



Các phương pháp tính toán ngắn mạch

Bởi:

Đại Học Đà Nẵng

Khái niệm chung:

Phương pháp tính dòng ngắn mạch bằng cách giải hệ phương trình vi phân đòi hỏi nhiều công sức, mặc dù chính xác nhưng ngay cả để tính một sơ đồ đơn giản khối lượng tính toán cũng khá cồng kềnh, bậc phương trình tăng nhanh theo số máy điện có trong sơ đồ. Ngoài ra còn có những vấn đề làm phức tạp thêm quá trình tính toán như: dao động công suất, dòng tự do trong các máy điện ảnh hưởng nhau, tác dụng của thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK), tham số độ trực và ngang trực khác nhau.... Do đó, trong thực tế thường dùng các phương pháp thực dụng cho phép tính toán đơn giản hơn.

Ngoài các giả thiết cơ bản đã nêu trước đây, còn có thêm những giả thiết sau:

- Qui luật biến thiên thành phần chu kỳ của dòng ngắn mạch trong sơ đồ có một máy phát tương tự như trong sơ đồ có nhiều máy phát.
- Việc xét đến thành phần không chu kỳ của dòng ngắn mạch trong tất cả các trường hợp có thể tiến hành một cách gần đúng.
- Rôto của các máy điện đồng bộ là đối xứng do đó không cần phân biệt sức điện động, điện áp, dòng điện theo các trục và có thể bỏ qua thành phần chu kỳ 2ω .

Tùy mục đích tính toán có thể sử dụng các phương pháp khác nhau với sai số không được vượt quá phạm vi cho phép $\pm 5\%$ đối với trị số ban đầu và $\pm 10\text{?}15\%$ ở các thời điểm khác.

Phương pháp giải tích:

Tính dòng siêu quá độ ban đầu:

Trình tự tính toán như sau:

a) Lập sơ đồ thay thế, tính toán qui đổi tham số của các phần tử trong hệ đơn vị có tên hay đơn vị tương đối:

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

- Máy phát: thay thế bằng E''_o và $X'' = x''_d = x''_q$, đối với máy phát không có cuộn cảm xem rôto như cuộn cảm tự nhiên, tức là cũng dùng các thông số siêu quá độ để tính toán với $x''_d = (0,75 \text{ } 0,9) x'_d$.

Sức điện động E''_o được tính theo công thức gần đúng với giả thiết máy phát làm việc ở chế độ định mức trước khi ngắn mạch:

$$E''_o = \sqrt{(U_F \sin \varphi + I_F x''_d)^2 + (U_F \cos \varphi)^2}$$

Nếu máy phát làm việc ở chế độ không tải trước khi ngắn mạch thì $E''_o = U_F$.

- Động cơ và máy bù đồng bộ được tính như máy phát.

- Động cơ không đồng bộ và phụ tải tổng hợp thay thế bằng:

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_{\text{Sub}}} + \frac{1}{X_{\text{mm}}}$$

và: $E''_o \approx U_o - I_o X'' \sin \varphi_o$

trong đó: X_{Sub} - điện kháng ngắn mạch (lúc động cơ bị hãm).

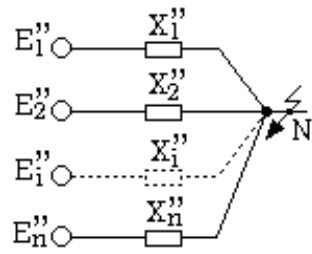
I_{mm} - dòng mở máy của động cơ.

$U_o, I_o, \sin \varphi_o$ - được lấy ở tình trạng trước ngắn mạch.

Khi không có đủ số liệu cần thiết có thể tra bảng sau:

THIẾT BỊ	X''	E''_o
Máy phát turbine hơi	0,125	1,08
Máy phát turbine nước có cuộn cảm	0,2	1,13
Máy phát turbine nước không cuộn cảm	0,27	1,18
Động cơ đồng bộ	0,2	1,1
Máy bù đồng bộ	0,2	1,2
Động cơ không đồng bộ	0,2	0,9
Phụ tải tổng hợp	0,35	0,8

b) Tính toán: Biến đổi sơ đồ thành dạng đơn giản gồm một hay nhiều nhánh nối trực tiếp từ nguồn đến điểm ngắn mạch (hình 6.1), từ đó tính được dòng siêu quá độ ban đầu theo biểu thức sau:

$I''_0 = \sum_{i=1}^n \frac{E_i''}{X_i''}$ <p>c) Chú ý: Trong thực tế, việc tính toán dòng siêu quá độ ban đầu thường chỉ xét đến những phụ tải nối trực tiếp vào điểm ngắn mạch.</p>	 <p style="text-align: center;">Hình 6.1</p>
---	---

Tính dòng ngắn mạch đối với nguồn công suất vô cùng lớn:

Trong tính toán đơn giản sơ bộ hay trong mạng có nguồn công suất vô cùng lớn thì thành phần chu kỳ của dòng ngắn mạch là không đổi và được tính như sau:

$$I_{ck} = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3}X_{\Sigma}} = I''_0 = I_{\infty}$$

trong đó: U_{tb} - điện áp trung bình của đoạn có điểm ngắn mạch.

X_{Σ} - điện kháng giữa nguồn và điểm ngắn mạch quy về đoạn có điểm ngắn mạch.

Trong hệ đơn vị tương đối với lượng cơ bản là S_{cb} và $U_{cb} = U_{tb}$ thì:

$$S_{*N} = I_{*ck} = \frac{1}{X_{*\Sigma}}$$

với:

$$S_N = \sqrt{3}U_{tb}I_{ck}$$

Trong tính toán thực dụng, việc xét đến các hệ thống thường là gần đúng.

- Nếu đã biết trị số dòng siêu quá độ ban đầu I''_0 hoặc công suất S''_N khi ngắn mạch 3 pha tại một nút bất kỳ trong hệ thống (hình 6.2), thì có thể xác định điện kháng X_H của hệ thống đối với điểm nút này:

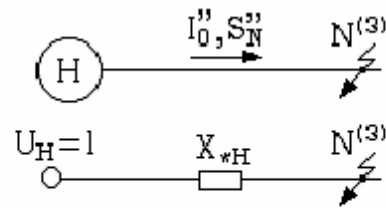
Các phương pháp tính toán ngắn mạch

$$X_H = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I''_o} = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I''_o} \text{ hay}$$

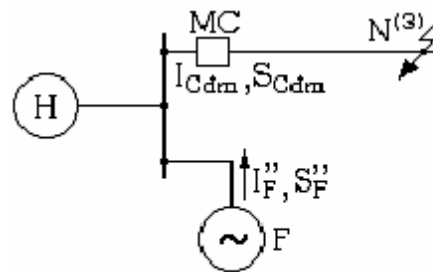
$$X_{*H} = \frac{I''_{cb}}{I''_o} = \frac{S_{cb}}{S''_N}$$

(6.1)

- Nếu không biết dòng hay công suất ngắn mạch, có thể xác định điện kháng X_H gần đúng từ công suất cắt định mức của máy cắt dùng để cắt công suất ngắn mạch đó (hình 6.3), tức là trong các biểu thức (6.1) ở trên dùng I''_{cb} và S_{cb} thay cho I''_o và S''_N .



Hình 6.2



Hình 6.3

Nếu tại nút đang xét còn có nhà máy điện địa phương (hình 6.3) thì phải giảm bớt lượng I''_F , S''_F do nhà máy điện này cung cấp, tức là trong các biểu thức (6.1) ở trên dùng $(I''_{cb} - I''_F)$ và $(S''_{cb} - S''_F)$ thay cho I''_o và S''_N .

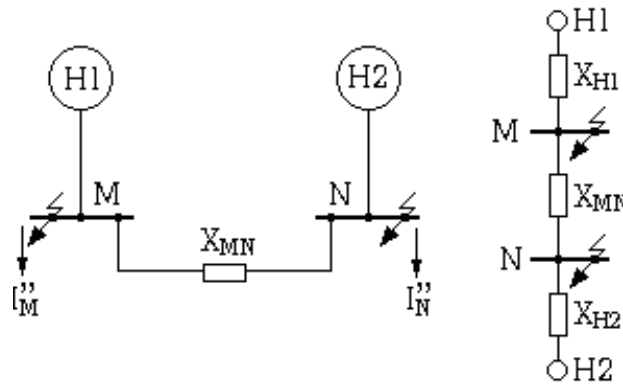
Trường hợp có một số hệ thống liên lạc với nhau qua một số điểm nút, nếu đã biết dòng hay công suất ngắn mạch ở mỗi điểm nút, cũng có thể xác định được điện kháng X_H của hệ thống. Ví dụ, trên hình 6.4 ta có:

$$X_{M\Sigma} = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I''_M} = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I''_M}$$

$$X_{M\Sigma} = \frac{X_{H1}(X_{H2} + X_{MN})}{X_{H1} + X_{H2} + X_{MN}}$$

$$X_{N\Sigma} = \frac{(X_{H1} + X_{MN})X_{H2}}{X_{H1} + X_{H2} + X_{MN}}$$

từ đó, khi đã biết I''_M , I''_N và X_{MN} có thể tính được X_{H1} và X_{H2} .



Hình 6.4

Tính dòng xung kích:

a) Đối với mạng có công suất vô cùng lớn:

$$I''_o = I_{ck} = I_\infty$$

lúc đó:

$$i_{xk} = k_{xk} I_{ckm} = \sqrt{2} k_{xk} I_{ck}$$

$$I_{xk} = I_{ck} \sqrt{1 + 2(k_{xk} - 1)^2}$$

a) Đối với mạng có công suất hữu hạn:

$$i_{xk} = \sqrt{2} k_{xk} I''_o$$

trong các biểu thức trên, k_{xk} là hệ số xung kích, phụ thuộc vào hằng số thời gian $T_a = L/r$. Khi xét riêng ảnh hưởng của các động cơ và phụ tải tổng hợp thì:

$$i_{xk} = \sqrt{2} k_{xk} I''_o + \sqrt{2} k_{xk\hat{A}} I''_{\hat{A}}$$

với: I''_D - dòng siêu quá độ ban đầu do động cơ hay phụ tải cung cấp.

k_{xkD} - hệ số xung kích của động cơ hay phụ tải tổng hợp.

Trung bình có thể lấy giá trị như sau:

- Ngắn mạch tại thanh góp điện áp máy phát hoặc đầu cao áp của máy biến áp tăng: $k_{xk} = 1,9$

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

- Ngắn mạch ở các thiết bị cao áp xa máy phát: $k_{xk} = 1,8$
- Ngắn mạch phía thứ cấp của các trạm hạ áp ($S < 1000\text{KVA}$): $k_{xk} = 1,3$
- Đối với động cơ không đồng bộ, độ suy giảm của các thành phần dòng chu kỳ và tự do do nó cung cấp cho điểm ngắn mạch là gần như nhau, có thể lấy: - động cơ cỡ lớn : $k_{xkĐ} = 1,8$

- động cơ cỡ 100?200KW: $k_{xkĐ} = 1,5?1,6$

- động cơ cỡ bé và phụ tải tổng hợp: $k_{xkĐ} = 1$

Tính dòng ngắn mạch duy trì:

Các phần tử được thay thế bởi các tham số giống như ở chế độ làm việc bình thường của hệ thống điện.

a) Đối với hệ thống điện bao gồm các máy phát không có TĐK:

- Máy phát được thay bằng E_q và x_d với $E_{q^*} = I_f^*$. Nếu chưa biết dòng kích từ I_f thì có thể tính E_q từ chế độ làm việc của máy phát trước khi xảy ra ngắn mạch:

$$E_q = \sqrt{(U_{rSub} \{ \text{size } 8\{F\} \} \sin\phi + I_{rSub} \{ \text{size } 8\{F\} \} \times r_{Sub} \{ \text{size } 8\{d\} \})^2 + U_{rSup} \{ \text{size } 8\{2\} \}^2}$$

- Phụ tải tập trung tại các nút được thay bằng: $x_{PT} = 1,2$ và $E_{PT} = 0$

- Lập sơ đồ thay thế và biến đổi để tìm dòng ngắn mạch:

$$I_N = I_{ck} = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}}$$

a) Đối với hệ thống điện bao gồm các máy phát có TĐK:

Trường hợp mạch đơn giản chỉ có một máy phát thì tình trạng làm việc của máy phát khi ngắn mạch duy trì có thể được xác định bằng cách so sánh điện kháng ngắn mạch X_N với X_{th} :

$$X_{th} = x_d \frac{U_{âm}}{E_{qgh} - U_{âm}}$$

hay khi $U_{cb} = U_{đm}$ thì:

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

$$X_{th*} = x_{d*} \frac{1}{E_{qgh*} - 1}$$

Nếu $X_N > X_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái định mức và được thay bằng E_{qgh} và x_d với: $E_{qgh*} = I_{fgh*}$

Nếu $X_N < X_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn và được thay bằng $U_{đm}$ và $X_F = 0$.

Trường hợp mạch phức tạp có nhiều nguồn liên kết ảnh hưởng nhau thường không thể sử dụng chỉ tiêu nêu trên để xác định tình trạng làm việc của các máy phát. Do đó phải dùng phương pháp gần đúng như sau:

- Tùy thuộc vào vị trí của máy phát đối với điểm ngắn mạch, giả thiết trước tình trạng làm việc của máy phát.
- Lập sơ đồ thay thế và tiến hành tính toán dòng ngắn mạch I_N .
- Kiểm tra lại giả thiết bằng cách tính ngược lại để tìm dòng I_F do mỗi máy phát cung cấp cho điểm ngắn mạch và so sánh với I_{th} của từng máy phát.

$$\frac{E_{qgh*} - 1}{x_{d*}}$$

$$\frac{1}{X_{th*}} =$$

$$I_{th*} =$$

I

- Nếu $I_F > I_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn.
- Nếu $I_F < I_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái định mức.

Đối với những máy phát đã giả thiết làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn cũng có thể kiểm tra theo điện áp đầu cực máy phát ($U_F < U_{đm}$)

Nếu giả thiết đúng xem như bài toán đã giải xong. Nếu giả thiết sai ở một máy phát nào đó cần phải thay đổi trạng thái của nó và tính toán lại.

- Những điểm cần lưu ý:

- Phụ tải làm tăng tổng dẫn so với điểm ngắn mạch, vì vậy nếu bỏ qua ảnh hưởng của phụ tải thì kết quả tính toán có thể có sai số lớn, chỉ bỏ qua ảnh hưởng của phụ tải khi xét đến ngắn mạch ở ngay đầu cực máy phát.

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

- Phụ tải cũng có thể ảnh hưởng đến tình trạng làm việc của máy phát trong điều kiện ngắn mạch, do vậy cần phải xét đến chúng khi giả thiết.
- Nếu trong hệ thống có máy phát không có TĐK thì thay thế nó bằng E_q và x_d .

Tính dòng ngắn mạch toàn phần:

Để máy cắt làm việc đảm bảo cần chọn $S_{Cđm}$ và $I_{Cđm}$ của nó sao cho vào thời điểm cắt t ta có: $S_{Cđm} > S_{Nt}$ và $I_{Cđm} > I_{Nt}$

Do đó cần xác định trị hiệu dụng của dòng ngắn mạch toàn phần vào thời điểm t :

$$I_{Nt} = \sqrt{I_{ckt}^2 + I_{tdt}^2}$$

trong đó, I_{ckt} tính toán bằng giải tích rất phức tạp, thường tra theo đường cong tính toán, còn I_{tdt} được tính bằng biểu thức sau:

$$I_{tdt} = I_{td0+} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

$$I_{tdt} = I_{td0+} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} I_o$$

Thực tế để đơn giản dùng công thức gần đúng sau:

$$I_{Nt} = \alpha_t \cdot I''_o$$

α_t : hệ số tính toán, giá trị trung bình của nó có thể lấy như sau:

$$\alpha \text{ khi } t = 0,05 \text{sec: } \alpha_t = 1,1$$

$$\alpha \text{ khi } t = 0,1 \text{ sec: } \alpha_t = 1$$

α khi $t \geq 0,2$ sec: có thể xem $I_{Nt} \approx I_{ckt}$ vì hầu như thành phần tự do đã tắt hết.

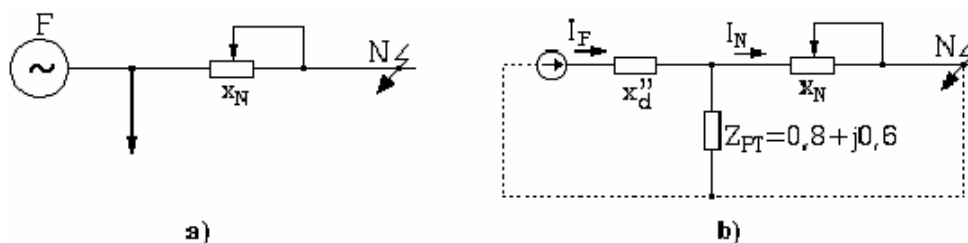
Phương pháp đường cong tính toán:

Đường cong tính toán:

Đường cong tính toán là đường cong biểu diễn trị số tương đối của thành phần chu kỳ trong dòng ngắn mạch tại những thời điểm tùy ý của quá trình quá độ phụ thuộc vào một điện kháng - điện kháng tính toán $x^*_{tt} = x''_d + x_N$.

$$I^*_{ckt} = f(x^*_{tt}, t)$$

Các phương pháp tính toán ngắn mạch



Hình 6.5

Đường cong được xây dựng theo sơ đồ đơn giản như hình 6.5, trong đó coi rằng trước ngắn mạch máy phát làm việc với phụ tải định mức và phụ tải đó không đổi trong suốt quá trình ngắn mạch, nhánh bị ngắn mạch 3 pha tại điểm N có điện kháng x_N không mang tải trước khi xảy ra ngắn mạch.

Cho x_N các giá trị khác nhau, theo các biểu thức đã biết hoặc bằng mô hình tính I_{ck} tại điểm ngắn mạch ở các thời điểm khác nhau. Từ kết quả tính được, xây dựng họ đường cong $I^*_{ckt} = f(x^*_{tt}, t)$. Các tham số đều tính trong đơn vị tương đối với lượng cơ bản là định mức của máy phát: $U_{cb} = U_{tb}$ và $S_{cb} = S_{đmF}$.

đường cong tính toán

Hình 6.6

Thực tế có 2 loại đường cong tính toán khác nhau cho 2 loại máy phát: turbine hơi và turbine nước (hình 6.6).

Các đặc điểm của đường cong tính toán như sau:

α Khi x_{tt} càng lớn (ngắn mạch càng xa) thì sự biến thiên của biên độ dòng điện chu kỳ theo thời gian càng ít. Khi $x_{tt} > 3$ có thể xem $I_{ckt} = I''_o$.

α Khi x_{tt} càng tăng lên thì sự khác biệt về dòng giữa 2 loại máy phát càng nhỏ và khi $x_{tt} > 1$ thì đường cong tính toán của 2 loại máy phát hầu như trùng nhau.

α Đường cong tính toán tương ứng với các thời điểm khác nhau có thể cắt nhau. Điều này là do tác dụng của thiết bị TĐK làm tăng dòng ngắn mạch sau khi qua một trị số cực tiểu nào đó. Các đường cong tính toán bị giới hạn bởi đường cong $I^*_{ck} = 1/x_N$ do phải thỏa mãn điều kiện $I_{ckt} \leq U_{đm}/x_N$.

α Nếu hằng số thời gian T_{fo} của máy phát khác với T_{fotc} của máy phát tiêu chuẩn thì cần hiệu chỉnh thời gian t ở đường cong tính toán thành:

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

$$t' = t \cdot \frac{T_{fotc}}{T_{fo}}$$

Đối với máy phát turbine hơi: $T_{fotc} = 7\text{sec}$, máy phát turbine nước: $T_{fotc} = 5\text{sec}$.

α Đường cong tính toán được vẽ với máy phát có phụ tải định mức, do đó trường hợp máy phát không có phụ tải ở đầu cực thì trị số dòng điện tìm được I_{ck} phải hiệu chỉnh thành:

$$I_{ck} \cdot \left(\frac{S_{cb}}{S_{dm\Sigma}} \right)^{0.5}$$

$$x_{tt} - x_d$$

$$I_{ck} = (1 +$$

Phương pháp tính toán:

Tính toán theo một biến đổi:

Tính toán theo một biến đổi còn gọi là tính toán theo biến đổi chung. Phương pháp này sử dụng khi khoảng cách giữa các máy phát đến điểm ngắn mạch gần như nhau, lúc đó sự tắt dần của thành phần chu kỳ trong dòng ngắn mạch của các máy phát là gần như nhau, cho nên có thể nhập chung tất cả các máy phát thành một máy phát đẳng trị có công suất tổng để tính toán. Trình tự tính toán như sau:

α Lập sơ đồ thay thế trong đơn vị tương đối theo phép qui đổi gần đúng (với các lượng cơ bản S_{cb} , $U_{cb} = U_{tb}$):

- điện kháng của máy phát lấy bằng x_d .

- không cần đặt bất kỳ sức điện động nào trong sơ đồ.

- phụ tải có thể bỏ đi, trừ trường hợp những động cơ cỡ lớn nối trực tiếp vào điểm ngắn mạch thì tính toán như máy phát có cùng công suất.

α Biến đổi sơ đồ thay thế, đưa nó về dạng đơn giản nhất để tính điện kháng đẳng trị x_{Σ} của sơ đồ đối với điểm ngắn mạch.

α Tính đổi về điện kháng tính toán:

$$x_{tt} = x_{\Sigma} \cdot \frac{S_{dm\Sigma}}{S_{cb}}$$

trong đó: $S_{dm\Sigma}$ - tổng công suất định mức của các máy phát.

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

α Từ điện kháng tính toán x_{*tt} và thời điểm t cần xét, tra đường cong tính toán (hình 6.6) sẽ tìm được I_{*ckt} . Tính đổi về đơn vị có tên (nếu cần) với lượng cơ bản lúc này là $S_{đm\Sigma}$ và U_{tb} :

$$I_{ckt} = I_{ckt} \cdot I_{đm\Sigma} = I_{ckt} \cdot \frac{S_{đm\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{tb}}$$

Một số điểm cần lưu ý:

- Khi $x_{*tt} > 3$ thì dòng chu kỳ không thay đổi và bằng: $I_{*ck} = 1/x_{*tt}$.
- Nếu các máy phát khác loại thì dùng đường cong tính toán của máy phát có công suất lớn, gần điểm ngắn mạch.
- Nếu $r_{\Sigma} < x_{\Sigma}/3$ thì không thể bỏ qua điện trở tác dụng và phải tính toán Z_{Σ} , sau đó dùng Z_{tt} thay vì x_{tt} .

Tính toán theo nhiều biến đổi:

Tính toán theo nhiều biến đổi còn gọi là tính toán theo những biến đổi riêng biệt. Phương pháp này sử dụng khi trong sơ đồ khoảng cách từ các máy phát đến điểm ngắn mạch khác nhau nhiều, nhất là khi có nguồn công suất vô cùng lớn, lúc đó phải kể đến sự thay đổi dòng điện riêng rẽ của từng máy phát hay từng nhóm máy phát. Trình tự tính toán như sau:

α Lập sơ đồ thay thế, tham số của các phần tử được tính toán gần đúng trong hệ đơn vị tương đối (với các lượng cơ bản S_{cb} , $U_{cb} = U_{tb}$).

α Dựa vào sơ đồ xác định nhóm các máy phát có thể nhập chung, hệ thống công suất vô cùng lớn phải tách riêng ra.

α Dùng các phép biến đổi đưa sơ đồ về dạng từng nhánh độc lập nối với điểm ngắn mạch.

α Tính toán với từng nhánh riêng rẽ theo phương pháp biến đổi chung. Công suất cơ bản để tính x_{*tt} là tổng công suất các máy phát trên mỗi nhánh.

$$x_{iii} = x_{\Sigma i} \cdot \frac{S_{đm\Sigma i}}{S_{cb}}$$

α Tra theo đường cong tính toán tại thời điểm đang xét tìm ra dòng I_{*ckti} trên mỗi nhánh riêng biệt.

α Tính dòng tổng trong hệ đơn vị có tên:

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

$$I_{ckt} = \sum I_{kti} \cdot I_{đm} \sum \epsilon_i$$

Nhánh có hệ thống công suất vô cùng tách riêng ra và tính trực tiếp dòng ngắn mạch do nó cung cấp:

$$I_{NH} = \frac{I_{cb}}{x_{NH(cb)}} \text{ hay } I_{NH} = \frac{1}{x_{NH(cb)}}$$

trong đó: $x_{NH(cb)}$ - điện kháng tương hỗ giữa hệ thống và điểm ngắn mạch tính trong hệ đơn vị tương đối với các lượng cơ bản S_{cb} , $U_{cb} = U_{tb}$.

Thông thường trong tính toán sử dụng 2 đến 3 nhánh biến đổi độc lập.