dụng của các loại xà nhằm tiêu chuẩn hoá khi chế tạo người ta còn dùng các ký hiệu như: 413HKD; 421KKD; 413KDK ... trong đó:

Con số thứ nhất chỉ số lỗ bắt sứ.

Con số thứ hai chỉ số tầng bắt xà.

Con số thứ 3 chỉ loại xà đơn hay xà kép: số 1 là xà đơn; số 3 là xà kép.

Chữ cái thứ nhất chỉ kiểu cột mắt vuông, mắt chéo hay ly tâm.

Chữ cái thứ hai chỉ cột đơn (D) hay cột kép (K)

Chữ cái thứ ba chỉ xà bắt mặt đơn (D) hay mặt kép (K)

Tùy theo loại xà đơn hay xà kép mà xà được bắt chặt vào cột bằng 2 bu lông với thanh ốp xà hoặc 4 bu lông. Đối với xà cao áp còn dùng ốp chân sứ . Sứ được bắt vào xà bằng các ty sứ. Đối với đường dây hạ áp, ty sứ chỉ có ren ở phần chân còn đầu được cắm vào sứ bằng xi măng mác cao. Ty sứ ở đường dây điện áp cao cả 2 đầu đều có ren để vạy vào sứ và bắt vào xà.

3. Néo cột

ở những vị trí quan trọng như cột đầu, cột cuối, cột góc ... cần phải có néo để phòng gãy cột khi thi công đường dây và khi làm việc bình thường.

Néo cột gồm các chi tiết như sau: côlyê và bu lông bắt vào cột, dây néo, mỏ giữ néo, tăng đơ và giằng néo. Cần chú ý là, khi thi công đường dây phải bắt néo trước khi kéo dây.

4. Các thiết bị khác

+ Các loại kẹp nối dây và giữ dây dẫn: gồm có các loại ghíp để nối dây dùng sứ đứng như ghíp 2 bu lông, ghíp 3 bu lông, ghíp xử lý dùng để nối 2 dây dẫn bằng 2 kim loại khác nhau như đồng nhôm ... Các loại kẹp dùng cho sứ treo như kẹp chắc, kẹp trượt, kẹp dao động ... Đối với cấp điện áp cao người ta nối bằng phễu cáp.

+ Các loại khác: đường dây trên không còn dùng các loại thiết bị khác như: cơ cấu phân đoạn, tạ chống rung, kháng điện ... Ngoài ra còn bố trí các cọc tiếp địa tại các cột đầu cuối, rẽ nhánh chỗ đông người qua lại đối với đường dây hạ áp. Còn đường dây cao áp thì cứ một đến 2 cột cần dùng một cọc tiếp địa.

5. Một số quy định khi thiết kế đường dây

Khoảng cách tối thiểu giữa các pha và các bộ phận cột

TT	Điều kiện tính toán	Khoảng cách cách điện nhỏ nhất cho phép (cm)					
		≤ 10kV	22 kV	35 kV	110 kV	220 kV	500 kV
I	Quá điện áp khí quyển (sứ đứng)	15/20	25/45	35/50			
	Quá điện áp khí quyển (sứ treo)	20/20	35/45	40/50	110/135	180/250	320/400
II	Quá điện áp nội bộ	10/22	15/35	30/44	80/100	160/200	300/420

Chú ý: - tử số là khoảng cách tối thiểu giữa dây dẫn và các bộ phận cột.
- mẫu số là khoảng cách điện tối thiểu giữa pha - pha.

Khoảng cách giữa các đường dây đi chung một cột (m)

Điện áp định mức		< 1 kV	≤ 22 kV	35 kV	110 kV	220 kV
< 1 kV		1,2	2			
≤ 22kV	Sứ đứng		2	3	3,5	5
	Sứ treo		2	3	4	6
35 kV	Sứ đứng			2,5	3,5	5
	Sứ treo			3	4	6
110 kV					4	
220 kV						6

Khoảng cách an toàn đến các vật thể ở gần (m)

TT	Điện áp (kV)	Đến 22	35	110	220	500
1	Đến mặt đất thưa dân			6	7	10
	Đến mặt đất đông dân			7	8	14
	Nơi khó qua lại					8
2	Đến ngọn cây	2	2	3	4	6
3	Đến nhà, công trình	2	3	4	6	10
4	Đến mặt nước cao nhất không có thuyền	2,5	3	4		5
	Đến mặt nước cao nhất có thuyền	5,5	6	7		8
5	Đến đỉnh cột buồm		1,5	2	3	4

Khoảng cách giao chéo và đi gần (m)

TT	Điện áp (kV)	10	22	35	110	220	500
1	K/c giữa 2 đường dây giao nhau	2	2,5	3	4	4,5	5,5-8
2	K/c giữa 2 đường dây đi gần nhau		4,5	4	5	7	
3	K/c đến anten phát thanh sóng trung, dài				150	200	200
4	K/c từ đường dây đến đường sắt	3	3		6	8	12
5	K/c giữa đường dây với đường điện yếu	2			3	4	5

Khoảng cách từ dây dẫn đến mặt đất (m)

TT	Khoảng cách từ dây dẫn đến mặt đất	< 1	1-20	35-110	150	220
1	Qua khu vực không dân cư	5	6	6	6,5	7
2	Qua khu vực dân cư, khu CN	6	7	7	7,5	8
3	Vượt đường sắt	7,5	7,5	7,5	8	8.5
4	Vượt đường ô tô chở hàng	6	7	7	7,5	8

8-8. MỘT SỐ VÍ DỤ TÍNH TOÁN CƠ KHÍ DÂY DẪN

Ví dụ 1

Một đường dây điện áp 10 kV dùng dây dẫn A-70 đi qua vùng khí hậu II ($V = 35\text{m/s}$). Chiều dài khoảng vượt là 80 m. Tìm sức căng và độ võng cực đại của dây dẫn.

Giải.

a. Tra bảng và tính các tải trọng riêng:

$$g_1 = 1,025 \frac{9,81 \cdot m_G}{F} 10^{-3} = 1,025 \frac{9,81 \cdot 191 \cdot 10^{-3}}{70} = 27,4 \cdot 10^{-3} \text{ (N / m.mm}^2\text{)}$$

$$g_2 = \frac{9,81 \alpha_K C_x d v^2 10^{-3}}{16F} = \frac{9,81 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot 10 \cdot 7,35^2 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 70} = 96,4 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{N}}{\text{m.mm}^2} \right)$$

$$g_3 = \sqrt{g_1^2 + g_2^2} = \sqrt{27,4^2 + 96,4^2} \cdot 10^{-3} = 100,2 \cdot 10^{-3} \text{ (N/m.mm}^2\text{)}$$

b. Tìm khoảng vượt tới hạn và xác định trạng thái ứng suất cực đại:

$$l_{th} = \frac{22[\sigma_A]_{cp}}{g_2} \sqrt{\alpha} = \frac{22 \cdot 58,8}{100,2 \cdot 10^{-3}} \sqrt{23 \cdot 10^{-6}} = 61,9 \text{ (m)}$$

Vì $l = 80 \text{ m} > l_{th}$, nên σ_{max} khi v_{max} và nhiệt độ trung bình $\theta_{TB} = 25^\circ\text{C}$; độ võng cực đại khi nhiệt độ cực đại $\theta_{max} = 40^\circ\text{C}$.

c. Giải phương trình trạng thái, tìm σ và f .

Thay các giá trị vào phương trình trạng thái ta có:

$$\sigma_{II} - \frac{g_1^2 \cdot l^2}{24\beta\sigma_{II}^2} = [\sigma_A]_{cp} - \frac{g_3^2 \cdot l^2}{24\beta[\sigma_A]_{cp}^2} - \frac{\alpha}{\beta} (\theta_{max} - \theta_{TB})$$

$$\sigma_{II} - \frac{27,4^2 \cdot 10^{-6} \cdot 80^2}{24 \cdot 16,2 \cdot 10^{-6} \cdot \sigma_{II}^2} = 58,8 - \frac{100,2^2 \cdot 10^{-6} \cdot 80^2}{24 \cdot 16,2 \cdot 10^{-6} \cdot 58,8^2} - \frac{23 \cdot 10^{-6}}{16,2 \cdot 10^{-6}} (40 - 25)$$

$$\sigma_{II} - \frac{12358}{\sigma_2^2} = 58,8 - 47,8 - 21,3 = -10,3.$$

Giải ra: $\sigma_{II} = 20,15 \text{ (N/mm}^2\text{)}$.

$$T = \sigma_{II} F = 20,15 \cdot 70 = 1410 \text{ (N)}$$

$$f_{\max} = \frac{g_1 l^2}{8\sigma_{II}} = \frac{27,4 \cdot 10^{-3} \cdot 80^2}{8 \cdot 20,15} = 1,08 \text{ (m)}$$

Ví dụ 2

Một đường dây cao áp dùng dây dẫn AC-120 đi qua vùng khí hậu I ($v = 40 \text{ m/s}$). Chiều dài khoảng vượt là $l = 65 \text{ m}$. Tìm sức căng và độ võng cực đại của dây.

Giải.

a. Tra bảng và xác định các tải trọng riêng.

$$g_1 = 1,025 \frac{9,81 \cdot m_G}{F} 10^{-3} = 1,025 \frac{9,81 \cdot 492 \cdot 10^{-3}}{120} = 41,2 \cdot 10^{-3} \text{ (N / m.mm}^2\text{)}$$

$$g_2 = \frac{9,81 \alpha_K C_x d v^2 10^{-3}}{16F} = \frac{9,81 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot 15,2 \cdot 40^2 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 120} = 167 \cdot 10^{-3} \text{ (} \frac{N}{m.mm^2}\text{)}$$

$$g_3 = \sqrt{g_1^2 + g_2^2} = \sqrt{41,2^2 + 167^2} \cdot 10^{-3} = 172 \cdot 10^{-3} \text{ (N/m.mm}^2\text{)}$$

b. Xác định ứng suất nhiệt và cơ khi nhiệt độ cực tiểu và nhiệt độ trung bình:

$$\alpha_{AC} = \frac{\alpha_{Fe} E_{Fe} + \lambda \alpha_A E_A}{E_{Fe} + \lambda E_A} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 196 \cdot 10^3 + 5,23 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot 61,6 \cdot 10^3}{196 \cdot 10^3 + 5,23 \cdot 61,6 \cdot 10^3} = 18,8 \cdot 10^{-6} \text{ (1/}^\circ\text{C)}$$

trong đó:

$$\lambda = F_A / F_{Fe} = 15 / 22 = 5,23$$

$$\beta_{AC} = \frac{1 + \lambda}{E_{Fe} + \lambda E_A} = \frac{1 + 5,23}{196 \cdot 10^3 + 5,23 \cdot 61,6 \cdot 10^3} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ (mm}^2 / N\text{)}$$

ứng suất nhiệt của nhôm ở nhiệt độ cực tiểu là:

$$\sigma_{nhA} = (\alpha_A - \alpha_{AC}) (\theta_0 - \theta_{\min}) E_A = (23 - 18,8) \cdot 10^{-6} (15 - 5) \cdot 61,6 \cdot 10^3 = 2,58 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

ứng suất nhiệt của nhôm ở nhiệt độ trung bình là:

$$\sigma_{nhA} = (\alpha_A - \alpha_{AC}) (\theta_0 - \theta_{\min}) E_A = (23 - 18,8) \cdot 10^{-6} (15 - 25) \cdot 61,6 \cdot 10^3 = -2,58 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

ứng với θ_{\min} có: $\sigma_{CAI} = [\sigma_{AC}]_{cp} - \sigma_{nhA} = 78,5 - 2,58 = 75,92 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

ứng với θ_{TB} có: $\sigma_{CAII} = [\sigma_{AC}]_{cp} - \sigma_{nhA} = 78,5 + 2,58 = 81,08 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

c. Tìm ứng suất giả tưởng, khoảng vượt tới hạn và xác định trạng thái ứng suất:

$$\sigma_{gtI} = \sigma_{CAI} \frac{1}{\beta_{AC} E_A} = 75,92 \frac{1}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 61,6 \cdot 10^3} = 102,5 \text{ (} \frac{N}{mm^2}\text{)}$$

$$\sigma_{gtII} = \sigma_{CAII} \frac{1}{\beta_{AC} E_A} = 81,08 \frac{1}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 61,6 \cdot 10^3} = 109,5 \text{ (} \frac{N}{mm^2}\text{)}$$

$$l_{th} = \frac{24 \alpha_A (\theta_{TB} - \theta_{\min})}{\sqrt{\left(\frac{g_3}{\sigma_{gtII}}\right)^2 - \left(\frac{g_1}{\sigma_{gtI}}\right)^2}} = \frac{24 \cdot 23 \cdot 10^{-6} (25 - 5)}{\sqrt{\left(\frac{172}{109,5}\right)^2 \cdot 10^{-6} - \left(\frac{41,2}{102,5}\right)^2}} = 69,5 \text{ (m)}$$

Khoảng vượt thực tế $l = 65 \text{ m} < l_{th}$; σ_{\max} khi θ_{\min} ứng suất cực đại ứng với σ_{gtI} .

d. Giải phương trình trạng thái tìm σ và f .

$$\sigma_{II} - \frac{g_1^2 l^2}{24\beta_{AC}\sigma_{II}^2} = \sigma_{gtI} - \frac{g_3^2 l^2}{24\beta_{AC}\sigma_{gtI}^2} - \frac{\alpha_{AC}}{\beta_{AC}}(\theta_{\max} - \theta_{\min})$$
$$\sigma_{II} - \frac{41,2 \cdot 10^{-6} \cdot 65^2}{24 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot \sigma_{II}^2} = 102,5 - \frac{41,2 \cdot 10^{-6} \cdot 65^2}{24 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 102,5^2} - \frac{18,8 \cdot 10^{-6}}{12 \cdot 10^{-6}} \quad (40-5)$$
$$\sigma_{II} - \frac{24901,6}{\sigma_{II}^2} = 102,5 - 2,37 - 54,8 = 45,3$$

Giải ra $\sigma_{II} = 53,9$ (N/mm²); $T = \sigma \cdot F = 53,9 \cdot 120 = 6468$ (N).

Độ võng lớn nhất:

$$f_{\max} = \frac{g_1 l^2}{8\sigma_{II}} = \frac{41,2 \cdot 10^{-3} \cdot 65^2}{8 \cdot 53,9} = 0,4(m).$$

CHƯƠNG 9

TÍNH TOÁN CỘT VÀ MÓNG CỘT ĐIỆN

§ 9-1. PHÂN LOẠI CỘT ĐIỆN VÀ ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN CỘT

1. Các loại cột điện

Cột là bộ phận quan trọng dùng để giữ và đỡ dây dẫn của đường dây tải điện trên không. Cột chiếm một tỷ lệ khá lớn trong tổng số vốn đầu tư xây dựng đường dây., việc tính toán hợp lý sẽ đem lại hiệu quả kinh tế lớn.

Theo nhiệm vụ và tính chất phân bố tải trọng, người ta phân cột điện thành các loại như sau:

- *Cột trung gian:*

Cột trung gian dùng để đỡ dây dẫn trên đoạn đường thẳng. Ở điều kiện làm việc bình thường, cột chịu tác dụng của các tải trọng thẳng đứng là: trọng lượng dây dẫn và phụ kiện, chịu áp lực của gió và tải trọng xây lắp. Cột trung gian không chịu tác dụng của lực căng dây. Khi dây bị đứt, nó chịu ảnh hưởng của mô men xoắn và uốn đối với cột khi dùng sứ treo.

- *Cột móc hay cột néo:*

Cột móc có tác dụng giới hạn khoảng chịu ảnh hưởng hư hỏng trên đường dây và giới hạn khoảng căng dây khi lắp dựng. Chỉ những đường dây quá dài hoặc dùng kẹp trượt mới dùng cột móc. Khi dây dẫn bị đứt tại một khoảng nào đó, dây dẫn sẽ bị trượt về hai phía giữa hai cột móc. Cột móc được lựa chọn làm điểm tựa để kéo dây nên nó chịu lực kéo về một phía, khi thiết kế cần cứng vững hơn và tính chọn với hệ số an toàn cao hơn. Trên cột móc dùng xà kép và sứ kéo. Theo " quy phạm trang bị điện " khoảng cách cột móc như sau:

Tiết diện dây dẫn $F < 120 \text{ mm}^2$, chiều dài khoảng cách cột móc $L_M \leq 5 \text{ km}$.

Tiết diện dây dẫn $F \geq 120 \text{ mm}^2$, chiều dài khoảng cách cột móc $L_M \leq 10 \text{ km}$.

- *Cột góc:*

Cột góc là cột có 2 hướng tuyến dây hợp với nhau 1 góc $\beta \neq 180^\circ$. Khi góc giữa 2 tuyến $\beta \geq 175^\circ$ thì cột góc được tính như cột trung gian. Cột góc chịu tác dụng của hợp lực $P = 2T \sin \alpha/2$ (α là góc bù của β) là tổng hình học của sức căng dây về 2 phía. Khi dựng cột góc, chú ý để mặt khoẽ của cột (mặt đặc) nằm theo phương phân giác giữa 2 tuyến dây, khi đó xà trùng với phương của hợp lực P. Do cột góc chịu lực lớn nên thường người ta dùng xà kép, cột khoẽ, cột đôi, cột có néo hoặc kết hợp các biện pháp. Dây néo được đặt trùng phương và ngược chiều với lực P.

- *Cột vượt:*

Cột vượt có chiều cao cao hơn các cột khác dùng để đỡ dây dẫn vượt lên trên các chướng ngại vật ở bên dưới. Cột vượt thường dùng xà kép, nếu dùng sứ đứng thì số sứ phải tăng gấp 2 so với cột trung gian và dây dẫn được bắt theo hình cánh cung hoặc hình quả trám.

- *Cột hãm đầu hay cuối đường dây:*

Cột hãm đầu hay cuối là các cột ở đầu và cuối đường dây. Chúng chịu tác dụng của lực căng dây về một phía và là điểm tựa để kéo dây. Dây dẫn bắt trên cột hãm bằng chuỗi sứ kéo hoặc 2 sứ

đứng đặt trên xà kép giống cột góc. Các cột hãm, cột góc dùng cột bê tông cốt thép thường là cột đôi có néo.

Theo loại vật liệu làm cột, người ta phân thành

Cột gỗ: rẻ tiền, dễ kiếm nhưng thời gian sử dụng ngắn do bị phá huỷ bởi môi trường, gỗ dùng làm cột thường được ngâm tẩm để chống mối mọt.

Cột bê tông cốt thép: bền và rẻ hơn so với cột thép nhưng kết cấu nặng nề, khó khăn trong vận chuyển và xây lắp, chuyên chở. Người ta không chế tạo các loại cột có chiều cao lớn hơn 30 m. Cột này được sử dụng rộng rãi cho các đường dây có điện áp ≤ 35 kV. Trong phạm vi giáo trình này ta chỉ đi sâu nghiên cứu cột bê tông cốt thép.

Cột thép: có độ bền cao, dễ vận chuyển và lắp dựng, chịu được tải trọng lớn và có thể thi công với các chiều cao rất lớn, khoảng vượt rộng. Nhược điểm là giá thành đắt và phải bảo dưỡng khi vận hành nên được dùng chủ yếu cho các đường dây từ 110 kV trở lên.

Theo ghép nối người ta chia ra

- Cột nối ở giữa: dùng cho cột gỗ, cột bê tông (đoạn nối từ 6 - 8 m)
- Cột nối ở móng: dùng cho cột gỗ
- Cột có chụp tăng cường: dùng cho cột bê tông cốt thép.

2. Các điều kiện tính toán cột

Theo loại cột và chế độ làm việc của nó, người ta chia ra các điều kiện tính toán của các cột như sau:

+ Cột trung gian:

- Chịu tác dụng của tốc độ gió lớn nhất, thổi vuông góc với các tuyến dây; ở chế độ bình thường gây ra mô men lật lớn nhất.

- Đứt dây dẫn 1 pha gây ra mô men uốn và mô men xoắn lớn nhất với sứ treo.

- Đứt dây chống sét gây ra mô men uốn lớn nhất.

+ Cột néo:

- Ở chế độ bình thường cột néo nằm ở vị trí trung gian hay néo góc thì tính toán như cột tương ứng. ở chế độ sự cố được tính theo trường hợp đứt 2 dây pha hoặc đứt một dây chống sét.

+ Cột góc:

- Thường được tính toán theo mô men uốn lớn nhất do tổng hợp lực của sức căng dây về 2 phía.

3. Chiều cao cột điện

Chiều cao cột điện phụ thuộc vào các yếu tố như điện áp, đặc điểm vùng dân cư, chiều dài khoảng vượt, điều kiện khí hậu đất đai... Điện áp có ảnh hưởng lớn nhất đến chiều cao của cột và các kết cấu khác. Điện áp càng cao thì khoảng cách D giữa dây dẫn các pha càng lớn, cột phải cao và rộng.

$U < 1\text{kV}$ thì $D = 0,4 - 0,6$ m

$U = 6 - 10\text{kV}$ thì $D = 1 - 2$ m

$U \leq 35\text{kV}$ thì $D = 2,5 - 3,5 \text{ m}$ $U \leq 110\text{kV}$ thì $D = 4 - 5 \text{ m}$

Nguyên liệu làm cột cũng ảnh hưởng rất lớn, tùy thuộc vật liệu làm cột mà người ta chọn chiều cao cột cho phù hợp. Cột gỗ thường dùng cho đường dây điện áp đến 10 kV và $H \leq 12 \text{ m}$, cột bê tông cốt thép thường dùng cho đường dây điện áp đến 110 kV và $H \leq 30 \text{ m}$, cột thép dùng cho các khoảng vượt lớn và các đường dây có điện áp 110 kV trở lên, chiều cao tùy ý.

Chiều dài khoảng vượt càng lớn thì độ võng của dây cũng lớn nên phải dùng cột cao hơn, nếu khoảng vượt nhỏ thì tăng số lượng cột và phụ kiện. Việc tính toán khoảng vượt kinh tế (Z_{\min}) là rất cần thiết khi tính toán thiết kế đường dây.

Ngoài ra chiều cao cột còn phụ thuộc vào điều kiện khí hậu, địa hình khu vực đường dây đi qua, chiều dài chuỗi sứ, khoảng cách từ vị trí bắt xà đến đỉnh cột, độ chôn sâu của móng, số tầng dây và cấp điện áp đi chung trên một cột, các điểm giao chéo với các đường dây khác...

Khi dùng sứ treo chiều cao cột điện là:

$$H = H_d + [H]_{cp} + f + \lambda_s + H_x \quad (9-1)$$

Khi dùng sứ đứng thì chiều cao cột điện là:

$$H = H_d + [H]_{cp} + f + H_x - H_s \quad (9-2)$$

trong đó:

H_d - là chiều sâu chôn cột (m);

$[H]_{cp}$ - là khoảng cách cho phép từ điểm thấp nhất của dây dẫn đến đất (m);

$[H]_{cp}$ được cho trong bảng (9-1);

f - là độ võng cực đại của dây (m);

H_x - là chiều cao từ chỗ bắt xà đến đỉnh cột (m);

λ_s - là chiều dài chuỗi sứ (m);

H_s - là chiều cao của sứ (m).

Gọi H_K là chiều cao từ mặt đất đến đỉnh cột thì:

$$H = H_d + H_K \quad (9-3)$$

Trong tính toán thường phải kể đến chiều cao dự phòng từ 0,2 - 0,4 m. Nếu đường dây đi chung cột với các đường dây khác thì phải kể đến số tầng xà, khoảng cách tối thiểu theo chiều thẳng đứng giữa các đường dây theo quy phạm. Để đảm bảo an toàn, vị trí xà trên cùng được bắt cách đỉnh cột tối thiểu là 10 cm.

Nếu đường dây điện áp cao có dây chống sét thì chiều cao cột được cộng thêm chiều cao tối thiểu giữa dây dẫn trên cùng và dây chống sét, phụ thuộc vào chiều dài khoảng vượt và được cho theo bảng sau:

Chiều dài khoảng vượt (m)	150	200	300	400	500
K/cách giữa dây dẫn và dây chống sét (m)	3,2	4	5,5	7	8,5

Thông thường trong thi công, người ta thường sử dụng các cột bê tông cốt thép sau

U = 0,4 kV dùng cột BT mặt vuông (H) hoặc mặt cheo (K) cao 6,5; 7,5; 8,5; 10 m

U = 6 - 35 kV dùng cột BT li tâm LT có chiều cao 10; 12; 14; 16; 18; 20 m

Khi chiều cao cột bê tông H > 12m thì thường ghép nối cột bằng mặt bích hay măng sông.

§ 9-2. TẢI TRỌNG CƠ GIỚI TÁC DỤNG LÊN CỘT

1. Các loại tải trọng cơ giới

Tải trọng cơ giới tác dụng lên cột phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nhiệt độ, tốc độ gió, chiều cao cột... và việc tính toán chính xác là hết sức khó khăn. Các tải trọng gồm có tải trọng nằm ngang là gió lên cột, gió lên dây và sức căng dây; tải trọng thẳng đứng gồm có trọng lượng cột, dây dẫn, xà, sứ và tải trọng xây lắp. Theo quy định người ta chia ra tải trọng làm 3 loại:

- Tải trọng lâu dài: gồm trọng lượng cột, xà, sứ, dây dẫn, lực căng dây ở nhiệt độ trung bình
- Tải trọng ngắn hạn: gồm áp lực gió lên dây, gió lên cột, tải trọng xây lắp.
- tải trọng đặc biệt: xuất hiện khi đứt dây.

Áp lực gió lên cột có diện tích S xác định theo công thức:

$$P_{gc} = \frac{981}{16} \alpha_K \cdot C_x \cdot V^2 \cdot S \cdot 10^{-3} = 0,613 \alpha_K \cdot C_x \cdot V^2 \cdot S \cdot 10^{-3} \quad (N) \quad (9-4)$$

α_K - là hệ số không đều của gió cho trong bảng (8-4);

C_x - là hệ số khí động học của gió;

Với cột phẳng: $C_x = 1,5$; cột tròn $D \geq 15$ cm: $C_x = 0,7$; cột thép $C_x = 1,8 - 3$

Diện tích của cột xác định như sau:

$$S = 0,5(b_1 + b_2)H_K \quad (m^2) \quad (9-5)$$

trong đó: b_1, b_2 - là chiều rộng (hay đường kính) đỉnh cột và chân cột (m).

Tải trọng gió lên dây trong một khoảng vượt là:

$$P_{gd} = 0,613 \cdot \alpha_K \cdot C_x \cdot k V^2 \cdot d \cdot l \cdot \sin\varphi \cdot 10^{-3} \quad (N) \quad (9-6)$$

d - là đường kính dây dẫn.

φ - là góc giữa hướng gió và tuyến dây (thường lấy $\varphi = 90^0$).

Lực căng của dây dẫn và dây chống sét tính theo biểu thức:

$$T = \sigma \cdot F \quad (N) \quad (9-7)$$

Tải trọng xây lắp, bao gồm trọng lượng người và thiết bị khi thi công, nó phụ thuộc vào từng loại đường dây, trong tính toán thường lấy thêm bằng 10%.

2. Mômen tính toán tác dụng lên cột tại các mặt cắt nguy hiểm

Tiết diện nguy hiểm của cột khi chịu lực uốn là ở mặt cắt sát đất và tiết diện nguy hiểm khi chịu xoắn là tại vị trí bất xà. Ta tiến hành tính toán các mô men của ngoại lực đối với các vị trí này.

Mô men uốn của cột

- Mômen uốn do áp lực của gió tác dụng lên 1 dây dẫn trong khoảng vượt đối với mặt cắt sát đất là:

$$M_{gd} = P_{gd} \cdot h = 0,613 \cdot \alpha_K \cdot C_x \cdot k \cdot V^2 \cdot d \cdot l \cdot h \cdot 10^{-3} \quad (\text{Nm}) \quad (9-8)$$

h - là chiều cao treo dây (từ mặt đất đến chỗ buộc sứ).

Khi đường dây có 3 dây: $M_{gd\Sigma} = P_{gd} \cdot (h_1 + h_2 + h_3)$

- Mômen uốn do áp lực gió lên cột:

$$M_{gc} = P_{gc} \cdot h_t = 0,613 \cdot \alpha_K \cdot C_x \cdot V^2 \cdot S \cdot h_t \cdot 10^{-3} \quad (\text{Nm}) \quad (9-9)$$

h_t - là chiều cao trọng tâm điểm đặt áp lực gió lên cột với mặt đất được xác định theo công thức:

$$h_t = \frac{H_K}{3} \frac{2b_1 + b_2}{b_1 + b_2} \quad (9-10)$$

- Mômen uốn do sức căng của dây:

$$M_{cd} = T \cdot h \quad (\text{Nm}) \quad (9-11)$$

Nếu có 3 dây dẫn: $M_{cd\Sigma} = T \cdot (h_1 + h_2 + h_3)$

Trường hợp có dây chống sét thì phải kể đến mô men do áp lực gió tác động lên dây chống sét $M_{gcs} = P_{gcs} \cdot h_{cs}$ và mô men do sức căng của dây chống sét $M_{cdcs} = T_{cs} \cdot h_{cs}$

Mômen uốn do tải trọng xây lắp lấy bằng 10% của mô men tổng cộng tác dụng lên cột.

Đối với cột trung gian:

Mô men uốn tổng cộng đối với cột trung gian

$$M_{u\Sigma} = (M_{gd\Sigma} + M_{gc}) \cdot n_1 \quad (9-12)$$

Mômen uốn tính toán có kể thêm 10% mô men xây lắp là:

$$M_{utt} = 1,1 \cdot n_1 \cdot (M_{gd\Sigma} + M_{gc}) \quad (\text{Nm}) \quad (9-13)$$

trong đó : n_1 - là hệ số dự trữ, lấy $n_1 = 1,2$.

Đối với cột góc:

Nếu $I < I_{th}$ thì σ_{max} khi θ_{min} , ta cần tính M_{utt} ứng với hai trường hợp:

- Khi θ_{min} thì $v = 0$; σ_{max} mô men uốn cực đại do sức căng dây còn M_{gd} , M_{gc} bằng không.

$$M_{utt} = 1,1 \cdot n_2 \cdot M_{cd\Sigma} \quad (9-14a)$$

- Khi có bão v_{max} , tải trọng lên cột gồm gió lên dây, lên cột và sức căng dây ở θ_{TB}

$$M_{utt} = 1,1 \left(n_1 \cdot (M_{gd\Sigma} + M_{gc}) + n_2 \cdot M_{cdTB\Sigma} \right) \quad (9-14b)$$

$M_{cdTB\Sigma}$ được xác định nhờ giải phương trình trạng thái tìm σ ở nhiệt độ 25^0 C

$$\text{Nếu } I > I_{th} \text{ thì } \sigma_{max} \text{ khi } \theta_{TB} \text{ và } M_{utt} = 1,1 (n_1 \cdot (M_{gd\Sigma} + M_{gc}) + n_2 \cdot M_{cd\Sigma}) \quad (9-14c)$$

Khi tính cho cột góc cần tính đến góc lệch giữa hướng gió và tuyến dây ($\sin\varphi$), $n_2 = 1,3$.

n_1 và n_2 là các hệ số dự trữ (quá tải) trong chế độ bình thường và sự cố.

Đối với cột đầu và cuối tuyến:

Nếu $I < I_{th}$ thì σ_{max} khi θ_{min} , ta cần tính M_{utt} ứng với hai trường hợp:

- Khi θ_{min} thì $v = 0$; σ_{max} mô men uốn cực đại do sức căng dây còn M_{gd} , M_{gc} bằng không.

$$M_{utt} = 1,1 n_2 \cdot M_{cd\Sigma} \quad (9-15a)$$

- Khi có bão v_{max} , tải trọng lên cột gồm gió lên cột và sức căng dây ở θ_{TB}

$$M_{utt} = 1,1 (n_1 M_{gc} + n_2 \cdot M_{cdTB\Sigma}) \quad (9-15b)$$

$M_{cdTB\Sigma}$ được xác định nhờ giải phương trình trạng thái tìm σ ở nhiệt độ 25^0 C, bỏ qua M_{gd} vì trường hợp nguy hiểm nhất đối với cột là gió thổi dọc tuyến dây $M_{gd} = 0$.

$$\text{Nếu } I > I_{th} \text{ thì } \sigma_{max} \text{ khi } \theta_{TB} \text{ và } M_{utt} = 1,1 (n_1 \cdot M_{gc} + n_2 \cdot M_{cd\Sigma}) \quad (9-15c)$$

Điều kiện để cột không bị uốn là:

$$M_{utt} \leq M_{uc} \quad (9-16)$$

M_{cu} - là mômen chống uốn của cột.

Mô men xoắn của cột

Ta chỉ cần kiểm tra mô men xoắn đối với cột của đường dây trung áp vì lưới hạ áp có 4 dây dẫn (1 tầng dây) hoặc 8 dây dẫn (2 tầng dây) nên khi bị đứt một dây dẫn ngoài cùng không gây nên mô men xoắn lớn cho cột.

- Mômen xoắn tác dụng lên cột khi đứt một dây dẫn

$$M_{xc} = T_{sc} \cdot \frac{X}{2} \quad (Nm) \quad (9-17)$$

trong đó: X - là chiều dài hữu hiệu của xà (m);

T_{sc} - là lực căng dây khi có sự cố đứt dây về một phía.

Điều kiện bền chống xoắn:

$$M_{xtt} = n_2 M_{xc} \leq M_{cx} \quad (9-18)$$

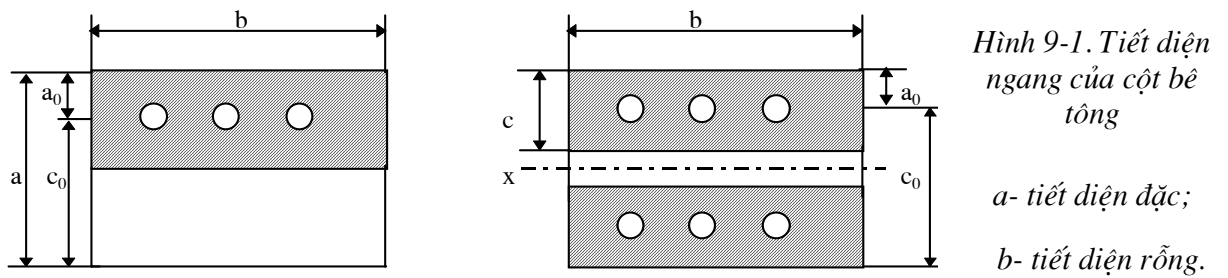
trong đó: M_{xtt} - là mômen xoắn tính toán;

M_{cx} - là mômen chống xoắn của cột. $n_2 = 1,3$.

§ 9-3. MÔ MEN CHỐNG UỐN CỦA CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP

Cột bê tông cốt thép thường gặp ở nước ta chủ yếu dùng loại cột mặt vuông, mặt chéo hay cột ly tâm. Sau đây giới thiệu các công thức tính toán, kiểm tra mômen chống uốn và chống xoắn của cột.

1. Mômen chống uốn của cột mặt vuông



Cột chế tạo sẵn cần tính toán kiểm tra cho tiết diện nguy hiểm nhất là mặt cắt sát đất, chỗ bắt xà hoặc từ mặt đặc chuyển sang mặt rỗng, ký hiệu kích thước tại mặt cắt của cột vuông như hình 9-1.

- Đối với cột tiết diện đặc mômen chống uốn của cột là:

$$M_{cu} = m_b [m_t R_{Ka} F_a (c_0 - a_0) - bx R_{ub} \left(\frac{x}{2} - a_0 \right)] \quad (\text{Nm}) \quad (9-19)$$

trong đó:

m_b - là hệ số điều kiện chế tạo của bê tông;

$m_b = 1,1$ đối với bê tông đúc tại nhà máy; $M_b = 1$ đối với bê tông đúc tại chỗ;

m_t - là hệ số điều kiện chế tạo của thép;

$m_t = 0,8$ đối với thép nhà máy sản xuất; $m_t = 0,7$ đối với các loại thép khác;

F_a - là diện tích cốt thép trên một mặt cột (cm^2);

a_0, c_0 - là khoảng cách từ mặt ngoài của cột đến lõi thép;

b - là chiều dài tiết diện ngang (cm);

x - là vị trí của trục trung hòa.

Để bê tông phủ đủ độ dày lên thép và tạo ứng suất lớn người ta lấy $x = 0,55 c_0$.

R_{Ka}, R_{ub} - là sức bền tính toán khi kéo của thép và khi uốn của bê tông cho trong bảng 9-2 và 9-3.

Bảng 9-2. Sức bền tính toán của thép (N/ cm²)

Trạng thái ứng suất	Loại thép và ứng suất (N/cm ²)		
	CT ₃	CT ₅	25Γ2C
Kéo R _{Ka}	20600	23500	33400
Nén R _{na}	20600	23500	33400
Cắt R _{ca}	16500	16500	26700

Bảng 9-3. Sức bền tính toán của bê tông (N/cm²)

Trạng thái ứng suất	Mức bê tông N/cm ² , (kG/cm ²)						
	981,(100)	1470,(150)	1960,(200)	2940,(300)	3920,(400)	4900,(500)	5900,(600)
Uốn R _{ub}	540	785	981	1420	2060	2450	2750
Kéo R _{Kb}	44	57	70,5	103	122	137	147
Nén R _{nb}	431	638	785	1280	1670	1960	2260

+ Đối với cột tiết diện rộng, mômen chống uốn của cột là:

$$M_{cu} = m_b m_t R_{Ka} F_a (c_0 - a_0) \quad (9-20)$$

Khi cần thiết kể cột mới, dựa vào (9-19) và (9-20) ta tính ra F_a, chọn đường kính quy chuẩn, tìm tiết diện và kiểm tra lại. Chẳng hạn từ (9-20) có:

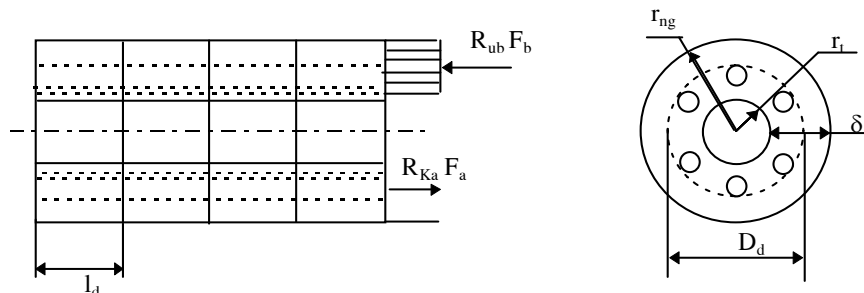
$$F_a = \frac{M_{utt}}{m_b m_t R_{Ka} (c_0 - a_0)} \quad (9-21)$$

Từ F_a dựa vào tiết diện và đường kính quy chuẩn ta tìm được số thanh thép dọc và đường kính của nó.

2. Mô men chống uốn của cột ly tâm

Sơ đồ mặt cắt và tải trọng của cột ly tâm cho trên hình 9-2.

Hình 9-2.
Mặt cắt cột ly tâm



Khi thép dọc không có ứng suất trước thì mômen chống uốn của cột là:

$$M_{cu} = \frac{m_b}{\pi} (R_{ub} F_b + 2m_t R_{Ka} F_a) r_c \sin \frac{\pi m_t R_{Ka} F_a}{R_{ub} F_b + 2m_t R_{Ka} F_a} \quad (9-22)$$

Đối với thép có ứng suất trước mômen chống uốn là:

$$M_{cu} = \frac{m_b}{\pi} [R_{ub} F_b + m_t F_a (R'_{Ka} + \sigma'_n)] r_c \sin \frac{\pi m_t R'_{Ka} F_a}{R_{ub} F_b + F_a (R'_{Ka} + \sigma'_n)} \quad (9-23)$$

trong đó:

R_{Ka}' - sức bền tính toán của thép có ứng suất trước;

F_a - là diện tích cốt thép trên một mặt cột;

F_b - là diện tích phần bê tông của cột;

σ'_n - là ứng suất trước khi nén của thép;

r_c - là bán kính trung bình của tiết diện cột.

$$r_c = 0,5 (r_t + r_{ng}) \quad (9-24)$$

r_t, r_{ng} - là bán kính trong và ngoài của cột ly tâm.

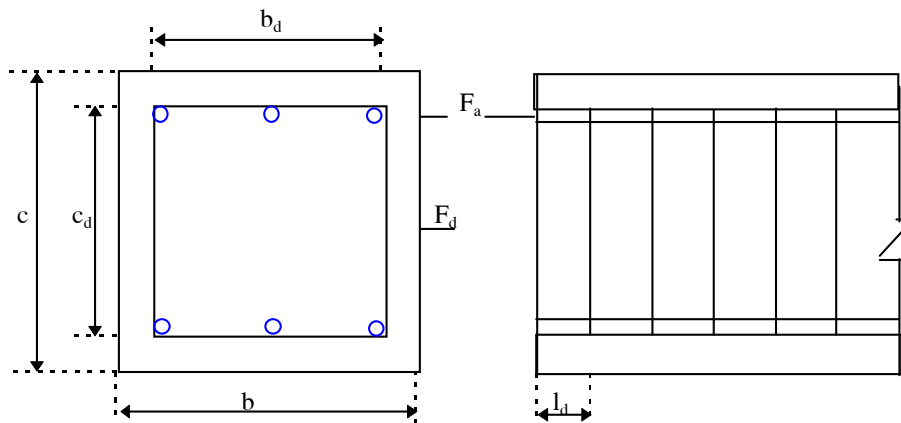
§ 9-4. MÔMEN CHỐNG XOÁN CỦA CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP

Khi có sự cố đứt dây xuất hiện mômen xoắn do tải trọng ngoài gây ra, tác dụng lên cột. Để đảm bảo an toàn, mômen chống xoắn do thép dọc và thép đai của cột sinh ra phải không nhỏ hơn mômen xoắn tính toán của tải trọng cơ giới.

1. Mômen chống xoắn của cột mặt vuông và mặt chéo

Các kích thước của cột cho trên hình 9-3.

Các thanh thép dọc liên kết với nhau bằng các đai. Khi đó, mômen chống xoắn của thép dọc cột bê tông cốt thép là:



Hình 9-3. Cốt thép của cột mặt vuông

$$M_{cx} = \frac{2m_b m_t R_{Ka} F_{a\Sigma} F_d}{v_d} \quad (9-25)$$

Mômen chống xoắn của thép đai là:

$$M_{cx} = \frac{2m_b m_t R_{Ka} S_d F_d}{l_d} \quad (9-26)$$

trong đó:

F_d - là diện tích ngang một sợi thép đai (cm^2);

v_d - là chu vi thép đai bao quanh thép dọc.

$$v_d = 2(b_d + c_d).$$

S_d - là diện tích thép đai bao quanh thép dọc.

$$S_d = b_d c_d.$$

b_d, c_d - là khoảng cách giữa các thép dọc cho trên hình 9-3.

$F_{a\Sigma}$ - là tổng diện tích các thép dọc.

$$F_{a\Sigma} = n \cdot \pi d^2 / 4 \quad (\text{cm}^2) \quad (9-27)$$

n - là số thanh thép dọc;

d - là đường kính của thanh thép dọc;

l_d - là khoảng cách giữa các đai (cm).

Cả thép dọc và thép đai phải thoả mãn độ bền theo điều kiện:

$$M_{xlt} \leq M_{cx}.$$

2. Mômen chống xoắn của cột li tâm

Mômen chống xoắn do thép dọc sinh ra là:

$$M_{cx} = 2m_b m_t R_{Ka} F_{a\Sigma} \frac{F_d}{v_d} \quad (9-28)$$

ở đây: v_d - là chu vi thép đai xác định theo công thức:

$$v_d = \pi D_d$$

D_d - là đường kính vòng đai cho trên hình 9-2.

Mô men chống xoắn của thép đai là:

$$M_{cx} = 2 m_b m_t R_{Ka} S_d \frac{F_d}{l_d} \quad (9-29)$$

S_d - là diện tích vòng đai quanh thép dọc xác định theo công thức:

$$S_d = \pi D_d^2 / 4.$$

2. Các lưu ý khi tính toán độ bền cột

Khi tính toán cột, nếu cột không đảm bảo điều kiện bền thì

- Sử dụng loại cột khác có độ bền cao hơn
- Sử dụng cột đôi, néo cột hoặc kết hợp các biện pháp cho các vị trí chịu lực và mô men lớn.
- Khi sử dụng néo ta tính lực tác động lên đầu cột

$$P_{TT} = \frac{M''}{h}, \text{ lực dây néo phải chịu kéo } T_{TT} = P_{TT} - P_{CP}$$

Trong đó P_{CP} là lực cho phép trên đầu cột

$$\text{Lực tác động theo phương néo } T_N = \frac{T_{TT}}{\cos \alpha},$$

α là góc néo so với mặt đất.

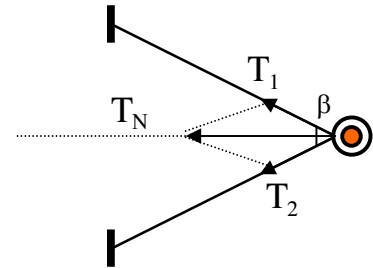
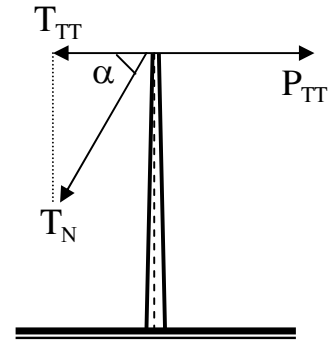
Nếu dùng 2 dây néo hợp với nhau một góc β thì

Lực tác động lên mỗi dây néo

$$T_1 = T_2 = T = \frac{T_n}{2 \cdot \cos \frac{\beta}{2}}$$

Từ lực kéo T_1 và T_2 tính chọn tiết diện dây néo và kiểm tra móng néo.

Dây néo thường dùng thép CT₃, số liệu sức bền kéo được tra trong bảng



§ 9-5. TÍNH MÓNG CỘT CHỐNG LÚN

Tính toán móng cột là nghiên cứu các biện pháp giữ chặt cột vào đất sao cho cột làm việc ổn định và an toàn trong quá trình vận hành đường dây.

Phần cột chôn sâu vào đất không phụ thuộc vào dạng kết cấu gọi chung là móng, phần đất nhận áp lực từ móng gọi là nền. Nền sử dụng đất ở trạng thái tự nhiên gọi là nền tự nhiên, nền đã gia cố bằng các biện pháp nào đó gọi là nền nhân tạo.

Khoảng cách từ đáy móng đến bề mặt đất gọi là độ chôn sâu của móng, trị số này thường được xác định theo tính toán. Tính nền móng cột phải căn cứ vào các điều kiện địa chất, khí hậu thủy văn của khu vực mà đường dây đi qua. Điều đó làm cho khó tính toán chính xác khi đường dây dài, đi qua nhiều vùng có điều kiện địa chất khác nhau.

Khi tính toán móng cần lấy hệ số an toàn quy định cho từng loại cột ứng với chế độ làm việc khác nhau.

Móng chống lún là móng chịu tác dụng của tải trọng thẳng đứng (cột trung gian) hoặc vừa tải trọng thẳng đứng vừa nằm ngang (cột góc, cột cuối, ...).

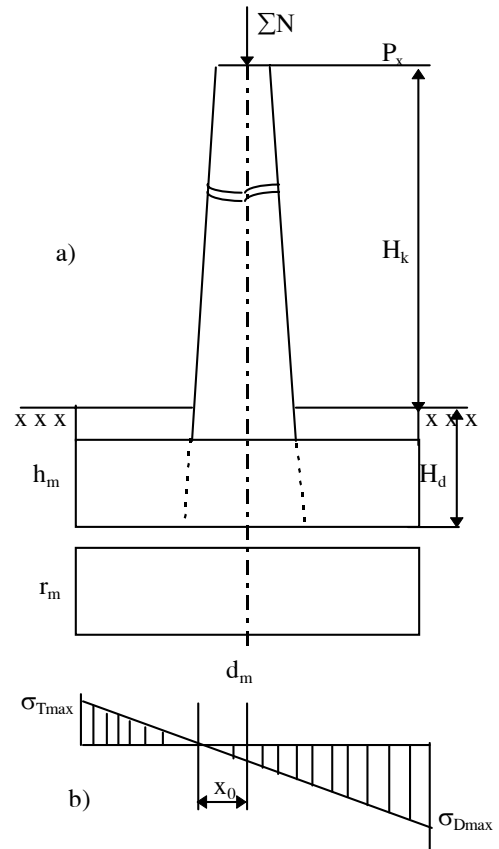
Ở đây ta chỉ tính toán chống lún cho móng cột bê tông không cấp, có tăng thêm chiều sâu để giảm nhẹ móng. Vì móng có cấp phức tạp nên trong thực tế ít dùng.

Hình 9-4. Sơ đồ tính toán móng chống lún
a- sơ đồ tải trọng;
b- sơ đồ tính toán.

Độ bền vững của móng xác định bởi sức bền của đất dưới đáy móng, trên mặt móng và xung quanh móng. Sơ đồ tải trọng và sức kháng của nền cho trên hình 9-4.

Ký hiệu trên sơ đồ:

- ΣN - là tổng tải trọng thẳng đứng ;
- P_x - là tải trọng nằm ngang;
- H_k - là chiều cao của cột (phần trên mặt đất) ;
- H_d - là chiều sâu chôn cột;
- d_m, r_m, h_m - là chiều dài, rộng, cao của móng;
- x - là vị trí trục trung hoà;
- σ_{dmax} - là ứng lực cực đại phía dưới móng;
- σ_{imax} - là ứng lực cực đại phía trên đáy móng.



Bỏ qua sự liên kết của đất xung quanh móng. Tải trọng trực tiếp của móng là ΣN và P_x . ứng lực cực đại phía dưới của móng là:

$$\sigma_{dmax} = \left(\frac{d_m}{2} + x_0\right) \frac{\sum N(z_0 + x_0)}{\frac{r_m}{3} \left[\left(\frac{d_m}{2} + x_0\right)^3 + K_l \left(\frac{d_m}{2} - x_0\right)^3\right]} \quad (9-30)$$

Ứng lực cực đại phía trên của móng là:

$$\sigma_{imax} = K_l \left(\frac{d_m}{2} - x_0\right) \frac{\sum N(z_0 + x_0)}{\frac{r_m}{3} \left[\left(\frac{d_m}{2} + x_0\right)^3 + K_l \left(\frac{d_m}{2} - x_0\right)^3\right]} \quad (9-31)$$

trong đó:

K_l - là tỷ số được liên kết phía trên và phía dưới của đất để móng: $K_l = c_2/c_1$, với c_1, c_2 - là lực liên kết phía dưới và phía trên của đất.

Để đơn giản tính toán và trong giới hạn cho phép, coi $c_1 = c_2$; $K_l = 1$, khi đó ta có:

$$x_0 = \frac{1}{12} \frac{d_m^2}{z} \quad (9-32)$$

$$\sigma_{dmax} = \frac{\sum N}{d_m r_m} \left(1 + 6 \frac{z}{d_m}\right) \quad (9-33)$$

z - tương đương với đòn bẩy của tải trọng, có giá trị là:

$$z = \frac{M_{utt}}{\sum N} = \frac{\sum P_x H_K}{\sum N} \quad (m) \quad (9-34)$$

Trong thực tế, tải trọng dài hạn P_x chỉ có tại các cột đầu, cuối, hãm hay cột góc. Nó được cân bằng bởi sức căng của dây neo, khi đó $z = 0$. Đồng thời tổng hợp lực của sức căng dây T và dây neo T_N là G_N có phương là tải trọng thẳng đứng (xem hình 9-8) và có giá trị là:

$$G_N = 0,5.T.T_N.\sin \beta$$

β - là góc giữa dây neo và mặt phẳng nằm ngang.

Tổng tải trọng thẳng đứng là:

$$\sum N = G_c + G_m + G_N.$$

G_c, G_m - là trọng lượng của cột và móng.

Øng suất cực đại của móng là:

$$\sigma_{dmax} = \frac{\sum N}{d_m r_m} \quad (kN/m^2). \quad (9-35)$$

Điều kiện ổn định của móng chống lún là:

$$\sigma_{dmax} < \gamma_d H_d \quad (9-36)$$

$$\sigma_{tmax} < A_{TC} \quad (9-37)$$

trong đó:

γ_d - là trọng lượng riêng của đất (kN/m^3);

A_{TC} - là sức bền tiêu chuẩn của đất hay áp lực cho phép của đất cho trong phụ lục (kN/m^2).

§ 9-6. TÍNH TOÁN MÓNG CỘT CHỐNG LẬT

1. Cột chôn sâu không móng

Móng chống lật là móng chống lại mômen lật do lực ngang của tải trọng ngoài gây ra. Cột chôn sâu không móng là dùng các loại đất pha theo tỷ lệ nhất định rồi đầm kỹ theo một quy trình nghiêm ngặt xung quanh chân cột tạo thành móng.

Điều kiện ổn định của cột chôn sâu không móng là:

$$\frac{1}{\alpha\mu} m_k b_c H_d^2 \geq n_m P_g \quad (9-38)$$

α - là tỷ lệ giữa chiều cao cột (H_k) và chiều sâu chôn cột (H_d);

μ - là hệ số phụ thuộc vào α ;

$\frac{1}{\alpha\mu}$ được cho trong phụ lục;

m_k - là thông số phụ thuộc vào trọng lượng riêng và góc lở của đất, cho trong phụ lục hoặc được tính toán như sau:

$$m_k = \gamma_d \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) (\frac{kN}{m^3}) \quad (9-39)$$

trong đó:

φ - là góc ma sát trong của đất;

b_c - là bề rộng tính toán của cột;

Với cột vuông, mặt khoẽ là b thì: $b_c = K_d b$;

Cột tròn, đường kính trung bình phân chân cột là d_{TB} thì: $b_c = K_d d_{TB}$;

K_d - là hệ số cản của đất cho trong phụ lục;

n_m - là hệ số an toàn của móng;

Cột trung gian: $n_m = 1,5$; cột góc, neo: $n_m = 2$; cột vượt: $n_m = 2,5$;

P_g - là tổng các lực ngang hay tổng áp lực của gió lên cột và lên dáy. (kN).

2. Móng cột chôn sâu có ngáng (hình 9-5)

Để tăng mômen chống lật cho cột người ta dùng thanh ngáng bắt vào chân cột. Chiều sâu đặt ngáng từ 1/2 đến 1/3 chiều sâu chôn cột.

Khi có tải trọng ngang là P_g , để bảo đảm an toàn thì chiều dài thanh ngáng là:

$$l_{ng} = \frac{E(1 - 2\theta_s^2) + n_m P_g}{m_k h_{ng} r_{ng} (1 + \operatorname{tg} \varphi)} + d_0 \quad (9-40)$$

trong đó:

E - là sức kháng của đất có giá trị là:

$$E = 0,5 m_k b_c H_d. \quad (9-41)$$

θ_s - là hệ số tính tới độ chôn sâu của ngáng tính theo biểu thức:

$$\theta_s^2 (1,33 \theta_s - \frac{2h_{ng}}{H_d}) = 0,667 - \frac{h_{ng}}{H_d} - \frac{n_m P_g}{EH_d} (h_{ng} + H_K) \quad (9-42)$$

Hình 9-5.

Móng cột chôn sâu có đặt thanh ngang

Ký hiệu trên hình vẽ:

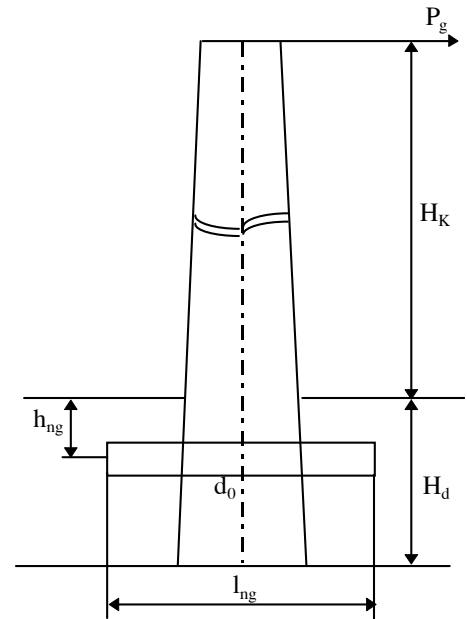
l_{ng}, r_{ng} - là bề dài và bề rộng của ngang;

h_{ng} - là độ chôn sâu của ngang;

d_0 - là đường kính hay bề rộng của cột chỗ đặt thanh ngang;

P_g - là lực ngang tác dụng lên cột và dầm;

H_k, H_d - là chiều cao phần cột trên mặt đất và dưới mặt đất.



3. Móng bê tông không cấp (hình 9-6)

Để chống lún cho cột người ta dùng móng bê tông không cấp. Ký hiệu các kích thước và tải trọng như trên hình 9-6.

Điều kiện móng không bị lật là:

$$\frac{1}{F_1} (F_2 \cdot E_k + F_3 \cdot G) \geq n_m \cdot P_g \quad (9-43)$$

F_1 - là hệ số ảnh hưởng của chiều sâu chôn cột và loại đất:

$$F_1 = 1,5 \left[\frac{H_k}{H_d} + \left(\frac{H_k}{H_d} + 1 \right) \text{tg} \varphi^2 \right] + 0,5 \quad (9-44)$$

F_2, F_3 - là hệ số phản kháng của móng xác định theo công thức:

$$F_2 = (1 + \text{tg}^2 \varphi) \left(1 + 1,5 \frac{d_m}{h_m} \text{tg} \varphi \right) \quad (9-45)$$

$$F_3 = \left[\left(1 + \text{tg}^2 \varphi \right) \frac{d_m}{h_m} + \text{tg} \varphi \right] \quad (9-46)$$

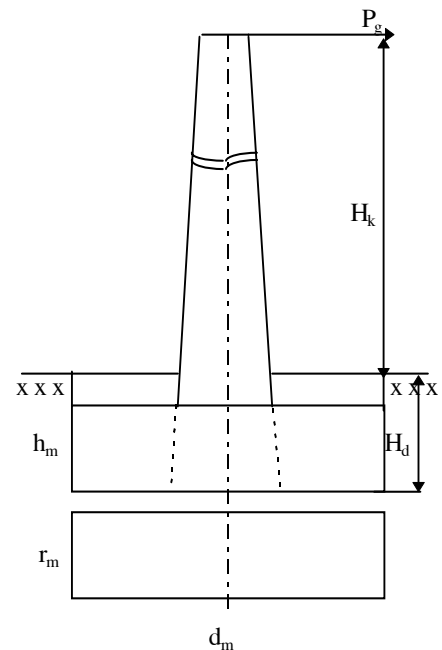
E_k - là sức kháng của đất có giá trị là:

$$E_k = \frac{r_m H_d K_c}{\theta (\theta + \text{tg} \varphi)} [0,5 \gamma_d H_d + C (1 + \theta^2)] \quad (9-47)$$

trong đó:

K_c - là hệ số cản phụ thuộc vào loại đất và kích thước cột cho trong phụ lục;

C - là lực dính kết của đất có trong phụ lục;



Hình 9-6. Móng bê tông không cấp

θ - là hệ số liên kết cho trong phụ lục;

G - là tổng trọng lượng của cột và bê tông

$$G = G_c + G_m = G_c + \gamma_b d_m r_m h_m. \quad (9-48)$$

n_m - là hệ số an toàn của móng;

P_g - là tổng tải trọng của gió lên cột và lên dầm.

§ 9-7. TÍNH TOÁN MÓNG NÉO

Móng néo hay móng chống nhỏ dùng để căng dây néo ở các cột đầu, cuối, góc hay cột tháp. Móng néo là móng chống lại lực nhỏ có phương từ dưới lên theo chiều dây néo. Tính toán móng néo là dùng các biện pháp giữ chặt móng trong đất để nó không bị bật lên. Phương của dây néo làm thành với mặt phẳng nằm ngang một góc β gọi là góc nhỏ.

1. Khi góc nhỏ $\beta < 75^\circ$

Sơ đồ tính toán của móng néo dưới tác dụng của lực nhỏ T_N cho trên hình 9-7.

Ký hiệu:

h_n - là chiều cao;

b_n - là chiều rộng;

ψ_0 - là góc giữa móng néo và khối đất bị bật lên.

Độ bền vững của móng xác định bởi trọng lượng khối bê tông, lực liên kết giữa móng và đất, sức bền thụ động của đất.

Móng làm việc ổn định khi trọng lượng móng, áp lực của móng với đất thắng được lực nhỏ do sức căng của dây néo:

$$0,5 \gamma_b h_n^2 b_n \lambda > n_m T_N \quad (9-49)$$

trong đó:

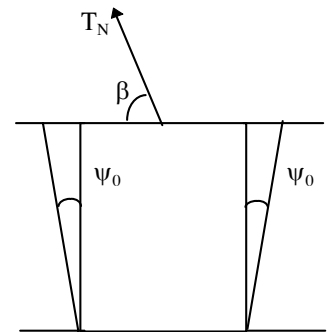
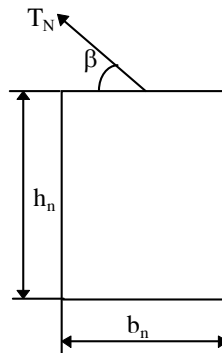
λ - là sức bền thụ động của đất:

$$\lambda = \lambda_g (1 - \xi^2 \eta^2) + \frac{2}{3} \frac{h_n}{b_n} \Omega (1 - \xi^2 \psi) \quad (9-50)$$

λ_g - là hệ số góc có giá trị là:

$$\lambda_g = \frac{\cos^2(\varphi + \beta)}{\cos \beta (\cos \beta - \sin \varphi)^2} \quad (9-51)$$

ξ - là hệ số phụ thuộc vào β và kích thước móng néo cho trong phụ lục ứng với $\tau = 1,25 \frac{b_n}{h_n}$



Hình 9-7. Móng néo

a- góc nhỏ $\beta < 75^\circ$

b- góc nhỏ $75^\circ < \beta < 90^\circ$

η, Ω, Ψ - là hệ số phụ thuộc vào β và φ cho trong phụ lục.

2. Khi góc nhỏ $75^\circ < \beta < 90^\circ$

Móng làm việc ổn định khi trọng lượng móng với khối đất bị bịt lên và lực liên kết giữa móng với đất thẳng được lực nhỏ T_N :

$$\gamma_b V_b + \gamma_d V_d + C_0 S_{xq} \geq n_m T_N \tag{9-52}$$

ở đây:

V_b - là thể tích bê tông: $V_b = a_n b_n h_n$;

V_d - là thể tích của đất :

$$V_d = (a_n + b_n \frac{4}{3} h_n \text{tg} \psi_0) h_n^2 \text{tg} \varphi \tag{9-53}$$

S_{xq} - là diện tích tiếp xúc giữa móng và đất.

$$S_{xq} = 2(a_n + b_n) h_n \tag{9-54}$$

C_0 - là lực liên kết của đất cho trong bảng 9-4.

ψ_0 - là góc ảnh hưởng của lực nhỏ, cho trong bảng sau:

Bảng 9-4. Giá trị của γ_d, ψ_0 và C_0 đối với các loại đất

Loại đất	Các thông số ứng với trọng lượng của đất γ_d (kN/m ³)					
	15,2			16,7		
	γ_d	$\text{tg} \psi_0$	C_0	γ_d	$\text{tg} \psi_0$	C_0
Cát	15,2	0,54	0,5C	16,7	0,84	0,8C
Sét	15,2	0,44	0,4C	16,7	0,64	0,6C

§ 9-8. MỘT SỐ VÍ DỤ TÍNH TOÁN CỘT VÀ MÓNG

Ví dụ 1

Một đường dây 35 kV dùng dây dẫn AC-70 đi qua vùng có tốc độ gió $V = 30$ m/s, chiều dài khoảng vượt $l = 160$ m. Chiều cao treo dây lần lượt là: 9,4; 8 và 8 m. Tiết diện nguy hiểm tại mặt cắt sát đất và đỉnh cột là: $a_2 \times b_2 = 40 \times 30$ cm; $a_1 \times b_1 = 15 \times 15$ cm. Hãy kiểm tra sức bền chống uốn của cột trung gian biết rằng cột có kích thước: $C_0 = 36,5$ cm; $a_0 = 3,5$ cm. Diện tích cốt thép ở một mặt cột là $3 \times 2,54$ cm².

Giải.

1. Tính áp lực của gió tác dụng lên dây dẫn và cột:

$$P_{gd} = P_{gd} = \frac{9,81}{16} \alpha_K \cdot C_x \cdot V^2 \cdot d \cdot l \cdot \sin \varphi \cdot 10^{-3} = \frac{9,81}{16} \cdot 0,75 \cdot 1,2 \cdot 30^2 \cdot 11,4 \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 905,8 \text{ (N)}$$

$$P_{gc} = \frac{9,81}{16} \alpha_K C_x V^2 S = \frac{9,81}{16} 0,75 \cdot 1,5 \cdot 30^2 \cdot 2,11 = 1309,8 \text{ (N)}.$$

trong đó: diện tích của mặt cột là: $S = 0,5(b_1 + b_2) H_K = 0,5(0,3 + 0,15) 9,4 = 2,11 \text{ (m}^2 \text{)}$.

2. Xác định mômen tính toán của ngoại lực:

$$M_{gd} = P_{gd}h_1 + p_{gd}h_2 + P_{gd}h_3 = 905,8 (9,4 + 8 + 8) = 23007,8 \text{ (Nm)}.$$

$$M_{gc} = P_{gd}h_t = 1309,8 \cdot 4,17 = 5461,8 \text{ Nm}$$

trong đó: $h_t = \frac{2b_1 + b_2}{b_1 + b_2} \frac{H_K}{3} = \frac{2 \cdot 0,15 + 0,3}{0,5 + 0,3} \frac{9,4}{3} = 4,17 \text{ (m)}$.

$$M_{utt} = 1,1 n_d m_u = 1,1 \cdot n_d (M_{gd} + M_{gc}) = 1,1 \cdot 1,2 (23007,8 + 5461,8) = 37579,3 \text{ (Nm)}.$$

3. Xác định mômen chống uốn của cột:

$$M_u = m_b m_t R_{Ka} F_a (C_0 - a_0) = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 20600 \cdot 3 \cdot 2,54 (36,5 - 3,5) 10^{-2} = 45584,6 \text{ (Nm)}.$$

trong đó: R_{Ka} - tra trong bảng 9-2.

4. So sánh và kết luận.

Ta thấy $M_{utt} = 37579,3 < M_{cu} = 45584,6$. Vậy cột đảm bảo yêu cầu.

Ví dụ 2

Một móng cột góc có kích thước $d_m \times r_m \times h_m = 1,4 \times 1,2 \times 1$ mét, chôn sâu 1,6 m. Vùng đất có trọng lượng riêng là $\gamma_d = 18,6 \text{ kN/m}^3$; $c_1 = c_2$. Trọng lượng và phụ kiện là $G_c = 8 \text{ kN}$. Lực ngang do sức căng dây có giá trị là $T = 2,42 \text{ kN}$ cân bằng với dây neo. Góc dây neo là $\beta = 45^\circ$.

Hãy kiểm tra khả năng chống lún của móng.

Giải:

Sơ đồ tải trọng và tính toán móng cột cho trên hình 9-8

1. Tìm tổng tải trọng thẳng đứng.

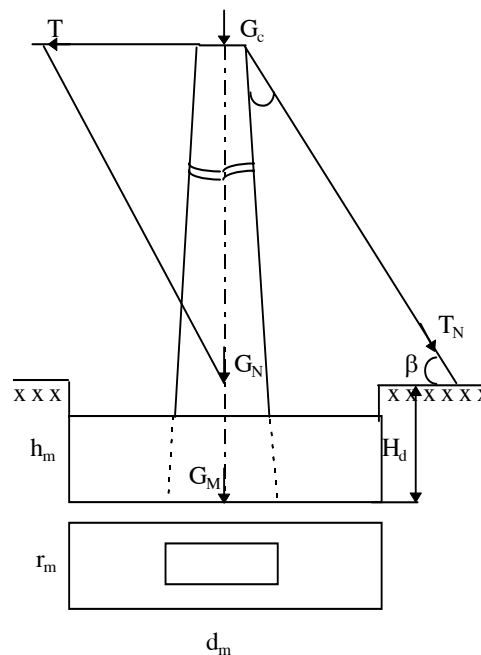
Vì sức căng của dây neo T_N cân bằng với sức căng T của dây nên tổng hợp lực của T_N và T là G_N tác dụng lên móng theo phương thẳng đứng và có giá trị là:

$$\begin{aligned} G_N &= 0,5 T \cdot T_N \cdot \sin \beta \\ &= 0,5 \cdot 2,42 \cdot 2,42 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 2,05 \text{ (kN)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_m &= \gamma_b \cdot d_m \cdot r_m \cdot h_m \\ &= 23,5 \cdot 1,4 \cdot 1,2 = 39,48 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum N &= G_n + G_m + G_c \\ &= 2,05 + 39,48 + 8 = 49,53 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

2. Tìm ứng suất cực đại:



$$\begin{aligned}\sigma_{dmax} = \sigma_{max} &= (\sum N)/(d_m \cdot r_m) \\ &= 49,53/(1,4 \cdot 1,2) = 29,48 \text{ (kN).}\end{aligned}$$

3. Tìm áp lực chống lún.

$$\gamma_d \cdot H_d = 18,6 \cdot 1,6 = 29,7 \text{ (kN).}$$

4. So sánh và kết luận:

$\sigma_{max} = 29,48 < \gamma_d H_d = 29,7$. Vậy móng cột bảo đảm yêu cầu

Ví dụ 3

Kiểm tra khả năng chống lật của móng cột bê tông không cấp, kích thước là: $d_m \times r_m \times h_m = 1,2 \times 1,2 \times 1,4$ m. Chiều sâu chôn cột là $H_d = 1,4$ m. Vùng đất có góc lở tự nhiên: $\varphi = 35^\circ$; $C = 7,85$ kN/cm². Biết $H_k = 9,4$ m, tải trọng của cột và phụ kiện là $G_c = 8$ kN, mômen lật tính toán là: $M = 37579$ Nm. Lực ngang do gió tác dụng lên cột và dây là $P_g = 4027$ N. Cho $\gamma_b = 23,5$; $\gamma_d = 18,6$ (kN/m³).

Giải.

Điều kiện móng không bị lật là:

$$\frac{1}{F_1} (F_2 E_k + F_3 G) \geq n_m \cdot P_g.$$

1. Tính các hệ số F_1, F_2, F_3 :