

CƠ - ĐIỆN MỎ (trang 49-58)

**MÔ HÌNH MẠNG ĐIỆN MỎ HÀM LÒ ĐIỆN ÁP 1140V
VÙNG QUẢNG NINH VỀ PHƯƠNG DIỆN AN TOÀN ĐIỆN GIẬT**

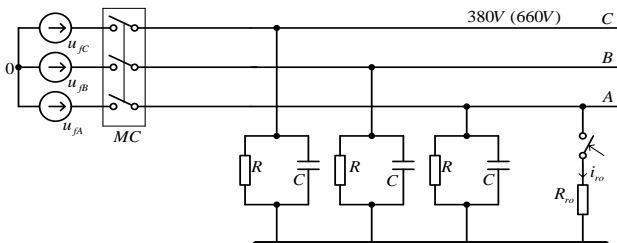
NGUYỄN VĂN QUÂN, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

KIM NGỌC LINH, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V vùng Quảng Ninh về phương diện an toàn điện giật. Từ kết quả nghiên cứu tổng quan về các mô hình tính dòng điện rò trong mạng điện mỏ hầm lò và kết quả nghiên cứu về quá trình quá độ khi ngắt động cơ không đồng bộ ba pha khỏi lưới điện cung cấp, nhóm tác giả đã đề xuất một mô hình tính dòng điện rò áp dụng cho mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V vùng Quảng Ninh. Điểm mới của mô hình là đã kể đến ảnh hưởng của điện áp stato động cơ công suất lớn sau khi ngắt khỏi lưới điện cung cấp đến dòng điện rò.

1. Tổng quan các mô hình mạng điện mỏ hầm lò về phương diện an toàn điện giật

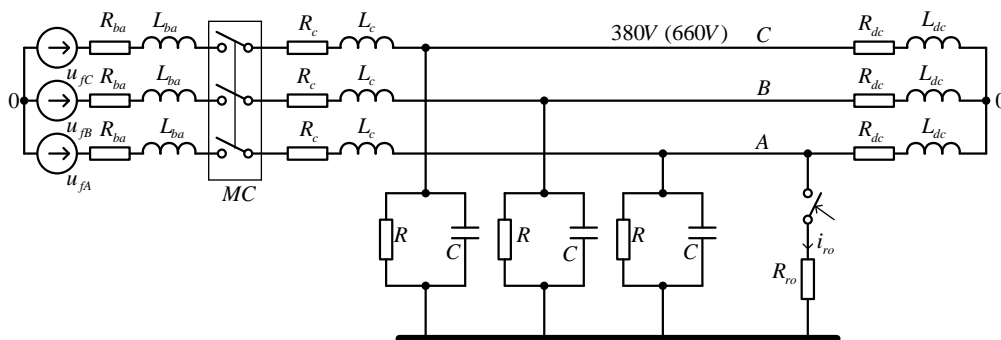
Nghiên cứu về điều kiện an toàn điện giật mạng điện mỏ hầm lò điện áp 380V và 660V, nhiều tác giả trong và ngoài nước đã đề xuất nhiều mô hình mạch về phương diện an toàn điện giật để tính dòng điện rò qua người. Trong [2,4,5] đã sử dụng sơ đồ như hình 1, với R và C là điện trở cách điện và điện dung của mạng so với đất, R_{ro} là điện trở của người. Mô hình này chỉ xét đến ảnh hưởng thông số cách điện của mạng so với đất đến dòng điện rò.



Hình 1. Mô hình đơn giản tính dòng điện rò qua người

Trong [1], kể đến ảnh hưởng của trở kháng biến áp, trở kháng cáp và trở kháng tải đến dòng điện rò đã sử dụng mô hình như hình 2. Trong đó R_{ba} , L_{ba} là điện trở và điện cảm của biến áp, R_c và L_c là điện trở và điện cảm của cáp, R_{dc} và L_{dc} là điện trở và điện cảm của động cơ.

Các mô hình trên chưa kể được đến ảnh hưởng do điện áp stato (sức điện động ngược) của động cơ khi ngắt khỏi lưới điện đến dòng điện rò qua người nên chỉ thích hợp với các mạng hạ áp mỏ (điện áp 380V và 660V). Trong mạng điện 1140V thường sử dụng động cơ công suất lớn hàng trăm kW. Nhiều nghiên cứu đã cảnh báo nguy cơ mất an toàn điện giật do điện áp trên các cuộn dây stato của động cơ khi ngắt khỏi lưới [5]. Tuy nhiên cho đến nay vẫn chưa có một tác giả nào đề cập đến một mô hình cho phép giải bài toán này. Vì vậy, việc xây dựng một mô hình có kể đến ảnh hưởng do sức điện động ngược của động cơ đến dòng điện rò rất đáng được quan tâm.

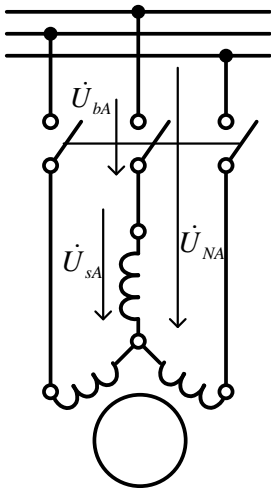


Hình 2. Mô hình kể đến ảnh hưởng của trở kháng biến áp, cáp và trở kháng tải

2. Nghiên cứu xây dựng mô hình mạng 1140V về phương diện an toàn điện giật

Để xây dựng mô hình mạng điện mở hàm lò điện áp 1140V về phương diện an toàn điện giật trước tiên xét bài toán quá trình quá độ khi ngắt động cơ không đồng bộ ba pha khỏi lưới điện cung cấp [3].

Xét sơ đồ hình 3, sau khi các tiếp điểm của máy cắt được ngắt ra thì điện áp trên cuộn dây stato của động cơ u_s khác với điện áp của lưới u_N . Nếu gọi u_b là điện áp hồ quang xuất hiện khi ngắt máy cắt ta có $u_s = u_N - u_b$.



Hình 3. Động cơ không đồng bộ khi ngắt nguồn cung cấp

Gọi t_1 là khoảng thời gian để mạch stato động cơ được ngắt hoàn toàn khỏi lưới. Từ phương trình cân bằng điện áp mạch roto

$$u_r = 0 = i_r R_r + \frac{d\psi_r}{dt}, \quad (1)$$

trong đó R_r là điện trở và ψ_r là từ thông, i_r và u_r là dòng điện và điện áp mạch roto.

Tích phân hai vế phương trình (1) từ 0 đến t_1 nhận được

$$0 = R_r \int_0^{t_1} i_r dt + \psi_{r1} - \psi_{r0},$$

trong đó ký hiệu ψ_{r0} và ψ_{r1} là từ thông mạch roto động cơ trước và sau khi ngắt mạch.

Nếu bỏ qua điện trở nhỏ của mạch roto có $0 = \psi_{r1} - \psi_{r0}$ hay $\psi_{r1} = \psi_{r0}$. Như vậy, sự thay đổi dòng điện stato khi ngắt động cơ sẽ dẫn đến sự thay đổi dòng điện roto nhưng từ thông mạch roto là không thay đổi trong quá trình ngắt động cơ khỏi lưới.

Khi động cơ bị ngắt hoàn toàn khỏi lưới, dòng trong các cuộn dây stato bằng không. Ở thời điểm đầu tiên sau khi ngắt, từ thông roto không thay đổi, dòng điện roto sẽ dao động tắt dần. Vì mạch stato lúc đó hở mạch nên sự tắt dần của dòng điện roto chỉ phụ thuộc vào điện cảm tổng mạch roto $L_r = L_m + L_{r1}$ (với L_m là điện cảm hồ cảm và L_{r1} là điện cảm mạch roto ở thời điểm t_1) và điện trở thuần của cuộn dây roto R_r . Sự tắt dần của dòng roto xảy ra với hằng số thời gian tương ứng với chế độ không tải lý tưởng khi cung cấp từ mạch roto (hằng số thời gian không tải roto)

$$T_{r0} = \frac{L_r}{R_r} = \frac{X_r}{\omega_1 R_r}. \quad (2)$$

Với động cơ không đồng bộ, trong đơn vị tương đối các đại lượng điện kháng và điện trở mạch roto trong khoảng $X_r^* \approx 2,5 \div 4$, $R_r^* \approx 0,01 \div 0,05$. Đối với động cơ công suất lớn, do $X_r \gg R_r$ nên có thể tính được hằng số thời gian bằng $T_{r0} = \frac{X_r}{\omega_1 R_r} = \frac{4}{314 \cdot 0,01} = 1,3s \{ \}$.

Thực tế điện cảm L_m và L_r phụ thuộc nhiều vào mức độ bão hòa của mạch từ động cơ. Với việc giảm của dòng điện và từ thông roto sẽ làm giảm mức độ bão hòa của mạch từ và do đó làm tăng X_r và T_{r0} so với mức độ bão hòa định mức. Giá trị X_r khi không bão hòa có thể lớn hơn hai lần giá trị X_r khi mạch từ bão hòa. Vì vậy, dòng roto ban đầu tắt nhanh sau đó do sự giảm độ bão hòa của mạch từ làm T_{r0} tăng khiến nó tắt chậm dần. Trong khoảng thời gian này hằng số thời gian của động cơ công suất lớn có thể đạt gấp đôi giá trị tính ở trên (khoảng gần 3 s). Đối với động cơ công suất nhỏ, do điện trở R_r lớn nên hằng số thời gian của động cơ sẽ nhỏ hơn.

Nếu bỏ qua ảnh hưởng của sự bão hòa từ trong động cơ thì có thể coi thành phần dòng điện tự do trong mạch roto tắt dần theo qui luật hàm mũ. Trong hệ tọa độ quay cùng tốc độ với roto, dòng điện động roto có dạng

$i_r = I_{r1} e^{-\frac{t}{T_{r0}}}$, trong đó I_{r1} là dòng điện roto ở thời điểm t_1 .

Khi đó từ thông stato trong hệ tọa độ quay bằng $\psi_s = L_m i_r = L_m I_{r1} e^{-\frac{t}{T_{r0}}}$.

Do $\psi_{r0} = \psi_{r1} = L_r I_{r1} \rightarrow I_{r1} = \frac{\psi_{r0}}{L_r}$, thay vào

$$\text{biểu thức trên ta có } \psi_s = \frac{L_m}{L_r} \psi_{r0} e^{-\frac{t}{T_{r0}}}.$$

Vì roto quay với tốc độ $\omega = (1-s)\omega_1$ (s là hệ số trượt của động cơ, ω_1 là tần số góc của điện áp lưới) nên trong hệ tọa độ tĩnh có

$$\psi_s = \frac{L_m}{L_r} \psi_{r0} e^{-\frac{t}{T_{r0}}} e^{j\omega t}. \quad (3)$$

Suy ra điện áp cảm ứng trong cuộn dây stato có giá trị bằng

$$u_s = \frac{d\psi_s}{dt} = \frac{L_m}{L_r} \psi_{r0} \left(-\frac{1}{T_{r0}} + j\omega \right) e^{-\frac{t}{T_{r0}}} e^{j\omega t}.$$

Thay $\omega = (1-s)\omega_1$ và $T_{r0} = \frac{L_r}{R_r} = \frac{X_r}{\omega_1 R_r}$ vào

biểu thức trên nhận được kết quả

$$u_s = \frac{L_m}{L_r} \omega_1 \psi_{r0} \left[-\frac{R_r}{X_r} + j(1-s) \right] e^{-\frac{t}{T_{r0}}} e^{j\omega t}. \quad (4)$$

Đại lượng $\omega_1 \psi_{r0}$ tùy thuộc vào chế độ mang tải của động cơ và có giá trị nhỏ hơn điện áp stato trước khi ngắt U_{s0} . Với tải định mức

$\omega_1 \psi_{r0} \approx 0,9U_{s0}$. Thay $\frac{L_m}{L_r} \approx 0,95$ ta có biên độ

của điện áp stato U_s sau khi ngắt động cơ với tải định mức bằng

$$U_s \approx 0,86U_{s0} \sqrt{\left(\frac{R_r}{X_r}\right)^2 + (1-s)^2} e^{-\frac{t}{T_{r0}}} \quad (5)$$

Đối với động cơ roto lồng sóc, từ biểu thức (5), bỏ qua thành phần R_r/X_r nhỏ so với $(1-s)$ nhận được biểu thức tính điện áp stato động cơ không đồng bộ roto lồng sóc sau khi ngắt khỏi lưới điện cung cấp

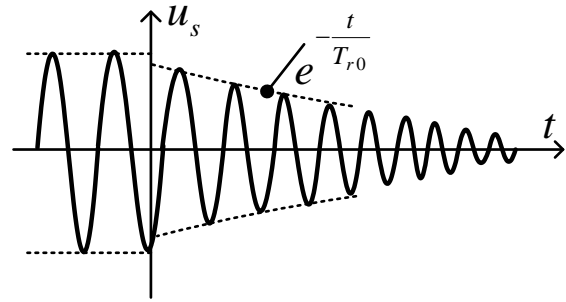
$$u_s = \frac{L_m}{L_r} j(1-s)\omega_1 \psi_{r0} e^{-\frac{t}{T_{r0}}} e^{j\omega_1(1-s)t} \quad (6)$$

Điện áp này có tần số bằng $(1-s)f_1$ và tắt dần với hằng số thời gian không tải roto. Thay $\frac{L_m}{L_r} \approx 0,95$ và $(1-s) \approx 0,97$ có biên độ điện áp trong mạch stato trong quá trình ngắt động cơ

không đồng bộ roto lồng sóc khỏi lưới bằng $U_{s1} \approx 0,95.0,97.0,9U_{s0} \approx 0,83U_{s0}$. Điện áp stato động cơ sẽ giảm từ giá trị này về không theo qui luật hàm mũ. Nếu trị số tức thời của điện áp một pha bất kỳ của stato trước khi ngắt động cơ bằng $u_s = U_s \cos(\omega_1 t + \alpha)$, thì sau khi ngắt ($t > 0$) điện áp này bằng

$$u_s = kU_s e^{-\frac{t}{T_{r0}}} \cos[(1-s)\omega_1 t + \alpha - \varphi] \quad (7)$$

Trong đó φ là góc lệch pha của điện áp stato động cơ trước và sau khi ngắt khỏi nguồn cung cấp. Giá trị gần đúng của hệ số k lấy bằng 0,83 khi tải định mức và bằng 0,95 khi động cơ không tải. Đồ thị thời gian của điện áp này được mô tả trên hình 4.



Hình 4. Sự thay đổi điện áp stato động cơ khi ngắt nguồn cung cấp

Trong thực tế khi ngắt khỏi lưới tốc độ động cơ sẽ giảm dần dưới tác dụng của tải trên trục động cơ làm hệ số trượt s và do đó tần số của điện áp stato cũng thay đổi. Vì vậy, thực tế điện áp stato động cơ khi ngắt khỏi lưới không hoàn toàn thay đổi đúng như đồ thị trên (cả biên độ và tần số đều thay đổi).

Trường hợp khi có một số động cơ được mắc trong cùng một thanh cái và máy cắt tổng được ngắt, nếu tất cả các động cơ giống nhau và quay cùng một tốc độ thì quá trình quá độ trong các động cơ cũng giống như khi ngắt một động cơ. Ở mỗi động cơ dòng điện stato cũng giảm về không. Tuy nhiên, nếu thông số của động cơ trong nhóm khác nhau, hoặc chế độ mang tải và do đó tốc độ quay của các động cơ khác nhau thì điện áp trên cực của từng động cơ khi ngắt có qui luật thay đổi sẽ không giống nhau. Khi

ngắt máy cắt tổng do sự thay đổi không giống nhau của điện áp trên cực các động cơ sẽ xuất hiện dòng điện cân bằng chạy trong các động cơ. Nếu trong nhóm các động cơ, động cơ nào có công suất lớn sẽ có hằng số thời gian T_{r0} lớn hơn so với hằng số thời gian trung bình của nhóm các động cơ. Điện áp stato trong của các động cơ này sẽ giảm chậm hơn so với điện áp trên thanh cái. Vì vậy, những động cơ này sẽ phát ra công suất phản kháng sau khi ngắt. Ngược lại, những động cơ có hằng số thời gian nhỏ hơn sẽ tiêu thụ công suất phản kháng.

Khi các động cơ mang tải khác nhau thì với những động cơ mang tải nặng hệ số trượt sẽ tăng và tần số góc ω của nó sẽ nhỏ hơn tần số góc của điện áp trên thanh cái. Do đó ở những động cơ này sẽ tiêu thụ một công suất tác dụng. Điều này cho thấy những động cơ mang tải nhẹ có hệ số trượt nhỏ hơn sẽ làm việc ở chế độ máy phát không đồng bộ. Tần số góc điện áp stato của những động cơ này sẽ lớn hơn tần số góc của điện áp trên thanh cái. Ngoài ra trong quá trình hãm sau khi ngắt vai trò của các động cơ có thể thay đổi. Trong thực tế nhóm động cơ được cung cấp từ một máy biến áp khu vực mỏ hầm lò thường có công suất và chế độ mang tải là không giống nhau. Từ đó có thể thấy rằng, về phương diện an toàn điện giật việc ngắt một động cơ khỏi nguồn cung cấp là nguy hiểm hơn việc ngắt một nhóm động cơ khỏi lưới. Vì vậy, có thể xét trường hợp nguy hiểm nhất là xét bài toán tính dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ có công suất lớn nhất.

Với những phân tích trên, mô hình mạng điện mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh điện áp 1140V về phương diện an toàn điện giật được đề xuất như hình 5. Mô hình được xây dựng với các giả thiết: coi nguồn cung cấp cho máy biến áp có công suất là vô hạn, mạch có thông số tập trung, tải là động cơ không đồng bộ ba pha roto lồng sóc được cung cấp trực tiếp từ lưới và bỏ qua ảnh hưởng của sự bão hòa từ trong động cơ. Các thông số của mô hình được tính:

$$u_{fA} = U_{fm} \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{2}U_f \sin(\omega t + \varphi);$$

$$\omega = 2\pi f = 100\pi.$$

$$u_{sA} = kU_s e^{-\frac{t}{T_{r0}}} \sin[(1-s)\omega t + \varphi_1];$$

$$k = 0,83; \quad T_{r0} = 2,5s; \quad U_s = \sqrt{2}U_{dc}; \quad s = 0,03.$$

$$R_{dc} = z_{dc} \cos \phi_{dc};$$

$$z_{dc} = \frac{U_{fdc}}{I_{dc}};$$

$$I_{dc} = \frac{P_{dc} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{dc} \eta_{dc} \cos \phi_{dc}}; \quad (P_{dc} : \text{kW})$$

$$L_{dc} = \frac{x_{dc}}{100\pi}; \quad x_{dc} = \sqrt{z_{dc}^2 - R_{dc}^2},$$

($R_{dc}, x_{dc}, z_{dc}, \cos \phi_{dc}, P_{dc}, U_{dc}, \eta_{dc}$ là các thông số của động cơ).

$R_c = r_0 l; L_c = \frac{x_0}{100\pi}$ (r_0, x_0 tương ứng là điện trở, điện kháng trên một đơn vị chiều dài mạng cáp, l là chiều dài của mạng cáp).

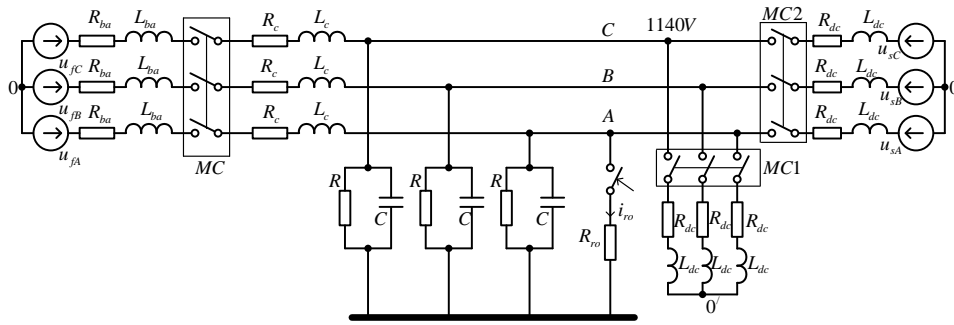
$$L_{ba} = \frac{x_{ba}}{100\pi}; \quad x_{ba} = \sqrt{z_{ba}^2 - R_{ba}^2}; \quad z_{ba} = \frac{10 \cdot \mu_n \% \cdot U_{2dm}^2}{S_{dm}}$$

($U_{2dm} : \text{kV}; S_{dm} : \text{kVA}$).

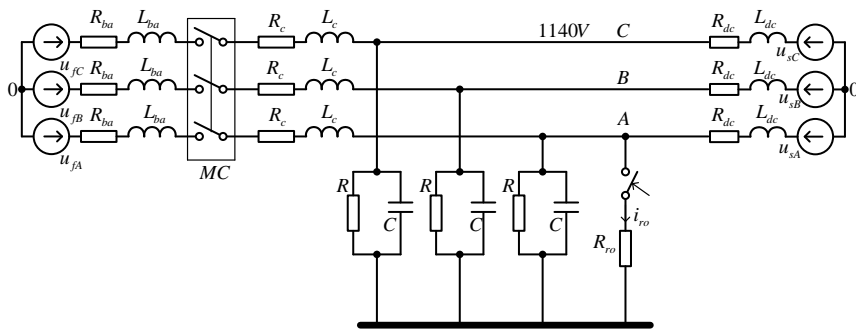
Thông số cách điện mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V vùng Quảng Ninh theo kết quả nghiên cứu của chúng tôi $R = 124,8k\Omega; C = 0,103\mu F$.

Trong mô hình 5, khi khảo sát dòng điện rò trong khoảng thời gian con người chạm phải cho đến khi máy cắt chính tác động ($0,12s$) các tiếp điểm MC và MC1 đóng, MC2 ngắt. Mô hình này cho phép khảo sát ảnh hưởng của thông số cách điện mạng, ảnh hưởng trở kháng trong biến áp và trở kháng của cáp, ảnh hưởng của trở kháng tải v.v... đến dòng điện rò. Khi khảo sát dòng điện rò trong khoảng thời gian sau khi máy cắt chính tác động ($>0,12s$) các tiếp điểm MC và MC1 ngắt, MC2 đóng. Mô hình này cho phép khảo sát ảnh hưởng sức điện động ngược động cơ khi ngắt đến dòng điện rò, hiệu quả giải pháp giảm dòng rò qua người khi nối ngắn mạch ba pha với đất khi có rò sau khi cắt mạng, v.v...

Nếu dùng bước nhảy Hêvixaid để biểu diễn điện áp stato khi ngắt động cơ khỏi lưới có thể sử dụng mô hình tính dòng điện rò như hình 6.



Hình 5. Mô hình mạng 1140V về phương diện an toàn điện giật (I)



Hình 6. Mô hình mạng 1140V về phương diện an toàn điện giật (II)

Trong mô hình này điện áp stato động cơ sau khi ngắt khỏi lưới điện cung cấp bằng

$$u_{sA} = 1(t - 0,12)kU_s e^{\frac{t-0,12}{T_{r0}}} \sin[(1-s)\omega(t - 0,12) + \varphi]$$

; $k = 0,83$; $T_{r0} = 2,5s$; $U_s = \sqrt{2}U_{dc}$; $s = 0,03$.

Nếu coi gần đúng tần số điện áp stato bằng tần số điện áp của lưới và $\varphi_1 \approx \varphi$, ta có

$$u_{sA} = 1(t - 0,12) \cdot 1,17U_{dc} e^{\frac{t-0,12}{T_{r0}}} \sin[\omega(t - 0,12) + \varphi].$$

3. Kết luận

Khi nghiên cứu về dòng điện rò qua người khi chạm vào một pha của mạng điện mỏ hầm lò điện áp 1140V có thể sử dụng các mô hình hình 5 hoặc 6. Ưu điểm của mô hình là đã kể đến hầu hết các yếu tố ảnh hưởng đến dòng điện rò qua người khi chạm vào một pha của mạng điện mỏ điện áp 1140V. Việc giải mô hình có thể sử dụng phần mềm mô phỏng Matlab Simulink. Kết quả khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến dòng điện rò qua người khi chạm vào một pha của mạng điện mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh điện áp 1140V sẽ được chúng tôi trình bày trong các bài báo tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kim Ngọc Linh, 2006. Nghiên cứu hình thức bảo vệ rò điện phù hợp với các mạng điện hạ áp khu vực mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- [2]. Дзюбан В.С. и др, 1983. Справочник энергетика угольной шахты. "Недра", Москва.
- [3]. Ковач К. П., Рац И., 1963. Переходные процессы в машинах переменного тока (Перевод под редакцией проф. Вольдека А. И.). "Государственное энергетическое издательство", Москва и Ленинград.
- [4]. Шуцкий В.И., Ахлюстин В.К., 1979. Безопасность обслуживания электроустановок уголеобогатительных фабрик. "Недра", Москва.
- [5]. Ягудаев Б.М., Шиликин Н.Ф., Назаров В.В., 1982. Защита от электропоражения в горной промышленности. "Недра", Москва.

(xem tiếp trang 58)

SUMMARY

Modeling the power system 1140 voltage of underground mines in Quang Ninh area with the view of safety from electrical shock

Nguyen Van Quan, *Quang Ninh University of Industry*

Kim Ngoc Linh, *University of Mining and Geology*

This paper presents the results of research to build models of of underground mines in Quang Ninh area with the view of safety from electrical shock. From the research results overview of the model calculated leakage in underground mines electricity network and research results about the transition to disconnect the three-phase asynchronous motor from the power supply, the authors propose a leakage current model calculation applied to the electric network voltage 1140V underground mines in Quang Ninh. A new feature of the model is telling the influence of stator voltage of large capacity engine after disconnected from the power supply to the leakage current.