

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG TRÊN LƯỚI TRUNG ÁP THEO DÒNG ĐIỆN TRUNG BÌNH BÌNH PHƯƠNG

Nguyễn Ngọc Kính, Ngô Quang Ước

Khoa Cơ điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

Email: nnkinh@vnua.edu.vn, nguoc@vnua.edu.vn

Ngày gửi bài: 13.05.2014

Ngày chấp nhận: 18.07.2014

TÓM TẮT

Nội dung bài báo trình bày phương pháp tính toán tổn thất điện năng trên lưới điện trung áp theo dòng điện trung bình bình phương. Mặc dù tổn thất điện năng trên lưới điện đã có nhiều tác giả nghiên cứu và đề xuất các phương pháp tính gần đúng nhưng vận dụng các phương pháp đó vào điều kiện cụ thể của lưới điện trung áp nước ta vẫn còn những bất cập. Bằng cách vận dụng lý thuyết xác suất thống kê và căn cứ vào điều kiện cụ thể của lưới điện, dưới đây trình bày phương pháp tính toán tổn thất điện năng nhằm đáp ứng yêu cầu thuận tiện trong việc thu thập dữ liệu tính toán và đảm bảo độ chính xác cho phép.

Từ khoá: Dòng trung bình bình phương (I_{tbbp}^2), dòng điện trung bình (I_{tb}), phương sai dòng điện (σ).

Method Calculating Energy Losses for Medium Voltage Grid Base on R.M.S Current

ABSTRACT

The article presented the method of energy loss calculation for the medium voltage transmission grid based on root mean-square current. Although the energy loss for the medium voltage transmission grid has been studied by many authors and proposed approximate calculation methods, it is inadequate for the application of such methods for concrete condition of the medium voltage grid in our country. By using statistical probability theory and the concrete condition of the medium voltage grid, the energy loss calculation method proposed seemed to be conveniently and accurate in collecting data required..

Keywords: Average current (I_{tb}), r.m.s current (I_{tbbp}^2), variance of electric current (σ).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khác với thiết kế lưới điện, khi tính tổn thất điện năng trên lưới điện vận hành người ta yêu cầu phải chọn được phương pháp tính sao cho việc thu thập dữ liệu đơn giản, độ chính xác cao và xét đến đầy đủ các yếu tố của lưới điện.

Cơ sở tính toán tổn thất điện năng trên 1 đoạn đường dây trung áp theo biểu thức:

$$\begin{aligned} \Delta A &= 3r \int_0^t i^2 dt \cdot 10^{-3} \\ &= 3r I_{\max}^2 \tau \cdot 10^{-3} \\ &= 3r \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^n i_i^2 \Delta t_i = 3r I_{tbbp}^2 t \cdot 10^{-3} \text{ (kWh)} \end{aligned}$$

Trong đó:

r là điện trở của đoạn đường dây (Ω);

i , I_{\max} là dòng điện và dòng điện cực đại truyền tải trên đường dây (A);

τ là thời gian hao tổn công suất cực đại (h);

Δt_i là khoảng thời gian ứng với giá trị của dòng điện i_i không đổi (h);

I_{tbbp} là dòng điện trung bình bình phương (A).

Từ các công thức trên, nhiều tác giả trên thế giới đã nghiên cứu và đề xuất các phương pháp tính tổn thất điện năng trên lưới điện nhằm đáp ứng yêu cầu thu thập dữ liệu để

dàng, đơn giản với kết quả tính toán tin cậy và tương đối chính xác. Dòng điện phụ tải và truyền tải trên lưới điện trung áp biến đổi thường xuyên, liên tục theo quy luật ngẫu nhiên. Các phương pháp hiện áp dụng trong thực tế tính toán lưới điện như phương pháp giải tích, phương pháp tính theo chỉ số đo đếm của công tơ (căn cứ số đo của công tơ đặt ở đầu nguồn và tại các phụ tải), tính theo ΔP_{\max} và τ , tính tổn thất bằng cách tra họ đường cong tổn thất $\Delta P = f(P)$ hoặc lập hàm tổn thất ΔP cho từng lưới điện cụ thể để tính toán, tính theo dòng điện cực đại đầu đường dây và điện trở đẳng trị,... Có thể nói các phương pháp tính hiện nay chủ yếu dựa vào giá trị cực đại của dòng phụ tải, tổn thất công suất khi phụ tải cực đại và thời gian tổn thất công suất cực đại τ . Tuy nhiên các phương pháp trên khi áp dụng vào thực tế đều nảy sinh mâu thuẫn giữa việc đơn giản và thuận tiện trong việc thu thập dữ liệu để tính toán với độ chính xác của phương pháp. Việc xác định chính xác các giá trị I_{\max} , P_{\max} , ΔP_{\max} và τ trên các đoạn đường dây và tại các trạm biến áp của lưới điện trung áp phân nhánh có nhiều nhánh, nhiều nút, nhiều trạm biến áp tiêu thụ là công việc khó thực hiện. Sai số của các phương pháp tính ngoài việc phụ thuộc vào các thiết bị đo có trong trạm thì còn phụ thuộc rất nhiều vào thời điểm thu thập dữ liệu, kích thước của tệp dữ liệu, sai số trong đo đếm và thu thập, phương pháp xử lý dữ liệu thu thập... Phương pháp xác định tổn thất điện năng theo dòng trung bình bình phương chưa được nhiều tác giả nghiên cứu để có thể đưa ra cách tính toán chính xác và phù hợp với lưới điện hiện tại.

2. CÁCH TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP

Trên cơ sở lý thuyết về tính toán tổn thất điện năng, ta có thể xây dựng một phương pháp tính toán tổn thất dựa vào giá trị điện trở của đường dây (r) dòng điện trung bình bình phương (I_{tbbp}) và thời gian vận hành (t) của lưới điện. Nếu ta coi dòng điện truyền tải trên đường dây là dòng điện trung bình bình phương (I_{tbbp}) và không đổi trong suốt thời gian vận hành thì tổn thất năng lượng trên đoạn đường dây dễ dàng được tính:

$$\Delta A = 3rI_{\text{tbbp}}^2 t 10^{-3} \text{ (kWh) với}$$

$$I_{\text{tbbp}} = \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t i^2 dt} = \sqrt{\frac{I_{\max}^2 \tau}{t}}$$

Các thông số r , t hoàn toàn xác định được, vấn đề đặt ra là tìm cách xác định chính xác và thuận tiện giá trị của I_{tbbp} .

Theo Đặng Ngọc Dinh và cs. (1981), Trần Quang Khánh (2000), ta có thể coi dòng điện phụ tải biến đổi theo quy luật ngẫu nhiên và tuân theo luật phân bố chuẩn (Gauss) với hàm mật độ có dạng:

$$f(i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(i-i_{\text{tb}})^2}{2\sigma^2}} \quad \text{với } -\infty < i < +\infty$$

Trong đó

- i_{tb} là giá trị trung bình của dòng điện

$$\text{trong thời gian } t: \quad i_{\text{tb}} = \frac{1}{t} \int_0^t i dt = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^n i_i \Delta t_i$$

- σ là độ lệch chuẩn (phương sai) của dòng điện, theo lý thuyết xác suất thống kê

$$\begin{aligned} D(i) = \sigma^2 &= \frac{1}{t} \int_0^t (i - i_{\text{tb}})^2 dt \\ &= \frac{1}{t} \int_0^t i^2 dt - \frac{1}{t} \int_0^t 2i_{\text{tb}} i dt + \frac{1}{t} \int_0^t i_{\text{tb}}^2 dt \end{aligned}$$

Có thể coi i_{tb} là một giá trị không đổi theo thời gian, ta có:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{1}{t} \int_0^t i^2 dt - \frac{2i_{\text{tb}}}{t} \int_0^t i dt + \frac{i_{\text{tb}}^2}{t} \int_0^t dt \\ &= I_{\text{tbbp}}^2 - 2i_{\text{tb}}^2 + i_{\text{tb}}^2 = I_{\text{tbbp}}^2 - i_{\text{tb}}^2 \\ \text{Vậy } I_{\text{tbbp}}^2 &= \sigma^2 + i_{\text{tb}}^2 \end{aligned}$$

Để tính được dòng I_{tbbp} ta phải tìm cách xác định được giá trị σ^2 và i_{tb}^2 của lưới điện. Dựa vào điều kiện cụ thể của lưới điện trung áp nước ta, nghiên cứu của đề tài theo hướng lựa chọn phương pháp tính toán và xác định các thông số qua các thiết bị đo đếm sẵn có lắp đặt trên lưới trung áp.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xác định giá trị của i_{tb}

Trong mạng điện trung áp, gần đúng giả thiết coi điện áp các điểm lấy theo giá trị trung bình và gần đúng lấy bằng điện áp định mức. Hệ số công suất $\cos\varphi$ phụ tải cao, thay đổi trong giới hạn hẹp ta coi như không đổi. Gọi A_r , A_p là năng lượng tác dụng và phản kháng, có thể xác định được từ công tơ đo đếm năng lượng tiêu thụ lắp đặt tại các trạm biến áp.

$$A_r = \int_0^t P dt = \sqrt{3} U_{tb} \cos\varphi \int_0^t i dt$$

$$= \sqrt{3} U_{tb} i_{tb} \cos\varphi t$$

$$A_p = \int_0^t Q dt = \sqrt{3} U_{tb} \sin\varphi \int_0^t i dt$$

$$= \sqrt{3} U_{tb} i_{tb} \sin\varphi t$$

$$A_r^2 + A_p^2 = (\sqrt{3} U_{tb} i_{tb} \cos\varphi t)^2 + (\sqrt{3} U_{tb} i_{tb} \sin\varphi t)^2 = (\sqrt{3} U_{tb} i_{tb} t)^2$$

Xác định dòng điện trung bình

$$i_{tb} = \frac{1}{\sqrt{3} U_{tb} t} \sqrt{A_r^2 + A_p^2}$$

$$\approx \frac{1}{\sqrt{3} U_{dm} t} \sqrt{A_r^2 + A_p^2}$$

3.2. Xác định giá trị σ

Để tính xác suất $p(i_1 < i < i_2)$ với i tuân theo luật phân bố chuẩn, i_1 và i_2 là các trị số cho trước; theo tính chất của hàm mật độ

$$p(i_1 < i < i_2) = \int_{i_1}^{i_2} f(i) di = \int_{i_1}^{i_2} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(i-i_{tb})^2}{2\sigma^2}} di$$

Đổi biến tích phân, thay $x = \frac{i-i_{tb}}{\sigma}$; suy ra

$$i = \sigma x + i_{tb} \text{ và } di = \sigma dx$$

Cận tích phân mới: $i = i_1$ thì $x_1 = \frac{i_1 - i_{tb}}{\sigma}$;

$$i = i_2 \text{ thì } x_2 = \frac{i_2 - i_{tb}}{\sigma};$$

Theo công thức Newton-Lainit:

$$p(i_1 < i < i_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2}} dx - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = F(x_2) - F(x_1)$$

Hàm $e^{-\frac{x^2}{2}}$ không có nguyên hàm dưới dạng các hàm sơ cấp, ta tra theo các bảng tính sẵn dựa trên các phương pháp đặc biệt. Ví dụ phân tích dạng chuỗi lũy thừa với $\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx$

$$\text{Vậy } p(i_1 < i < i_2) = \phi(x_2) - \phi(x_1) = \phi\left(\frac{i_2 - i_{tb}}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{i_1 - i_{tb}}{\sigma}\right) \text{ với lưu ý } \phi(-x) = 1 - \phi(x)$$

Khi i tuân theo luật phân bố chuẩn, ta lấy trị số $i_1 = i_{tb} - 3\sigma$ và $i_2 = i_{tb} + 3\sigma$ thì:

$$p(i_1 < i < i_2) = \phi\left[\frac{(i_{tb} + 3\sigma) - i_{tb}}{\sigma}\right] - \phi\left[\frac{(i_{tb} - 3\sigma) - i_{tb}}{\sigma}\right] = \phi(3) - \phi(-3) = 2\phi(3) = 0,9973$$

Xác xuất của dòng điện nằm ngoài khoảng này coi như không xảy ra.

$$i_1 = i_{tb} - 3\sigma \leq i \leq i_{tb} + 3\sigma = i_2$$

Ta có thể coi i_1 chính là giá trị dòng điện cực tiểu (i_{\min}), i_2 là giá trị dòng điện cực đại (i_{\max}).

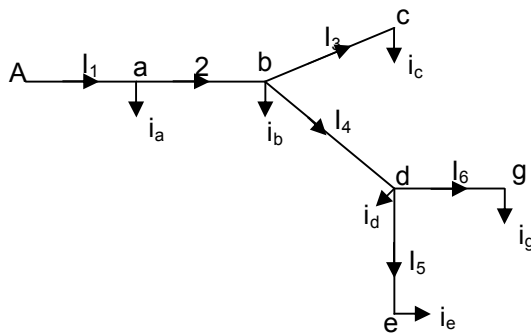
$$\text{Vậy } i_{\max} - i_{\min} = 6\sigma \text{ và } \sigma = \frac{(i_{\max} - i_{\min})}{6}; D(i) = \sigma^2 = \frac{(i_{\max} - i_{\min})^2}{36}$$

Giá trị i_{\max} và i_{\min} có thể xác định được căn cứ vào đồ thị phụ tải trạm biến áp, được xây dựng qua đo đếm số liệu trong năm hoặc xây dựng từ đồ thị phụ tải điển hình ngày mùa hè và mùa đông. Đơn giản hơn, ta có thể xác định bằng cách đo đếm ở trạm biến áp tiêu thụ tại các thời điểm thấp điểm trong những ngày lạnh nhất của mùa đông và thời điểm cao điểm nhất trong những ngày nắng nóng nhất của mùa hè.

Trong tính toán tổn thất điện năng của các lộ trung áp phân nhánh phức tạp, việc thu thập số liệu để xây dựng đồ thị tải của các trạm biến áp sẽ gặp khó khăn, ta có thể phân nhóm trạm biến áp có tính chất tải giống nhau, xây dựng đồ thị tải điển hình cho từng nhóm phụ tải hoặc đo đếm xác định giá trị i_{\max} và i_{\min} của các trạm điển hình làm căn cứ tính toán cho các trạm tương tự. Theo phương pháp tính này, giá trị dòng điện cực đại và cực tiểu chỉ ảnh hưởng đến phương sai của dòng điện. Vì vậy trong thực tế, quá trình thu thập các giá trị dòng cực đại và cực tiểu nếu có gặp sai số lớn thì cũng sẽ ảnh hưởng không nhiều đến độ chính xác của phương pháp.

3.3. Áp dụng tính toán trên lưới điện nhiều phụ tải

Xét sơ đồ lưới điện phân nhánh trung áp như hình vẽ.



Phụ tải của lưới trung áp là các trạm biến áp.

Dòng phụ tải là các dòng trung bình i_j phía cao áp của trạm xác định được dựa vào chỉ số của công tơ hữu công (A_r) và công tơ vô công (A_p) phía hạ áp của trạm biến áp, tỷ số biến áp và thời gian vận hành của trạm.

$$i_j = \frac{\sqrt{A_{rj}^2 + A_{pj}^2}}{\sqrt{3}U_{tj}tk_j} \approx \frac{\sqrt{A_{rj}^2 + A_{pj}^2}}{\sqrt{3}U_{dm}tk_j} \text{ với}$$

$$k_j = \frac{U_{pa}}{U_{kt}} \approx \frac{U_{dmc}}{U_{dmh}}$$

Dòng trung bình bình phương phía cao áp của máy biến áp thứ j

$$i_{tbbpj}^2 = i_j^2 + \sigma_j^2 \text{ với } \sigma_j^2 = \frac{(i_{\max j} - i_{\min j})^2}{36k_j^2}$$

* Đối với các đoạn nhánh chỉ có 1 máy biến áp thì dòng trung bình bình phương trên các nhánh chính là dòng truyền tải trên các đoạn nhánh đó:

$$\text{Ta có: } i_{tbbpi}^2 = I_{tbbpi}^2$$

Dòng điện trung bình (I_i) và dòng trung bình bình phương (I_{tbbpi}) truyền tải trên các đoạn đường dây 5 và 6:

$$I_5 = i_e; \sigma_5 = \sigma_e; I_6 = i_g; \sigma_6 = \sigma_g;$$

$$i_{tbbpe}^2 = i_e^2 + \sigma_e^2 = I_{tbbp5}^2 = I_5^2 + \sigma_5^2; i_{tbbpg}^2 = i_g^2 + \sigma_g^2 = I_{tbbp6}^2 = I_6^2 + \sigma_6^2;$$

* Đối với các đoạn đường trực cấp điện cho 1 số nhánh:

Trên đoạn 4, dòng truyền tải là tổng 3 dòng điện (dòng truyền tải trên đoạn đường dây 6, đoạn đường dây 5 và dòng điện phụ tải của trạm biến áp d). Theo lý thuyết xác suất, phương sai của tổng n đại lượng ngẫu nhiên độc lập bằng tổng các phương sai thành phần và kỳ vọng toán của tổng các đại lượng ngẫu nhiên độc lập bằng tổng của các kỳ vọng toán thành phần.

$$I_4 = i_d + I_5 + I_6; \text{ và } \sigma_4^2 = \sigma_d^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2; I_{tbbp4}^2 = I_4^2 + \sigma_4^2;$$

Tương tự:

$$I_2 = i_b + I_4 + I_3; \text{ và } \sigma_2^2 = \sigma_b^2 + \sigma_4^2 + \sigma_3^2; I_{tbbp2}^2 = I_2^2 + \sigma_2^2;$$

$$I_1 = i_a + I_2; \text{ và } \sigma_1^2 = \sigma_a^2 + \sigma_2^2; I_{tbbp1}^2 = I_1^2 + \sigma_1^2;$$

Căn cứ dòng trung bình bình phương trên các đoạn tính được, ta tính tổn thất điện năng trên các đoạn mạng và tổn thất điện năng trên đường dây:

$$\Delta A_{\Sigma dd} = 3 \sum_{i=1}^n I_{tbbpi}^2 r_i t 10^{-3} \text{ (kWh)}$$

Tổn thất điện năng trong các máy biến áp: $\Delta A_{\Sigma ba} = \Delta A_{\Sigma Fe} + \Delta A_{\Sigma Cu}$

$$\Delta A_{\Sigma ba} = \left(\sum_{j=1}^m \Delta P_{0j} + 3 \sum_{j=1}^m i_{tbbpj}^2 R_{bj} 10^{-3} \right) t \text{ (kWh)}$$

Điện trở cuộn dây của máy biến áp được xác định $R_{bj} = \frac{\Delta P_{kj} U_{dm}^2}{S_{dm}^2} 10^{-3} \text{ (}\Omega\text{)}$;

Trong đó:

- n là số đoạn đường dây lưới trung áp;
- m là số trạm biến áp tiêu thụ trên mạng trung áp;
- r_i là điện trở của đoạn đường dây thứ i;

ΔP_{0j} , ΔP_{kj} là tổn thất công suất tác dụng không tải và ngắn mạch của máy biến áp thứ j được tra trong các bảng tra cứu;

U_{dm} là điện áp định mức phía sơ cấp của máy biến áp tiêu thụ.

Tổn thất điện năng toàn mạng:

$$\Delta A_{\Sigma dd} = (3 \sum_{i=1}^n I_{tbbpi}^2 r_i 10^{-3} + \sum_{j=1}^m \Delta P_{0j} + 3$$

$\sum_{j=1}^m i_{tbbpj}^2 R_{bj} 10^{-3}) t \text{ (kWh)}$ với:

n là số các đoạn đường dây của mạng trung áp;

m là số các trạm biến áp tiêu thụ có trên mạng;

I_{tbbpi}^2 là dòng điện trung bình bình phương của các đoạn đường dây;

i_{tbbpj}^2 là dòng điện trung bình bình phương của các máy biến áp.

3.4. So sánh, đánh giá kết quả tính toán

(Tác giả đề nghị phạm vi bài báo này chỉ giới hạn nghiên cứu ở mức độ lý thuyết và đề xuất phương pháp tính; phần so sánh, đánh giá kết quả tính toán khi áp dụng cho lưới cụ thể tuy đã làm nhưng nếu trình bày thì bài báo sẽ quá dài, đề nghị được trình bày trong nội dung nghiên cứu tiếp sau này.

4. KẾT LUẬN

Với phương pháp tính toán dựa vào dòng điện trung bình bình phương (xác định thông

qua các công tơ đo đếm thu thập đặt tại trạm biến áp) và thời gian vận hành của lưới điện sẽ làm cho phương pháp tính trở nên thuận tiện, đơn giản. Phương pháp khắc phục được khó khăn khi cần xây dựng chính xác đồ thị phụ tải của các trạm biến áp để tính đúng trị số của thời gian tổn thất công suất cực đại của các đoạn đường dây nhánh τ_j và các đoạn đường trục chính τ_i khi tính toán tổn thất điện năng.

Để thuận tiện và đơn giản hơn cho phương pháp tính trên, với một lộ trung áp cụ thể ta có thể xây dựng cách tính theo dòng điện trung bình bình phương trên thanh cái đầu lộ của trạm biến áp trung gian (xác định được thông qua công tơ tổng đặt tại thanh cái của lộ trung áp cần xét) và điện trở đẳng trị của toàn mạng. Phương pháp này dựa trên cơ sở của dòng điện trung bình bình phương nhưng ta coi toàn mạng trung áp chỉ có một trị số điện trở duy nhất gọi là điện trở đẳng trị tương đương với mạng thực về tổn thất công suất. Giá trị của điện trở đẳng trị toàn mạng là giá trị quy ước và được xác định thông qua các giá trị thu thập được từ đường dây và các trạm biến áp tiêu thụ tại thời điểm khảo sát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Đặng Ngọc Dinh, Nguyễn Hữu Khải, Trần Bách (1981). Hệ thống điện, tập 1, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp.
- Đặng Ngọc Dinh, Ngô Hồng Quang, Trần Bách, Trịnh Hùng Thám (1981). Hệ thống điện, tập 2, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp.
- Nguyễn Ngọc Kính (2000). Xác định phương pháp tính tổn thất điện năng trên lưới điện nông nghiệp, Luận văn thạc sỹ KHKT.
- Trần Quang Khánh (1994). Xác định hao tổn công suất trong mạng điện phân phối, Tạp chí Năng lượng, 9: 46-52.
- Trần Quang Khánh (2000). Phân tích và tối ưu hóa chế độ hệ thống điện, Bài giảng Cao học Điện nông nghiệp