

BÙ THÀNH PHẦN ĐIỆN DUNG CỦA DÒNG ĐIỆN RÒ TRONG CÁC MẠNG ĐIỆN MỎ CÓ ĐỘNG CƠ CÔNG SUẤT LỚN

Kim Ngọc Linh, Nguyễn Thạc Khánh
Kim Thị Cẩm Ánh
Trường Đại học Mỏ - Địa chất
Email: kimngoclinh@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Giải pháp bù điện dung đã được chứng minh có hiệu quả cao trong các mạng ba pha trung tính cách ly và liên tục được nghiên cứu hoàn thiện. Tuy nhiên, đối với các mạng điện mỏ có các động cơ công suất lớn hoạt động, hiệu quả của giải pháp bù điện dung chưa được đánh giá một cách đầy đủ. Các kết quả nghiên cứu trình bày trong bài báo này chứng minh rằng đối với các mạng điện mỏ có các động cơ công suất lớn làm việc, giải pháp bù điện dung có thể làm tăng nguy cơ điện giật. Kết quả nghiên cứu này cần được quan tâm khi đề xuất các giải pháp đảm bảo điều kiện an toàn điện giật cho các mạng điện mỏ hầm lò cơ giới hoá có các động cơ công suất lớn hoạt động.

Từ khóa: mạng điện mỏ, bảo vệ rò, bù điện dung, động cơ công suất lớn, dòng điện rò

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các mỏ hầm lò sử dụng rộng rãi mạng điện ba pha có trung tính cách ly. Quy chuẩn Kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò quy định bắt buộc phải trang bị cho mạng điện hầm lò các thiết bị bảo vệ rò. Để đảm bảo điều kiện an toàn điện giật, trong các thiết bị bảo vệ rò luôn có mạch bù thành phần điện dung của dòng rò. Giải pháp bù điện dung đã được chứng minh có hiệu quả cao trong các mạng ba pha trung tính cách ly và liên tục được nghiên cứu hoàn thiện [3,4,5]. Tuy nhiên, đối với các mạng điện mỏ có các động cơ công suất lớn hoạt động (ví dụ như mạng điện 1140V trong các mỏ hầm lò được cơ giới hoá), hiệu quả của giải pháp bù thành phần điện dung của dòng điện rò chưa được nghiên cứu đánh giá một cách đầy đủ. Vì vậy, nghiên cứu về bù điện dung trong các mạng điện mỏ có các động cơ công suất lớn hoạt động là có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

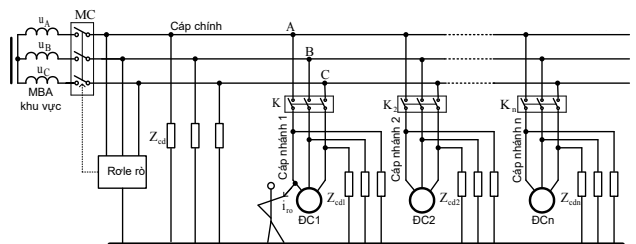
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1 Cơ sở lý thuyết

Xét sơ đồ cung cấp điện đơn giản cho một khu vực khai thác mỏ hầm lò sử dụng cấp điện áp 1140V như Hình H.1 [1].

Trong sơ đồ ký hiệu MC là tiếp điểm của máy

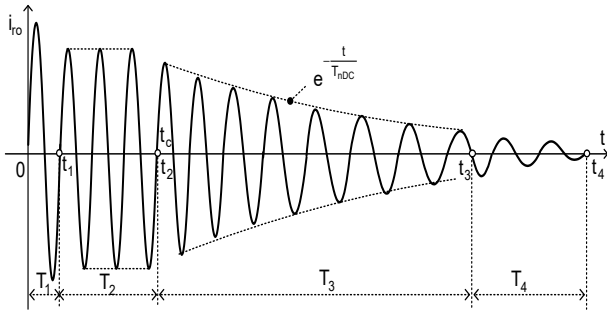
cắt ở đầu đường cấp chính; K_1, K_2, \dots, K_n là tiếp điểm của các công tắc tơ trong các khởi động từ điều khiển động cơ của các máy công tác; $Z_{cd}, Z_{cd1}, \dots, Z_{cdn}$ là trở kháng cách điện so với đất của mạng cấp chính và các mạng cấp nhánh. Giả thiết con người chạm vào một pha của cấp nhánh 1.



H.1. Sơ đồ nguyên lý mạng cung cấp điện khu vực mỏ hầm lò

Khi con người chạm vào một pha của mạng sẽ có dòng điện rò qua người. Với giả thiết lấy thời điểm con người chạm vào là gốc thời gian và coi rằng rơle rò lắp ở đầu đường cấp chính sẽ tác động làm máy cắt MC cắt nguồn cung cấp, ta có đồ thị mô tả sự biến thiên của dòng điện rò qua người như Hình H.2 [1,6].

Trên Hình H.2 ký hiệu t_1 là thời điểm tắt của thành phần tự do, t_2 thời điểm ngắt của tiếp điểm máy cắt MC và t_3 là thời điểm ngắt của tiếp điểm công tắc tơ K_1 .



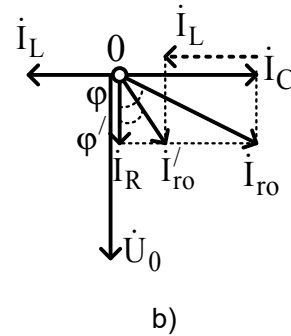
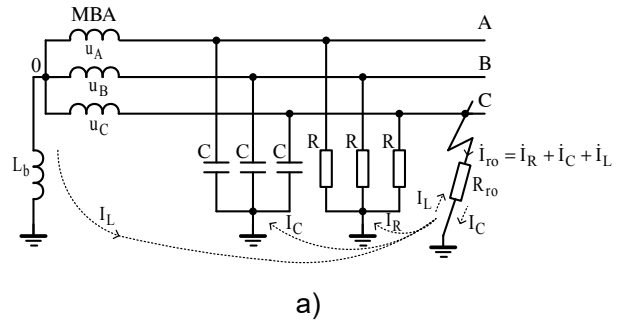
H.2. Đồ thị mô tả sự biến thiên của dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ

Từ đồ thị Hình H.2 cho thấy rằng, dòng rò qua người ngoài thành phần tự do và thành phần xác lập của dòng quá trình quá độ còn có thành phần dòng do điện áp trên cuộn dây stato của các động cơ còn quay theo quán tính gây nên. Thành phần xác lập của dòng điện rò qua người còn tiếp tục tồn tại từ thời điểm thành phần tự do của dòng quá trình quá độ tắt (thời điểm t_1) cho đến thời điểm máy cắt MC cắt (thời điểm t_2). Khi cắt mạng mà có một số động cơ, dòng quá trình quá độ do sức điện động ngược của động cơ gây ra gồm hai thành phần: Dòng gây bởi sức điện động ngược tắt dần của nhóm các động cơ, tồn tại từ thời điểm t_2 đến thời điểm ngắt công tắc tơ của khởi động từ khi điện áp lưới giảm còn $0,5U_{dm}$ (thời điểm t_3) và dòng gây bởi sức điện động ngược của động cơ nhánh con người chạm phải (từ thời điểm tiếp điểm công tắc tơ K_1 hở mạch cho đến khi sức điện động của động cơ tắt hoàn toàn).

Quy luật biến thiên của dòng rò qua người được mô tả trên Hình H.2 là phù hợp với các mạng điện mỏ không có mạch bù thành phần điện dung của dòng điện rò.

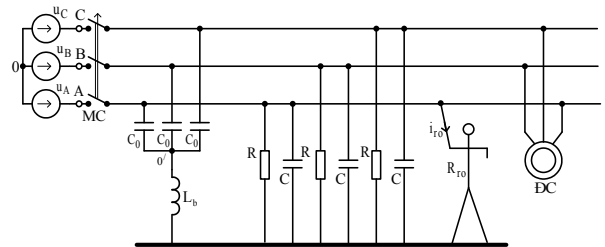
Trong thực tế mạng điện mỏ tồn tại điện dung so với đất nên trị số dòng rò qua người không chỉ phụ thuộc vào điện trở cách điện của mạng so với đất mà còn phụ thuộc vào điện dung của mạng. Để đảm bảo an toàn điện giật cần phải bù thành phần điện dung của dòng điện rò.

Nguyên lý bù thành phần điện dung là mắc giữa trung tính biến áp và đất một cuộn bù có điện cảm được hiệu chỉnh sao cho cộng hưởng với điện dung của mạng. Hình H.3 là sơ đồ nguyên lý bù điện dung và đồ thị véc tơ giải thích nguyên lý bù.

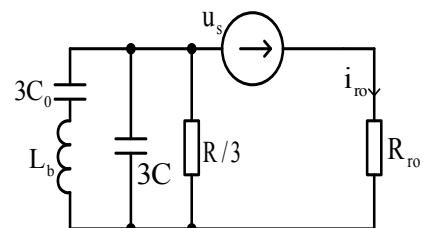


H.3. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ mạng có bù điện dung

Do không tiện đấu cuộn bù vào điểm trung tính của máy biến áp nên thường đấu cuộn bù qua điểm trung tính tạo bởi bộ tụ điện hoặc điện cảm đấu sao. Sơ đồ tương đương về mặt an toàn điện giật với các mạng ba pha trung tính cách ly có cuộn bù điện dung đấu qua bộ tụ điện đấu sao trên Hình H.4.



H.4. Sơ đồ tương đương về mặt an toàn điện giật mạng có bù điện dung



H.5. Sơ đồ tính dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ

Trong sơ đồ Hình H.4 ký hiệu: R và C tương ứng là điện trở cách điện và điện dung một pha của mạng so với đất; L_b là điện cảm cuộn bù; C_0 là điện

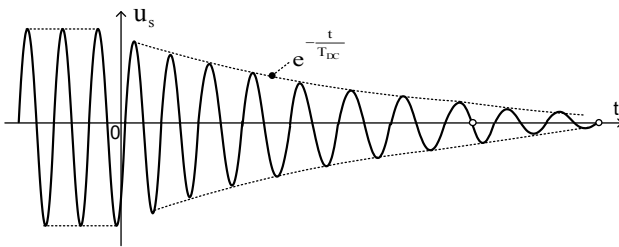
dung bộ tụ điện đấu sao tạo trung tính nối cuộn bù; R_{r0} là điện trở người.

Sơ đồ tương đương để tính dòng điện rò qua người sau khi máy cắt MC ngắt nguồn cung cấp cho động cơ nêu trên Hình H.5.

Trong sơ đồ Hình H.5, u_s là điện áp stato động cơ sau khi ngắt nguồn cung cấp. Nếu trị số tức thời của điện áp một pha bất kỳ của stator trước khi ngắt động cơ bằng $u_s = U_m \cos(\omega_1 t + \Psi)$ thì sau khi ngắt ($t > 0$) điện áp này được xác định theo biểu thức (1) [2].

$$u_s = kU_{sm} e^{-\frac{t}{T_{DC}}} \cos[(1-s)\omega_1 t + \Psi - \varphi] \quad (1)$$

Trong (1) ký hiệu T_{DC} là hằng số thời gian của động cơ, φ là góc lệch pha của điện áp stator động cơ trước và sau khi ngắt khỏi nguồn cung cấp, s là độ trượt của động cơ. 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 H.6 [2].



H.6. Điện áp stator động cơ khi ngắt nguồn cung cấp

Khi ngắt động cơ khỏi lưới, tốc độ động cơ giảm dần nên độ trượt s thay đổi làm tần số góc điện áp stator giảm dần. Ở một tần số xác định của điện áp stator động cơ tổng trở tương đương của hai nhánh điện kháng mắc song song trong sơ đồ Hình H.5 được xác định theo biểu thức (2).

$$Z_u = \frac{(-j/3\omega C)(j\omega L_b - j/3\omega C_0)}{-j/3\omega C + j\omega L_b - j/3\omega C_0} = \frac{L_b/3C - 1/9\omega^2 C_0}{j(\omega L_b - 1/3\omega C - 1/3\omega C_0)} \quad (2)$$

Từ (2) suy ra tổng trở tương đương $Z_{td}=0$ ở tần số sao cho $L_b/3C - 1/9\omega^2 C_0 = 0$. Hay

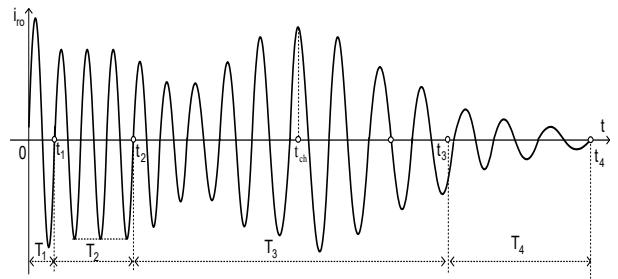
$$f_0 = \omega_0 / 2\pi = 1/2\pi \sqrt{3L_b C_0} \quad (3)$$

Ví dụ với $C_0=1\mu F$; $L_b=10,14H$, theo (3) tính được $f_0=28,87Hz$.

Ở tần số f_0 , $Z_{td}=0$ nên dòng rò đạt giá trị lớn nhất bằng $I_{romax} = U_s/R_{r0}$. Ở tần số này, trị số của dòng điện rò qua người không phụ thuộc vào điện trở và điện

dung cách điện của mạng, mà chỉ phụ thuộc vào trị số của điện áp pha stator và điện trở người. Mạng lúc này giống như mạng ba pha trung tính nối đất.

Kết quả phân tích trên cho thấy, đối với các mạng ba pha có bù điện dung nối qua bộ tụ điện đấu sao, quy luật của dòng điện rò qua người có dạng khác với đồ thị Hình H.2. Quá trình ngắt động cơ khỏi nguồn cung cấp, do tần số góc của điện áp stator giảm nên sẽ tồn tại một tần số cộng hưởng. Ở tần số đó, trở kháng cách điện tương đương của mạng so với đất bằng 0 và dòng rò qua người sẽ đạt giá trị lớn nhất. Quy luật biến thiên của dòng rò qua người trong trường hợp này được mô tả trên Hình H.7.



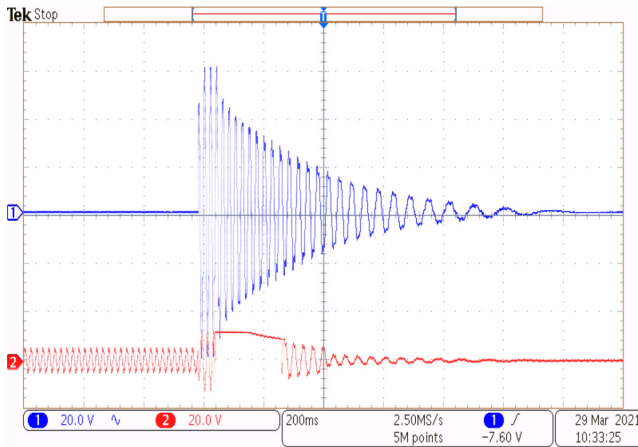
H.7. Đồ thị mô tả sự biến thiên của dòng điện rò qua người trong mạng có bù điện dung

2.2. Kết quả thực nghiệm

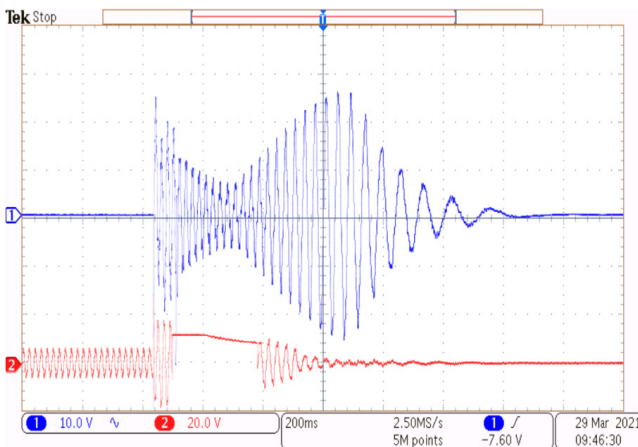
Để nghiệm lại kết quả nghiên cứu lý thuyết trên chúng tôi đã tiến hành thực nghiệm trên mô hình thử nghiệm Thiết bị bảo vệ dòng điện rò ở Phòng thí nghiệm Kỹ thuật điện–điện tử của Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Trong điều kiện Phòng thí nghiệm, để có thể khảo sát được ảnh hưởng do sức điện động ngược của động cơ khi cắt nguồn đến dòng điện rò, một thiết bị tạo sức điện động ngược đã được thiết kế, chế tạo. Thiết bị gồm một động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp loại LSPMSM 2,2kW điện áp 380V và máy biến áp công suất 10kVA, điện áp 380/660/1140V.

Kết quả thực nghiệm trên các Hình H.10 và H.11. Hình H.10 là dạng dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ trong trường hợp mạng không có bù điện dung và Hình H.11 là dòng điện rò qua người khi ngắt động cơ ở mạng có bù với $L_b=10,2H$; $C_0=1\mu F$.



H.10. Dòng điện rò khi ngắt động cơ ở mạng không có bù



H.11. Dòng điện rò khi ngắt động cơ ở mạng có bù với $L_b=10,2H$; $C_0=1\mu F$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

> Kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cho thấy rằng, đối với các mạng ba pha trung tính cách ly không có mạch bù điện dung, khi động cơ công suất lớn bị ngắt khỏi nguồn cung cấp, dòng điện rò qua người do sức điện động ngược

của động cơ gây ra có dạng giống như Hình H.2. Trường hợp mạng có cuộn bù điện dung đầu vào mạng qua bộ tụ điện đấu sao, dòng điện rò qua người do sức điện động ngược của động cơ gây ra có dạng giống như Hình H.7;

> Trong các mạng có sử dụng cuộn bù nối qua bộ tụ điện đấu sao, trong quá trình ngắt động cơ, sẽ tồn tại một thời điểm xảy ra hiện tượng cộng hưởng làm trở kháng cách điện tương đương của mạng so với đất bằng không, khiến cho trị số dòng rò qua người chỉ còn phụ thuộc vào điện áp stator động cơ và điện trở của cơ thể người;

> Tuy thuộc vào hằng số thời gian tắt của động cơ và điện trở của cơ thể người, ở dải xung quanh tần số cộng hưởng, trị số dòng điện rò qua người có thể lớn hơn nhiều lần dòng an toàn khoảng khác gây nguy hiểm cho con người;

> Thời điểm xảy ra hiện tượng cộng hưởng ứng với tần số điện áp stator giảm xuống giá trị được xác định theo biểu thức (3). Tần số này chỉ phụ thuộc vào trị số của điện cảm bù L_b và trị số của bộ tụ đấu sao C_0 . Nếu không có mạch bù hoặc cuộn bù được đấu qua bộ điện cảm đấu sao sẽ không có hiện tượng cộng hưởng.

4. KẾT LUẬN

Đối với các mạng điện ba pha trung tính cách ly có các động cơ công suất lớn hoạt động, để đảm bảo điều kiện an toàn điện giật, không áp dụng giải pháp bù thành phần điện dung của dòng rò bằng cuộn bù đầu qua điểm trung tính của bộ tụ điện đấu sao. Có thể thay thế bằng giải pháp mắc cuộn bù qua trung tính bộ điện cảm đấu sao hoặc giải pháp tự động nối ngắn mạch pha con người chạm phải qua điện trở nhỏ xuống đất □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kim Ngọc Linh, Kim Cẩm Ánh (2009), Đề phòng nguy cơ điện giật do sức điện động ngược của động cơ trong mạng điện mỏ điện áp 1140V, Tạp chí Công nghiệp Mỏ, 8/2009 (số 4/2009), tr. 36-38.
2. 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, 514с.
3. Савицкий В.Н., Белошистов А.И., Савицкий А.В. (2010), Способы снижения силы тока утечки в шахтах элетрических сетях переменого тока, Сборник научных трудов: УкрНИИВЭ.
4. Ставицкий В.Н., Дубинин С.В., Маренич К.Н., Дубинин М.С. (2011), Повышение эффективности компенсации емкостной составляюще тока утечки на землю в элетросетях с преобразователями частоты, Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет.

5. Шавёлкин А.А., Белобородько О.А. (2012), Возможности компенсации однофазных токов утечки в сетях с изолированной нейтралью; <http://masters.donntu.edu.ua/2012/fkita/martinuk/library/article6.htm>
6. Ягудаев Б.М., Шиликин Н.Ф., Назаров В.В. (1982), Защита от электропоражения в горной промышленности, «Недра», Москва, 145с.

COMPENSATION FOR THE CAPACITIVE COMPONENT OF LEAKAGE CURRENTS AT THE MINE POWER NETWORKS WITH A LARGE POWER MOTOR

Kim Ngoc Linh, Nguyen Thac Khanh, Kim Thi Cam Anh

ABSTRACT

The capacitive compensation solution has been proven to be highly effective for mine power networks and is constantly being researched and improved. However, for the mine networks with high-power active motors, the effectiveness of the capacitive compensation solution has not been fully evaluated. The research results presented in this paper show that for mine power networks with high-power running motors, the capacitive compensation solution can increase the risk of electric shock. The results of this study should be taken into account when proposing solutions to ensure the safety conditions for the mechanized underground mine networks with high-power engines in operation.

Keywords: *mining electrical network, leakage protection, capacitance compensation, high power motor, leakage current.*

Ngày nhận bài: 20/4/2022;

Ngày gửi phản biện: 20/4/2022;

Ngày nhận phản biện: 25/5/2022;

Ngày chấp nhận đăng: 30/5/2022.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.