

# QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MẠNG ĐIỆN 6 KV KHI ĐÓNG CẮT ĐỘNG CƠ ĐIỆN CAO ÁP

PGS.TS. ĐINH VĂN THẮNG  
Trường Đại học Mỏ-Địa chất

**K**hi đóng cắt các động cơ điện cao áp thường xuất hiện hiện tượng cắt điện đột ngột các phụ tải khác trong dây chuyền sản xuất mỏ, dẫn đến tình trạng ngừng sản xuất ở một số khâu công nghệ, gây thiệt hại đáng kể về kinh tế cho các xí nghiệp mỏ. Do vậy, việc tìm kiếm các giải pháp nhằm hạn chế và tiến tới loại trừ hiện tượng cắt điện này là việc làm cấp thiết.

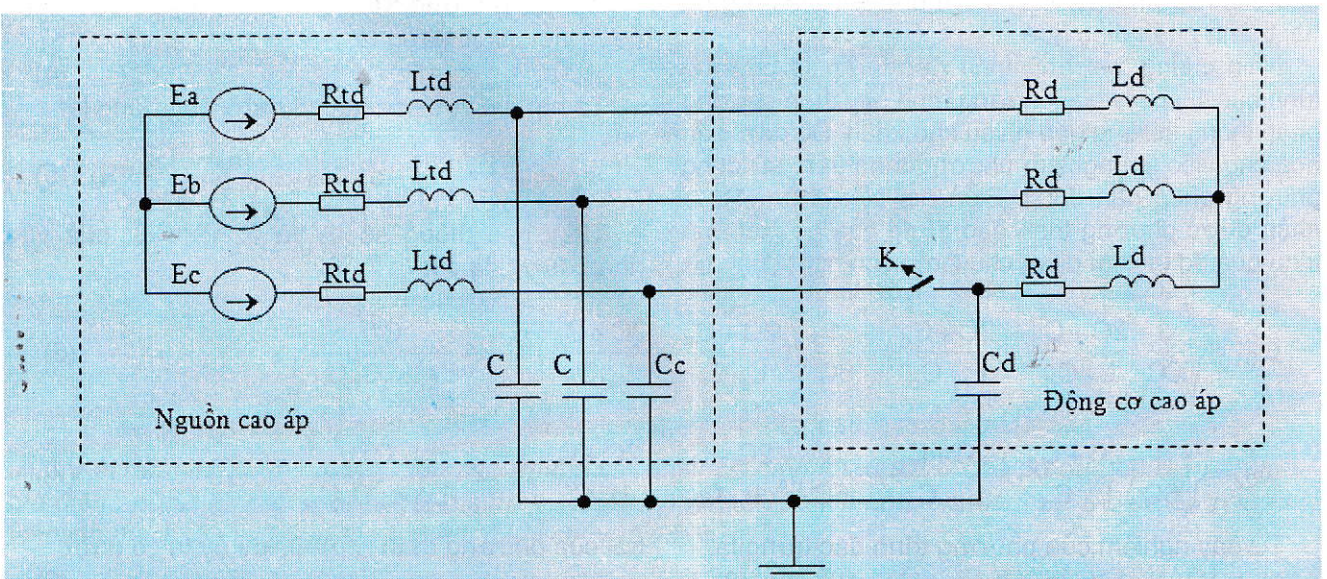
Theo kết quả nghiên cứu của các chuyên gia, một trong những nguyên nhân gây tác động cắt điện các phụ tải không mong muốn là do xuất hiện quá trình quá độ khi đóng cắt động cơ cao áp, hình thành điện áp thứ tự không giữa điểm trung tính nguồn và đất. Bản chất vật lý của vấn đề này được cho là sự không đồng thời đóng cắt các tiếp điểm của mạch lực trong mạng điện ba pha cấp cho động cơ ở thời điểm đóng cắt điện.

## 1. Khảo sát quá trình quá độ trong mạng điện 6 KV mỏ khi đóng cắt động cơ điện cao áp

Để nghiên cứu quá trình quá độ trong mạng điện cao áp 6 KV mỏ khi đóng cắt động cơ điện cao áp, ta xây dựng mô hình mạng này có các tham số tập trung với những giả thiết ban đầu như sau:

- ❖ Nguồn điện ba pha điện áp 6 KV cấp từ trạm biến áp trung tâm được thay thế bằng 3 nguồn sức điện động  $E_a, E_b, E_c$  có điện áp bằng điện áp pha của lưới;
- ❖ Tổng trở nguồn và đường dây được thay bằng tổng trở tương đương  $R_{td}$  và  $L_{td}$ ;
- ❖ Điện dung pha của toàn mạng điện so với đất được thay thế bằng các điện dung  $C$ ;
- ❖ Điện dung của động cơ cao áp so với đất được biểu hiện là  $C_d$ ;
- ❖ Thông số của động cơ cao áp được biểu hiện là  $R_d$  và  $L_d$ ;
- ❖ Điện dung pha C sau thời điểm ngắt được biểu hiện là  $C_c$  và  $C_d$ .

Với những giả thiết trên, mô hình mạch điện cao áp mỏ 6 KV có động cơ điện không đồng bộ cao áp được mô tả như trên H.1.



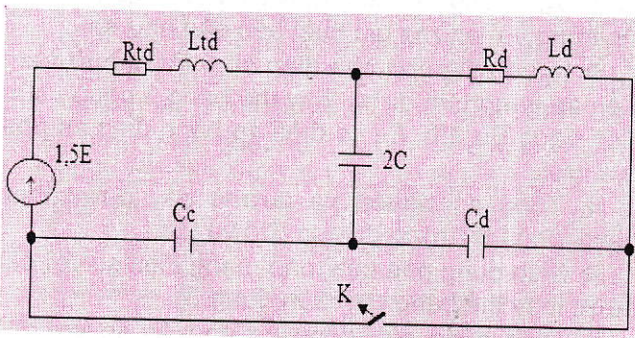
H.1. Sơ đồ thay thế tương đương mạch điện cao áp có động cơ ở chế độ chuyển mạch quá độ



Từ sơ đồ thay thế, biểu thức ánh xạ của điện áp trên pha C được xác định theo biểu thức sau [1]:

$$U_c(p) = \dot{E} \frac{p \left[ 1 + \frac{2C}{C_d} + 3(R_d + L_d \cdot p)C \cdot p \right] + \left[ 3(R_{td} + L_{td} \cdot p)(R_d + L_d \cdot p)C \cdot C_c \cdot p^2 + (R_{td} + L_{td} \cdot p) \cdot \left( 1 + 2 \frac{C}{C_d} \right) \cdot C_c \cdot p - (R_d + L_d \cdot p)C_d \cdot p \right] \cdot (p - j\omega)}{\left[ 3(R_{td} + L_{td} \cdot p)(R_d + L_d \cdot p)C \cdot C_c \cdot p^2 + (R_{td} + L_{td} \cdot p)C_c \left( 1 + 2 \frac{C}{C_c} \right) \cdot p + (R_d + L_d \cdot p) \cdot (C_c + 2C) \cdot p + 2 \frac{C}{C_d} \right] \cdot (p - j\omega)} \quad (1)$$

Để đơn giản hoá cho việc xác định điện áp pha (sơ đồ thay thế mạch điện ba pha), ta biến đổi sơ đồ trên về dạng mạch điện một pha như trong H.2 [1].



H.2. Sơ đồ biến đổi tương đương 1 pha

Từ biểu thức (1) và sơ đồ biến đổi tương đương một pha (H.2), sự có mặt của điện cảm hệ thống nguồn L<sub>td</sub> và điện cảm động cơ L<sub>d</sub> tạo ra hai mạch dao động, vì thế phương trình đặc trưng cho chế độ chuyển mạch động cơ điện sẽ có 4 nghiệm. Nghiệm của phương trình dạng này thường có dạng phức, có nghĩa là thành phần dao động tự do của điện áp pha (tại thời điểm chuyển mạch) gồm hai thành phần điều hoà.

Nhìn chung, phương trình đặc trưng là phương trình bậc 4, vì vậy giải phương trình này theo phương pháp thông thường gặp nhiều khó khăn. Để đơn giản hoá cho việc tìm nghiệm phương trình trên, sử dụng phương pháp gần đúng. Biến đổi biểu thức (1), ta nhận được phương trình đặc trưng của hệ (xét quá trình quá độ tại thời điểm chuyển mạch ngắt động cơ

điện không đồng bộ) như sau:

$$\Delta(p) = 3C \cdot C_c \cdot L_{td} \cdot L_d [p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p^1 + a_4] = 0 \quad (2)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} a_1 &= \alpha_1 + \alpha_2; & a_2 &= \alpha_1 \cdot \alpha_2 + \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2; \\ a_3 &= \alpha_1(\omega_3^2 + \omega_4^2) + \alpha_2(\omega_1^2 + \omega_2^2); & a_4 &= 1,5 \omega_1^2 \omega_3^2 \\ \alpha_1 &= R_{td}/L_{td}; & \alpha_2 &= R_d/L_d; & \omega_1^2 &= 2/3 L_{td} \cdot C_c; \\ \omega_2^2 &= 1/3 L_{td} \cdot C; & \omega_3^2 &= 2/3 L_d \cdot C_d; & \omega_4^2 &= 1/3 L_d \cdot C. \end{aligned}$$

Kết quả nghiên cứu trước đây về quá trình quá độ trong các mạch điện đều có kết quả hệ số suy giảm biên độ sóng dao động điều hoà  $\alpha_1$  và  $\alpha_2$  về độ lớn có trị số quá nhỏ so với tần số góc của chúng là  $\omega_1$  và  $\omega_2$ . Do đó, khi phân tích nghiệm của phương trình đặc trưng (2) ra chuỗi các thành phần điều hoà, ta chỉ lưu ý đến thành phần điều hoà bậc cơ bản của chúng.

Do tần số dao động riêng của hệ mạch (phần ảo của nghiệm phương trình đặc trưng (2)) trên thực tế không phụ thuộc vào các thông số điện trở thuần hệ thống nguồn R<sub>td</sub> và của động cơ điện R<sub>d</sub>, vì vậy để đơn giản hoá tìm nghiệm, ta coi  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ . Suy ra, nghiệm phương trình đặc trưng (2) có dạng [2]:

$$p = \pm j\omega_{1,2} \quad (3)$$

Do đó, phương trình xác định tần số dao động riêng viết lại có dạng là:

$$\omega_0^4 - a_2 \cdot \omega_0^2 + a_4 = 0 \quad (4)$$

Ta nhận được các tần số dao động riêng là:

$$\omega_{01} = \sqrt{\frac{a_2}{2} + \sqrt{\frac{a_2^2}{4} - a_4}}; \quad \omega_{02} = \sqrt{\frac{a_2}{2} - \sqrt{\frac{a_2^2}{4} - a_4}} \quad (5)$$

Thay các thông số  $a_2$  và  $a_4$  vào kết quả vừa nhận được, ta có:

$$\omega_{01} = \sqrt{\frac{1}{6C} \left( \frac{2C + C_d}{L_d \cdot C_d} + \frac{2C + C_c}{L_{td} \cdot C_c} \right) + \frac{1}{6C} \sqrt{\left( \frac{2C + C_d}{L_d \cdot C_d} + \frac{2C + C_c}{L_{td} \cdot C_c} \right)^2 - 24 \frac{C^2}{L_{td} \cdot L_d \cdot C_c \cdot C_d}}; \quad (6)$$

$$\omega_{02} = \sqrt{\frac{1}{6C} \left( \frac{2C + C_d}{L_d \cdot C_d} + \frac{2C + C_c}{L_{td} \cdot C_c} \right) - \frac{1}{6C} \sqrt{\left( \frac{2C + C_d}{L_d \cdot C_d} + \frac{2C + C_c}{L_{td} \cdot C_c} \right)^2 - 24 \frac{C^2}{L_{td} \cdot L_d \cdot C_c \cdot C_d}}. \quad (7)$$

Từ đây nghiệm của phương trình đặc trưng là:

$$p_{1,2} = -\delta_1 \pm j\omega_{01}; \quad p_{3,4} = -\delta_2 \pm j\omega_{02} \quad (8)$$

Để xác định hệ số suy giảm  $\delta_1$  và  $\delta_2$ , ta cho vế

trái của phương trình  $\Delta(p) = 0$ , khi ấy ta có được:

$$\Delta(-\delta_{1,2} \pm j\omega_{01,02}; \alpha_1; \alpha_2) = 0 \quad (9)$$

Phân tích biểu thức (9) ra chuỗi ta nhận được:



$$\Delta(\pm j\omega_{01,02}; 0; 0) - \delta_{1,2} \frac{d\Delta(p)}{dp} \Big|_{p=-j\omega}^{\alpha_1=\alpha_2=0} + \alpha_1 \frac{d\Delta(p)}{d\alpha_1} \Big|_{p=-j\omega}^{\alpha_1=\alpha_2=0} + \alpha_2 \frac{d\Delta(p)}{d\alpha_2} \Big|_{p=-j\omega}^{\alpha_1=\alpha_2=0} + \dots = 0 \quad (10)$$

Mặt khác, theo điều kiện cho trước:

$$\Delta(-\delta_{1,2} \pm j\omega_{01,02}; 0; 0) = 0 \quad (11)$$

Nên ta có:

$$p_{1,2} = \frac{\alpha_1 \frac{d\Delta(p)}{d\alpha_1} + \alpha_2 \frac{d\Delta(p)}{d\alpha_2}}{\frac{d\Delta(p)}{dp}} \quad (12)$$

Sau khi lấy đạo hàm  $\Delta p$  ta nhận được:

$$\delta_{1,2} = \frac{\left\{ \begin{aligned} &\alpha_1 \cdot [p^3 + \alpha_2 p^2 + (\omega_3^2 + \omega_4^2)p] + \\ &+ \alpha_2 \cdot [p^3 + \alpha_1 p^2 + (\omega_1^2 + \omega_2^2)p] \end{aligned} \right\}}{4p^3 + 3p^2\alpha_1 + 2p\alpha_2 + \alpha_3} \quad (13)$$

Thay giá trị  $p_{1,2} = j\omega_{01,02}$  vào biểu thức trên ta có kết quả:

$$U_0 = -\frac{1}{2(1 + \frac{C_c}{C_d})} \cdot E_m \cdot [\sin(\omega t + \varphi) - A_1 e^{-\delta_1 t} \sin \varphi \cdot \cos \omega_{01} t - A_2 e^{-\delta_2 t} \sin \varphi \cdot \cos \omega_{02} t]. \quad (16)$$

Trong đó:

$$A_1 = \frac{\omega_{01}^2 - \left( \frac{2C + C_c}{L_{td} C_{td}} + \frac{2C + C_d}{L_d C_{td}} \right) \frac{1}{3C} + \frac{2C + C_d}{3L_{td} L_d C C_c C_d \omega_{01}^2}}{\omega_{01}^2 - \omega_{02}^2} \frac{2C}{C_d}; \quad (17)$$

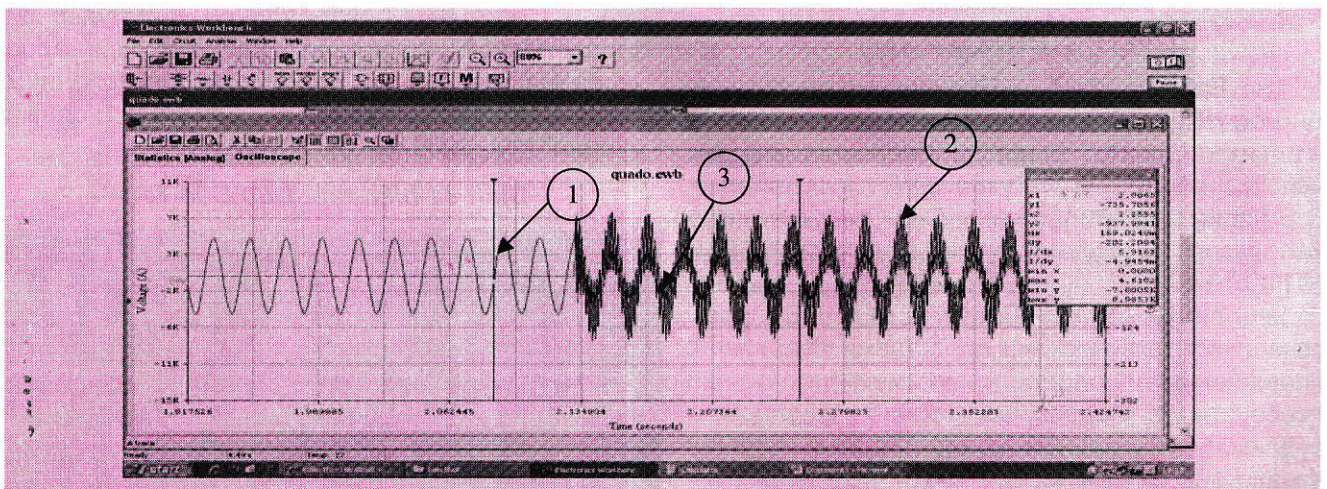
$$A_2 = \frac{\omega_{02}^2 - \left( \frac{2C + C_c}{L_{td} C_{td}} + \frac{2C + C_d}{L_d C_{td}} \right) \frac{1}{3C} + \frac{2C + C_d}{3L_{td} L_d C C_c C_d \omega_{02}^2}}{\omega_{01}^2 - \omega_{02}^2} \frac{2C}{C_d}. \quad (18)$$

$$\delta_{1,2} = \frac{\left\{ \begin{aligned} &\alpha_1 \cdot [\omega_3^2 + \omega_4^2 - \omega_{01,02}^2] + \\ &+ \alpha_2 \cdot [\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_{01,02}^2] \end{aligned} \right\}}{2(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 - 2\omega_{01,02}^2)} \quad (14)$$

Để xác định biểu thức điện áp pha C là hàm phụ thuộc thời gian t sử dụng phép biến đổi ngược Laplace xuất phát từ hàm mũ  $e^{p.t}$

$$U_c \approx (1 + \frac{C_d}{2C}) E_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (15)$$

Từ biểu thức (15) suy ra rằng điện áp pha C không phụ thuộc vào điện trở hệ thống nguồn  $R_{td}$  và động cơ  $R_d$ . Từ đó, suy ra điện áp thứ tự không  $U_0$  (giữa trung tính nguồn và đất) được xác định theo biểu thức sau:



H.3. Kết quả mô phỏng mạng điện cao áp mỏ với động cơ điện khảo sát ở chế độ quá độ điện áp pha và điện áp thứ tự không khi ngắt mạch: 1 - Điện áp pha trước khi chuyển mạch; 2 - Điện áp pha khi chuyển mạch; 3 - Điện áp thứ tự không khi chuyển mạch

Như vậy tại thời điểm đầu  $t=0$  biên độ thành phần điều hoà bậc tự do của điện áp thứ tự không

$U_0$  xét cho điều kiện nguồn có công suất vô cùng lớn như sau:



$$U_0(0) = \frac{C_d}{2C} E_m \cdot \sin\varphi \quad (19)$$

### 3. Khảo sát quá trình quá độ trong mạng điện cao áp 6 kV mô hình lò khi đóng cắt động cơ điện cao áp bằng phần mềm Electronics Workbench

Để tiến hành mô phỏng quá trình quá độ trong mạng điện cao áp 6 kV mô hình lò khi đóng cắt động cơ điện cao áp trên phần mềm Electronics Workbench, tác giả lấy thông số lưới điện cao áp của mỏ than Mao Khê-Quảng Ninh với thông số điện dung  $C=0,68 \mu\text{F}/\text{Pha}$ ;  $R=35,71 \text{ k}\Omega/\text{pha}$ ; động cơ điện không đồng bộ trạm bơm thoát nước mỏ điện áp 6 kV công suất 145 kW, tốc độ vòng quay 1440 v/ph, hệ số công suất  $\cos\varphi=0,85$ , hiệu suất  $\eta=0,97$ . Sau khi tính các thông số của động cơ và tra cứu tài liệu để xác định điện dung của động cơ so với đất, ta thiết lập mô hình mạng điện cao áp để khảo sát quá trình quá độ khi ngắt động cơ đang làm việc và kết quả mô phỏng được mô tả như trên H.3.

### 4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu quá trình quá độ trong các hệ thống cung cấp điện cao áp mỏ có các động cơ điện không đồng bộ khi ngắt mạch luôn tồn tại điện áp thứ tự không kèm theo thành phần dao động

điều hoà bậc cao. Biên độ thành phần cơ bản điện áp thứ tự không  $U_0(0)$  phụ thuộc vào thời điểm ngắt tiếp điểm mạch lực có thể có giá trị đủ lớn gây tác động cắt nhầm lẫn của các thiết bị bảo vệ chạm đất một pha, làm ngưng trệ quá trình sản xuất không mong muốn. Để hạn chế tác động nhầm lẫn của các thiết bị bảo vệ chạm đất một pha ở các mạng điện như trên, cần có giải pháp hạn chế ảnh hưởng của điện áp thứ tự không ở chế độ quá độ khi ngắt động cơ không đồng bộ ba pha. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Дзюбан В.С. Апараты защиты от ток утечки в шахтных электрических сетях, М. Недра -1992
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы элестротехники, М. высшая школа -1962.

*Người biên tập: Đào Đức Tạo*

### SUMMARY

The paper presents some research results of transitional process in the high voltage power network, the impact causes to the single phase short circuit to the ground protective devices and unexpected cutting to the other loads, when switch off the high capacity motors.

## HỆ THỐNG THÔNG TIN...

(Tiếp theo trang 24)

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Бабенко А.Г. Принципы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт, опыт и перспективы их использования в Кузбассе// А.Г.Бабенко, С.Э.Лапин, А.В.Вильгельм, С.М.Оржеховский - Безопасность труда в промышленности, 2011, №1. С.16-22.

2. Ферхо В.А., Веснин В.Н. Вопросы оснащения техническими средствами аварийного оповещения и определения местоположения персонала в подземных горных выработках рудников и угольных шахт. Горный журнал Казахстана, 2010, №8. С.47-50.

3. В радиусе повышенного внимания к шахтеру/Уголь Кузбасса, Международный научно-практический журнал, март-апрель 2011. С. 68-69.

4. "Неделя комфорта и безопасности жизнедеятельности" в Кузбассе одобрила ноу-

хау красноярского НВИЦ "Радиус". Известия региона от 24.11.2011 г. Специальный выпуск.

5. Дрaбкин А.Л., Проскураков Р.М., Семенов М.А. Система беспроводной импульсной однополосной передачи речевых сигналов через массив горных пород с использованием ретрансляторов/ Известия вузов "Горный журнал" №2, 2002. С. 107-111.

*Dịch và biên tập: Đào Đức Tạo*

### SUMMARY

One of the important duties for the communication system at the underground mines is the urgent announcement when the occurred disasters. This paper presents the authors' research in finding solutions to amplify the electromagnetic field intensity to ensure the signal quality receiving from the transmitters in voice communication through the rocks layers in the underground mines.