

PHỐI HỢP BẢO VỆ RƠ LE ĐẢM BẢO ĐỘ TIN CẬY CUNG CẤP ĐIỆN CHO ĐỘNG CƠ ĐIỆN TRONG SƠ ĐỒ TỰ DÙNG CỦA NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

PROTECTION COORDINATION FOR RELIABLE SUPPLYING MOTORS
IN AUXILIARY POWER CIRCUITS OF THERMAL POWER PLANTS

Nguyễn Phúc Huy¹, Ma Thị Thương Huyền¹,
Vũ Hoàng Giang^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2025.001>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tính toán thông số cài đặt và phối hợp bảo vệ rơ le trong sơ đồ cung cấp điện cho động cơ điện tại nhà máy nhiệt điện. Trước hết, sơ đồ cung cấp điện điển hình của động cơ điện tự dùng được lựa chọn cùng các thông số chính của các phần tử bao gồm máy biến áp, động cơ điện và dây dẫn. Phần mềm ETAP hỗ trợ phân tích đặc tính khởi động của động cơ điện từ đó lựa chọn các loại đặc tính quá dòng điện khác nhau của bảo vệ rơ le theo tiêu chuẩn. Tiến hành mô phỏng các kịch bản điển hình cho thấy sơ đồ phối hợp có thể bảo vệ hiệu quả động cơ điện và đáp ứng các yêu cầu bảo vệ rơ le cho động cơ điện trong sơ đồ cung cấp điện tự dùng của nhà máy nhiệt điện.

Từ khóa: Phối hợp bảo vệ; động cơ điện công suất lớn; bảo vệ quá dòng điện; phần mềm phân tích quá trình quá độ điện (ETAP).

ABSTRACT

This article presents the research results on calculation of setting parameters and relay protection coordination in the power supply diagram for electric motors at thermal power plants. A typical power supply diagram for auxiliary electric motors is selected and the main parameters of the elements including transformer, motor and conductors are collected. Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) supports the analysis of the starting characteristics of the motor and the selection of different types of overcurrent characteristics of the relay protection according to standards. Simulating typical scenarios shows that the coordination scheme can effectively protect the motor and meet the relay protection requirements for electric motors in the auxiliary power supply scheme of thermal power plants.

Keywords: Protection coordination; high power motors; over current protection; Electrical Transient Analyzer Program (ETAP).

¹Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực

*Email: giangvh@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/9/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 24/01/2025

1. GIỚI THIỆU

Động cơ điện là phụ tải động lực quan trọng và được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp. Trong hệ thống điện tự dùng của các nhà máy nhiệt điện, các động cơ điện tự dùng thường có công suất lớn, số lượng nhiều và đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo sự ổn định và an toàn cho hoạt động của nhà máy. Do đó, các động cơ này cần được trang bị các thiết bị đóng cắt và bảo vệ hiện đại, có độ tin cậy cao. Đồng thời, cần tính toán và chỉnh định chính xác các thông số của bảo vệ rơ le để đảm bảo phối hợp bảo vệ khi xảy ra các sự cố như ngắn mạch, hoặc quá tải...

Hệ thống cung cấp điện tự dùng của nhà máy nhiệt điện thường được thiết kế với hai cấp điện áp: trung áp cho các động cơ công suất lớn và hạ áp cho các động cơ công suất nhỏ và chiếu sáng. Ở phía trung áp, thường sử dụng máy cắt chân không (VCB) kết hợp với bảo vệ quá dòng. Đối với mạch hạ áp công suất nhỏ hơn, máy cắt không khí (ACB) và áp tô mát khối (MCCB) được dùng phổ biến để bảo vệ động cơ khỏi ngắn mạch và quá tải [1]. Để đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện, sơ đồ thiết bị phân phối thường sử dụng cấu trúc một hệ thống thanh góp có phân đoạn [2]. Các thiết bị bảo vệ trong sơ đồ được cài đặt nhằm đảm bảo phối hợp

giữa các mạch đường dây đến, mạch phân đoạn thanh góp, mạch đường dây ra và các mạch cung cấp cho động cơ điện. Do đó, bên cạnh các yêu cầu chung đối với bảo vệ rơ le, hệ thống bảo vệ cho động cơ điện trong nhà máy nhiệt điện cần chú ý các vấn đề cụ thể sau:

- Trong quá trình khởi động, dòng điện mở máy của động cơ điện tăng cao có thể làm giảm độ tin cậy tác động của bảo vệ. Mặt khác, đặc tính khởi động của động cơ điện phụ thuộc nhiều vào điện áp của lưới điện vì vậy cần xét đến sự dịch chuyển đặc tính do thay đổi điện áp;

- Đặc tính của khí cụ điện chuyển mạch như MCCB thường có phạm vi rộng, vì vậy cần xác định rõ giới hạn để đảm bảo khả năng chọn lọc về thời gian bảo vệ.

Nhiều thiết kế thực tế đòi hỏi mô phỏng về kỹ thuật với phương pháp mô hình và chạy thử nghiệm sơ đồ để đánh giá và xác nhận sự phối hợp của các rơ le bảo vệ được sử dụng. ETAP là phần mềm phân tích quá độ điện dùng để mô phỏng và mô hình hóa mạng điện ở chế độ động và phối hợp bảo vệ trong sơ đồ. Ứng dụng phần mềm ETAP để phối hợp bảo vệ rơ le đã nhận được nhiều sự quan tâm và được đề cập rộng rãi trong các nghiên cứu. Bài báo [3] trình bày kết quả phối hợp bảo vệ quá dòng điện cho xuất tuyến hình tia trong sơ đồ cung cấp điện của nhà máy điện. Trong [4], công suất và vị trí của nguồn phân tán đã được xác định với điều kiện là không những không gây ra vi phạm về thông số điện áp, tổn thất trên lưới mà còn duy trì sự phối hợp của hệ thống bảo vệ. Phân tích phối hợp bảo vệ dựa trên cấu trúc thời gian thực của lưới điện phân phối dựa trên tiêu chuẩn IEEE 242-2001 [5] đã được giới thiệu trong [6]. Với sơ đồ nghiên cứu dựa trên tiêu chuẩn này, nhiều yếu tố khác nhau đã được đánh giá như biên độ của dòng điện và đặc tính chọn lọc của các phần tử. Tuy nhiên, nghiên cứu chưa mô tả rõ tính toán giá trị chỉnh định cho các phần tử bảo vệ trên sơ đồ và sự phối hợp chi tiết trên đặc tính.

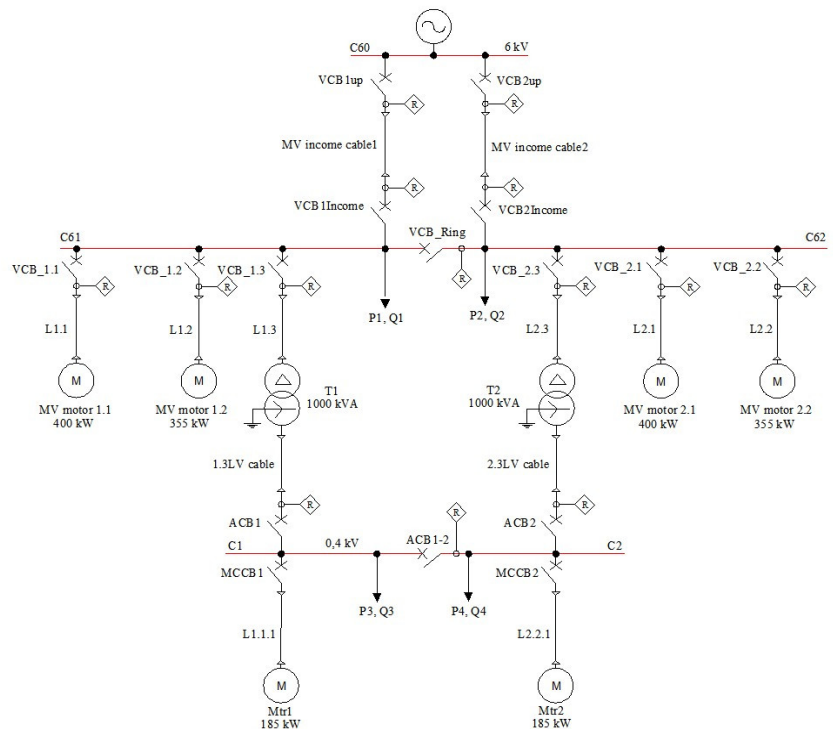
Việc thiết kế hệ thống bảo vệ cho các sơ đồ cung cấp điện có động cơ điện đã được đề cập rộng rãi trong nhiều tài liệu về bảo vệ rơ le. Tuy nhiên, với một sơ đồ cung cấp điện điển hình cho động cơ điện, đóng góp chính của nghiên cứu này là phối hợp tác động của các bảo vệ khác nhau có xét đến đặc tính quá dòng của các phần tử và đặc tính khởi động của động cơ điện. Chức năng phối hợp bảo vệ với độ tin cậy cao trên phần mềm ETAP cho phép xác nhận trực quan trên đồ thị

trong điều kiện đặc tính quá dòng của thiết bị là một dải và đặc tính khởi động của động cơ điện phụ thuộc vào điện áp cung cấp.

Phần tiếp theo của bài báo được bố cục như sau: sơ đồ cung cấp điện từ nguồn tới phụ tải hạ áp được giới thiệu trong mục 2. Mục 3 giới thiệu sơ đồ mô phỏng cho hệ thống cung cấp điện trên phần mềm ETAP, lựa chọn và phối hợp bảo vệ rơ le cho các động cơ điện công suất lớn. Cuối cùng là một số kết luận được đưa ra trong mục 4.

2. SƠ ĐỒ LƯỚI ĐIỆN NGHIÊN CỨU

Xét sơ đồ lưới điện cung cấp cho động cơ điện như trên hình 1. Sơ đồ có cấu trúc một hệ thống thanh góp có phân đoạn ở cấp điện áp 6kV, mỗi phân đoạn được cung cấp điện thông qua máy cắt điện VCB. Các mạch ra của phân đoạn thanh góp cung cấp cho các động cơ điện ở cấp điện áp 6kV có công suất lớn (thường lớn hơn 200kW) hoặc các phụ tải hạ áp thông qua các máy biến áp phân phối. Sơ đồ thiết bị phân phối phía hạ áp của máy biến áp cũng có cấu trúc một hệ thống thanh góp có phân đoạn để cung cấp cho các phụ tải hạ áp, trong đó có các động cơ điện công suất thấp hơn (nhỏ hơn hoặc bằng 200kW). Các mạch tổng sau máy biến áp và phân đoạn đều sử dụng ACB có trang bị bảo vệ rơ le với chức năng quá dòng, tín hiệu đầu vào là các dòng điện được đo bởi các máy biến dòng điện tại các mạch tương ứng. Các máy cắt phân đoạn thanh góp ở trạng thái thường mở.



Hình 1. Sơ đồ lưới điện nghiên cứu

Như vậy, phối hợp bảo vệ cần được thực hiện:

- Bảo vệ của mạch có xét đến đặc tính khởi động của động cơ điện của mạch tương ứng;
- Bảo vệ cho các nhánh ra và nhánh vào chính của thanh góp trung áp, hạ áp có xét tới bảo vệ của máy cắt phân đoạn thanh góp.

3. THIẾT KẾ SƠ ĐỒ VÀ BẢO VỆ

Từ sơ đồ hình 1, các phần tử được lựa chọn và tính toán thông số cài đặt cho các rơ le, thực hiện mô phỏng sơ đồ trên phần mềm ETAP và tiến hành phối hợp giữa các bảo vệ. Các thông số chính của sơ đồ được cho trong phụ lục.

3.1. Bảo vệ rơ le của sơ đồ

Sơ đồ cung cấp điện hiện nay thường sử dụng rơ le số đa chức năng, trong đó chức năng bảo vệ sẽ được kích hoạt và cài đặt thông số phù hợp với từng đối tượng được bảo vệ. Đối với các động cơ điện công suất lên đến vài MW có thể cần sử dụng kết hợp các chức năng bảo vệ nhiệt và bảo vệ điện áp thấp bên cạnh chức năng cơ bản là quá dòng điện cắt nhanh và quá dòng điện có thời gian [7].

Chức năng bảo vệ với đường đặc tính thời gian phụ thuộc (IDMT) có thể được lựa chọn tùy theo thời gian tác động yêu cầu và đặc tính tác động của các bảo vệ trong sơ đồ lưới điện. Tiêu chuẩn IEC 60255-151 [8] xác định một số đường đặc tính tiêu chuẩn IDMT, gồm có: đặc tính có độ dốc tiêu chuẩn (standard inverse), rất dốc (very inverse), cực dốc (extremely inverse), dốc với thời gian trễ lớn (long time inverse) và thời gian trễ xác định (definite time). Để đảm bảo tính thống nhất, bảo vệ quá dòng cắt nhanh (50/50N) sẽ được lựa chọn với đường đặc tính có thời gian trễ xác định theo từng cấp thời gian phối hợp từ phía phụ tải sau cùng; đường đặc tính IDMT rất dốc sẽ được lựa chọn với bảo vệ quá dòng có đặc tính thời gian phụ thuộc (51/51N) xác định như sau:

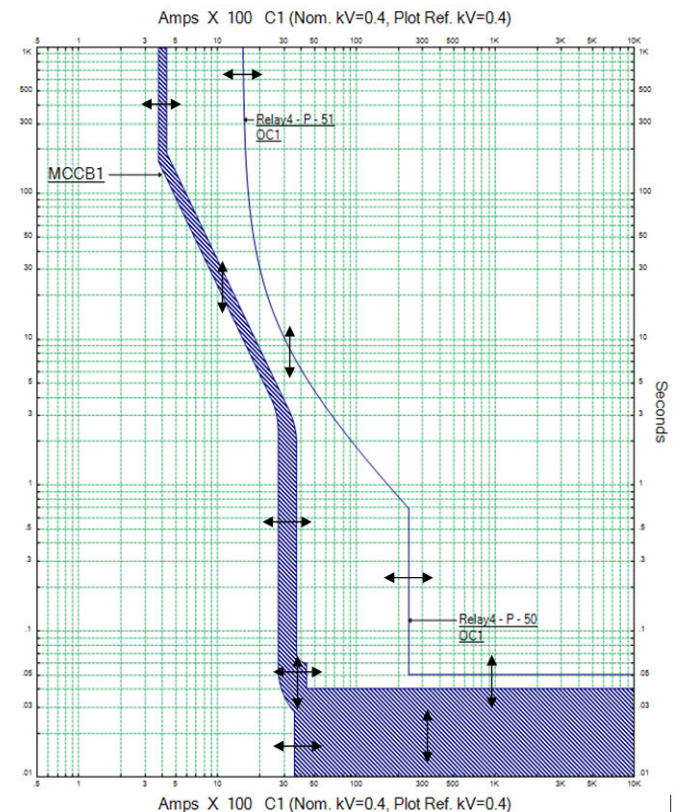
$$t = TMS \cdot \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_r} - 1\right)} \quad (1)$$

trong đó: t (s) là thời gian tác động của rơ le, TMS (s) là hệ số nhân thời gian, I là dòng điện rơ le đo được và I_r (kA) là dòng điện khởi động của rơ le quá dòng.

Dòng điện khởi động của rơ le quá dòng có thể được tính toán bằng 105 - 125% dòng định mức của phụ tải [5, 9]. Trong khi đó, TMS được điều chỉnh để đảm bảo khả năng phối hợp theo cấp thời gian giữa các rơ le trong sơ đồ.

Đối với các MCCB có bộ phận bảo vệ điện tử được tích hợp trang bị rơ le quá dòng, đặc tính gồm các vùng có thể

thay đổi linh hoạt. Hình 2 thể hiện đặc tính dòng điện - thời gian của rơ le và MCCB.



Hình 2. Đặc tính đặc trưng của rơ le quá dòng và MCCB

Các giá trị cần tính toán cài đặt của MCCB bao gồm:

+ Ngưỡng tác động quá dòng I_r phải lớn hơn dòng lớn nhất của phụ tải I_b ; thời gian trễ t_r (s) được điều chỉnh để đảm bảo tác động đúng;

+ Ngưỡng khởi động khi có sự cố ngắn mạch cần phối hợp với dòng khởi động của động cơ điện ($I_{sd} = k_1 \cdot I_r$) và đảm bảo ngưỡng cắt nhanh phải lớn hơn dòng lớn nhất ngắn hạn trong nửa chu kỳ đầu tiên của quá trình khởi động ($I_i = k_2 \cdot I_n$).

+ Ngoài ra, bảo vệ chạm đất được chọn với ngưỡng khởi động khoảng 20% dòng định mức của MCCB và tác động trong vòng 10ms.

3.2. Phối hợp bảo vệ động cơ điện

Các bảo vệ có thể phối hợp với nhau theo phân cấp thời gian với đặc tính độc lập, hoặc phụ thuộc, ở đó độ trễ thời gian (time margin) giữa các đặc tính của các rơ le phải phù hợp [5]. Để đảm bảo tác động loại trừ sự cố chính xác, tin cậy, các bảo vệ được bố trí phối hợp với nhau theo 3 cấp thời gian:

+ Cấp 1: bảo vệ 50/50N gần điểm sự cố nhất tác động nhanh gần như tức thời hoặc với thời gian rất nhỏ đã xác định;

+ Cấp 2: có thể là bảo vệ 51/51N ($I >$) đóng vai trò là “dự phòng” cho bảo vệ 50/50N cấp 1 hoặc là bảo vệ 50/50N phía trước nó trên sơ đồ sẽ tác động với thời gian trễ;

+ Cấp 3: có thể là bảo vệ 51/51N của bảo vệ phía trước nó trên sơ đồ, tùy theo tính chất của mạch.

a) Thiết lập đặc tính khởi động của động cơ điện

Một trong những đặc điểm khác biệt của phụ tải động cơ điện so với phụ tải khác đó là quá trình khởi động với thời gian dài, dòng điện lớn và phụ thuộc vào điện áp đầu cực. Trong điều kiện làm việc bình thường, nếu điện áp đầu cực giảm 10% thì dòng điện khởi động giảm 10% nhưng mô-men khởi động giảm 19% khiến thời gian khởi động lâu hơn. Khi tính toán bảo vệ cho động cơ điện nhất thiết phải xét đến đặc tính khởi động của động cơ điện tương ứng với các mức điện áp đầu cực là 80%, 100% và 110% điện áp định mức kết hợp với giới hạn về nhiệt độ khi khởi động theo cấp cách điện của động cơ điện [10].

b) Bảo vệ quá dòng cho động cơ điện trung áp

Bảo vệ quá dòng có thời gian (51) được sử dụng nhằm tránh dòng điện tăng cao khi làm việc quá tải, hạn chế ảnh hưởng tới cách điện của động cơ điện, hệ số quá tải cho phép thường không vượt quá 1,1. Dòng khởi động ($I >$) được tính theo công thức sau:

$$I_r = \frac{1,1 \cdot I_{nM}}{n_{CT}} \quad (2)$$

trong đó, I_{nM} là dòng định mức động cơ điện, n_{CT} là tỉ số của biến dòng đầu vào của rơ le.

Hệ số nhân thời gian (TMS), được điều chỉnh sao cho đặc tính quá dòng của rơ le nằm trên và gần sát đặc tính khởi động của động cơ điện ở mức điện áp 110% và nằm dưới đường (điểm) khởi động nóng. Độ chênh lệch thời gian giữa đường đặc tính của rơ le và của động cơ điện khoảng 10 - 20% thời gian khởi động của động cơ điện.

Bảo vệ quá dòng cắt nhanh (50) có dòng khởi động của bảo vệ cắt nhanh được xác định theo công thức:

$$I_i = \frac{1,3 \cdot I_{mm} \cdot k_{kdb}}{n_{CT}} \quad (3)$$

với I_{mm} là dòng mở máy của động cơ điện và k_{kdb} là hệ số không đồng bộ của động cơ điện.

Đặc tính thường được lựa chọn có độ trễ thời gian xác định (Definite time) với độ trễ thời gian (Time Dial) thường được chọn 20ms.

c) Bảo vệ cho động cơ điện hạ áp

Các MCCB có sử dụng các khối rơ le điện tử tích hợp có thể bảo vệ quá tải và ngắn mạch động cơ điện. Đường

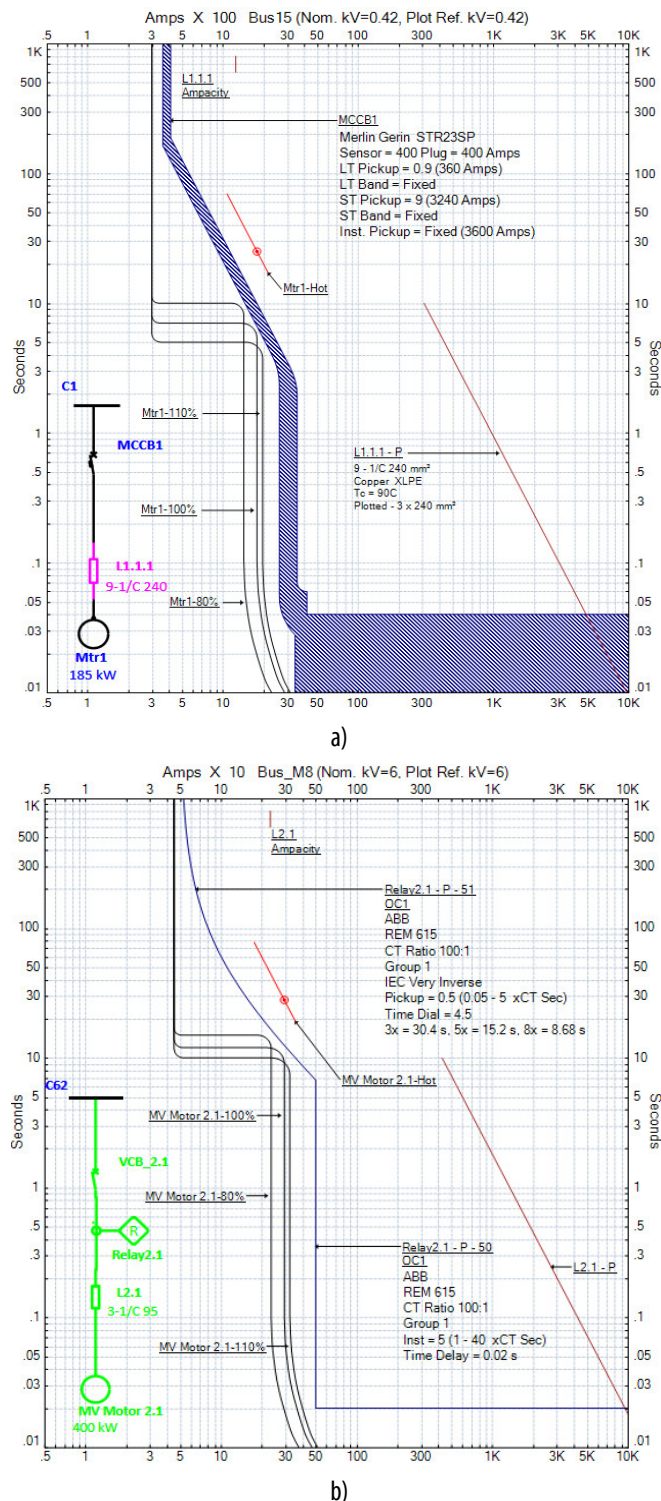
đặc tính của rơ le phải nằm trên đặc tính khởi động và nằm dưới đặc tính giới hạn nhiệt của động cơ điện. Đặc tính của rơ le có thể được điều chỉnh linh hoạt với dòng khởi động bảo vệ quá tải trong khoảng từ 115 - 140% dòng định mức động cơ điện; ngưỡng khởi động bảo vệ ngắn mạch từ 165 - 250% dòng khởi động của động cơ điện [9].

Bên cạnh đó, bảo vệ chạm đất cũng được lựa chọn trang bị cho động cơ điện do tỉ lệ sự cố luôn ở mức cao (~75%). Ngưỡng khởi động cho 51N khoảng 10% dòng định mức cho động cơ điện trung áp và 20% dòng định mức cho động cơ điện hạ áp, TMS thường được chọn 0,1s hoặc điều chỉnh đảm bảo phối hợp. Trong khi đó, ngưỡng khởi động cho 50N thường là 100% dòng định mức và Time Dial khoảng 100ms.

Để phục vụ mô phỏng trong nghiên cứu này, các rơ le họ 615 của ABB được lựa chọn, trong đó REM 615 dùng cho các bảo vệ động cơ điện, và REF 615 dùng cho các mạch còn lại. Riêng đối với các động cơ điện hạ áp dùng MCCB NHJ400N của Merlin Gerin sẵn có trong thư viện của phần mềm ETAP. ETAP cũng cung cấp một công cụ để xây dựng đặc tính cho các rơ le hay ACB, MCCB không có trong thư viện, điều này đảm bảo khả năng ứng dụng cao trong giải quyết các bài toán thực tế [11].

Hình 3 thể hiện kết quả phối hợp bảo vệ cho động cơ điện phía hạ áp (a) và động cơ điện phía trung áp (b). Có thể nhận thấy, đặc tính khởi động của động cơ điện dịch chuyển dịch theo hướng tăng thời gian khởi động khi điện áp giảm và tăng dòng điện khởi động khi điện áp tăng. Hơn nữa độ chênh giữa thời gian cắt nhỏ nhất và thời gian cắt lớn nhất theo đặc tính của MCCB có thể ảnh hưởng đến cấp chọn lọc về thời gian theo tính toán chỉnh định ban đầu theo phương pháp truyền thống, đặc biệt là với vùng cắt tức thời. Vì vậy, chức năng phối hợp bảo vệ trên mạch ETAP đã được sử dụng để hỗ trợ điều chỉnh cài đặt và biểu diễn đặc tính trên đồ thị, lựa chọn đặc tính quá dòng phù hợp nhất của thiết bị bảo vệ đảm bảo thời gian tác động và cấp chọn lọc về thời gian.

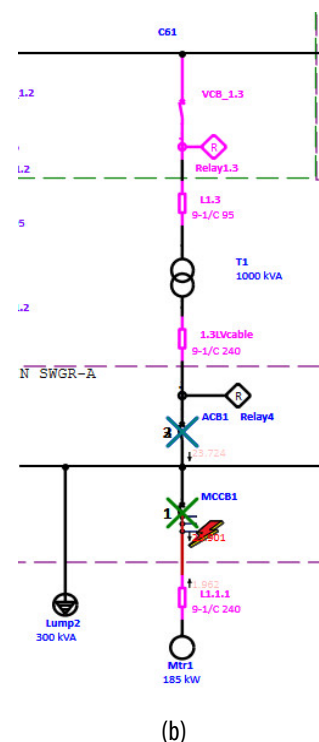
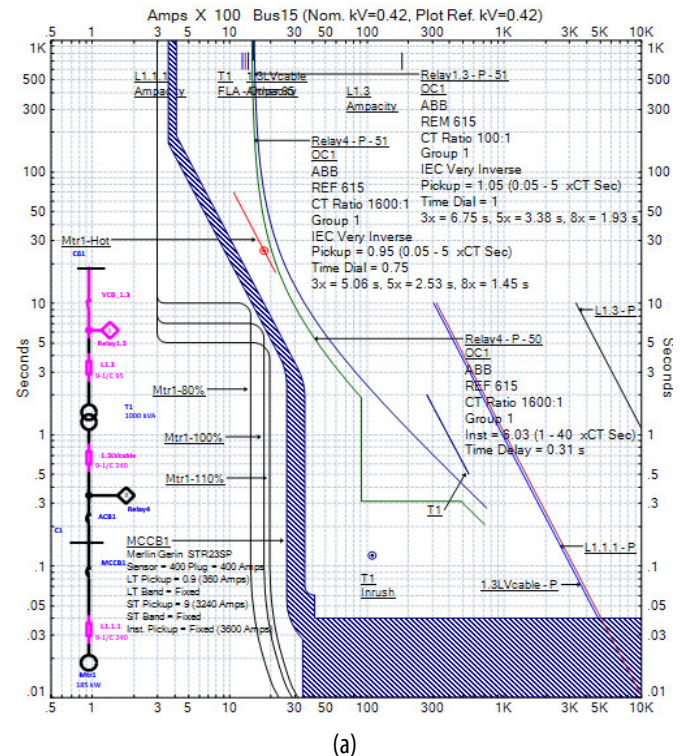
Theo phương thức vận hành của sơ đồ, trong điều kiện vận hành bình thường các phụ tải được cấp điện theo mạch chính hình tia từ nguồn tới qua các hệ thống thanh góp. Khi mạch chính cấp vào từng thanh góp bị mất điện thì các phụ tải cần được duy trì cấp điện từ mạch dự phòng qua các máy cắt phân đoạn thanh góp. Do vậy các bảo vệ rơ le cần được tính toán và phối hợp đảm bảo sơ đồ luôn làm việc tin cậy và an toàn. Dựa trên các phân tích về lý thuyết, các thông số cài đặt được tính toán và phối hợp theo trình tự từ cuối sơ đồ trở về đầu nguồn.



Hình 3. Phối hợp đặc tính của bảo vệ rơ le, đặc tính khởi động động cơ điện:
(a) bảo vệ động cơ điện hạ áp, (b) bảo vệ động cơ điện trung áp

Thực hiện phối hợp bảo vệ cho nhánh máy biến áp hạ áp cấp điện cho động cơ điện Mtr1, kết quả phối hợp các bảo vệ từ thanh góp trung áp C61 tới nhánh bảo vệ động cơ điện Mtr1 cho thấy các đường đặc tính đều thỏa mãn điều kiện chung (hình 4 (a)). Giả lập sự cố sau MCCB1 cho thấy trình tự cắt của MCCB1 và ACB1 hoàn toàn phù hợp

(hình 4 (b)). Tiến hành phân tích bản ghi sự kiện xác định trình tự làm việc của các bảo vệ ta có thể thấy bảo vệ cấp 1 là bảo vệ 50 của MCCB1, cấp 2 và cấp 3 tương ứng là bảo vệ 50 và 51 của ACB1 đầu vào thanh góp hạ áp C1. Thời gian tương ứng các cấp bảo vệ là 0,040s - 0,320s - 0,703s. Trường hợp các bảo vệ phía hạ áp không làm việc thì bảo vệ 51 phía đầu vào trung áp máy biến áp sẽ tác động, máy cắt VCB_1.3 cắt ở 0,975s (hình 4 (c)).

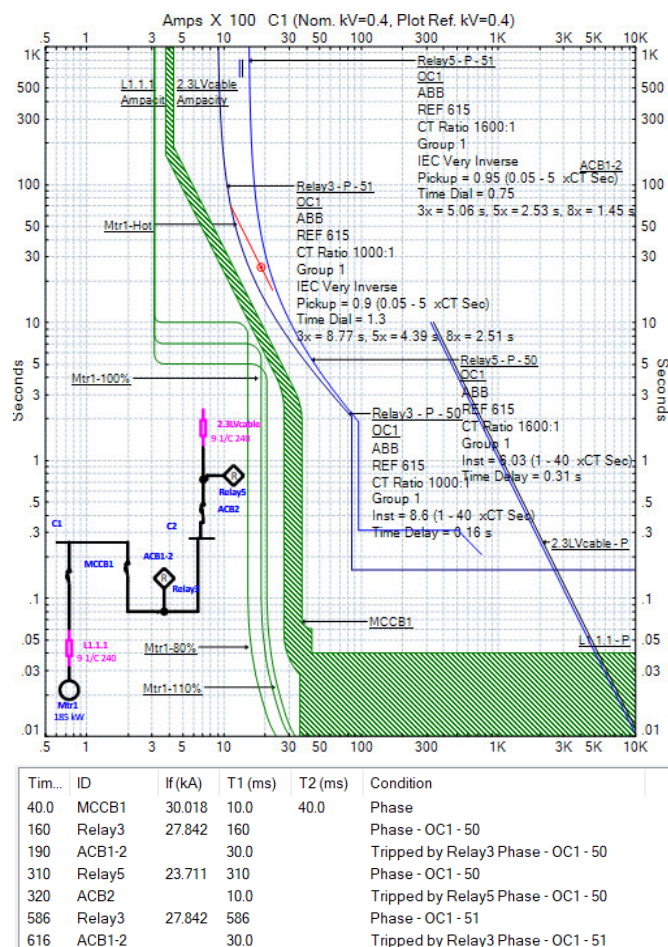
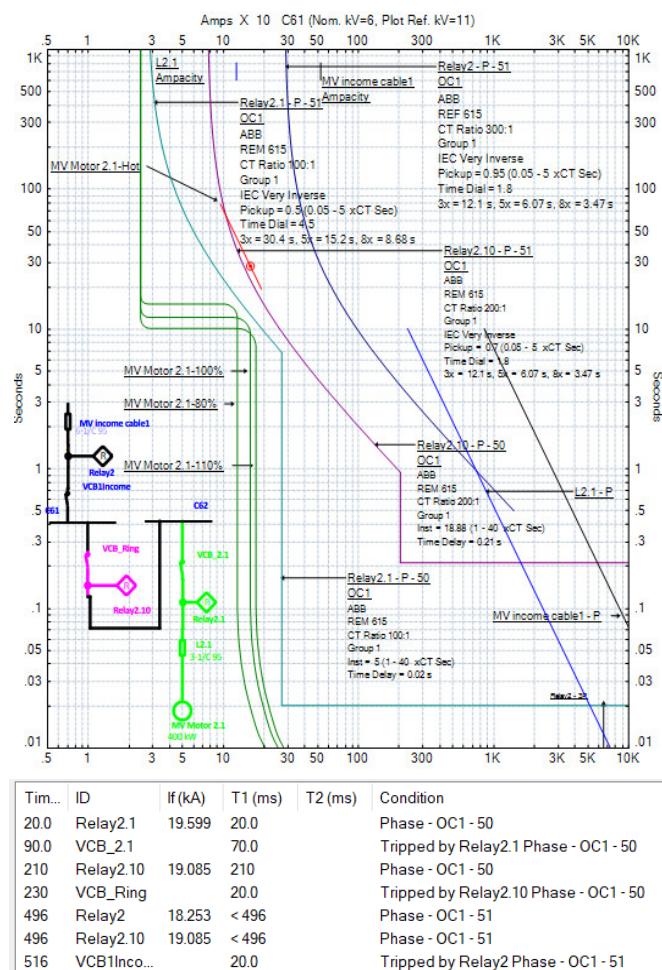


Tim...	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
40.0	MCCB1	25.901	10.0	40.0	Phase
310	Relay4	23.724	310		Phase - OC1 - 50
320	ACB1		10.0		Tripped by Relay4 Phase - OC1 - 50
693	Relay4	23.724	693		Phase - OC1 - 51
703	ACB1		10.0		Tripped by Relay4 Phase - OC1 - 51
955	Relay1.3	1.589	955		Phase - OC1 - 51
975	VCB_1.3		20.0		Tripped by Relay1.3 Phase - OC1 - 51

(c)

Hình 4. Trình tự tác động của rơ le và các thiết bị đóng cắt với sự cố ngắn mạch sau MCCB1

Với giả thiết mạch chính mất điện, hình 5 thể hiện phối hợp bảo vệ cho các động cơ điện trung áp và hạ áp khi chúng được cấp điện từ mạch dự phòng qua máy cắt phân đoạn. Kết quả phối hợp các bảo vệ cho thấy các đường đặc tính đều thỏa mãn điều kiện chung. Khi giả lập sự cố trước đầu cực các động cơ điện đều chỉ ra trình tự cắt của thiết bị đóng cắt phù hợp với 3 cấp thời gian. Lúc này cấp 1 chính là bảo vệ 50 của mạch động cơ điện, cấp 2 là bảo vệ 50 của máy cắt phân đoạn. Với mạch trung áp, bảo vệ đầu vào thanh góp C61 không có bảo vệ 50 nên cấp 3 là bảo vệ 51, trong khi đó với mạch hạ áp thì cấp 3 là bảo vệ 50 của bảo đầu vào thanh góp hạ áp C2.



Hình 5. Phối hợp rơ le bảo vệ khi vận hành máy cắt phân đoạn

4. KẾT LUẬN

Các động cơ điện công suất lớn phía trung áp và hạ áp trong sơ đồ cung cấp điện tự dùng đã được trang bị bảo vệ phù hợp gồm có chức năng bảo vệ quá dòng làm bảo vệ chính. Phối hợp bảo vệ được thực hiện theo 3 cấp thời gian, đảm bảo các phần tử được bảo vệ và sơ đồ làm việc tin cậy.

Thông số cài đặt cho các bảo vệ đã xem xét tới điều kiện làm việc quá tải, ngắn mạch và đặc biệt là điều kiện khởi động của các động cơ điện tương ứng với các trường hợp thay đổi điện áp đầu cực. Kết quả phối hợp đặc tính của bảo vệ nằm trên đường đặc tính khởi động và nằm dưới đặc tính về nhiệt của động cơ điện đảm bảo tác động chính xác. Các MCCB bảo vệ cho động cơ điện hạ áp có sai số tác động lớn hơn các rơ le số có thể gây khó khăn khi điều chỉnh phối hợp thời gian với các bảo vệ khác. Khó khăn cũng gặp phải khi phối hợp các bảo vệ trong nhiều phương thức vận hành khác nhau. Phần mềm ETAP có thể hỗ trợ trong phối hợp và điều chỉnh thông số cài đặt phù hợp, giảm khối lượng tính toán và thời gian thực hiện, đảm bảo kết quả phối hợp được tin cậy.

PHỤ LỤC

Thông số của dây dẫn: các đoạn dây dẫn: 3 x 95mm² (phía cao áp) và 3 x 240mm² (phía hạ áp); chiều dài của các đoạn là: 550m (MV income cable1, MV income cable2); 372m (L1.1, L2.1); 185m (L1.2, L2.2); 852m (L1.3, L2.3); 20m (1.3LV cable, 2.3LV cable, L1.1.1, L2.2.1).

Bảng 1. Thông số định mức của máy biến áp

S_{dm} , kVA	U_n %	U_{dmSC} , kV	U_{dmTC} , kV	Tổ nối dây
1000	5%	6,6	0,42	Δ/Y_0-1

Bảng 2. Thông số của động cơ điện

STT	U_{dm} , kV	P_{dm} , kW	$\cos\phi$	Số cực
MV motor 1.1, MV motor 2.1	6	400	0,92	6
MV motor 1.2, MV motor 2.2	6	355	0,90	6
Mtr1, Mtr2	0,4	185	0,92	4

Bảng 3. Thông số cài đặt của các rơ le theo mạch phối hợp

Tên rơ le	CT	$I >$ (p.u)	TMS (s)	$I >>$ (p.u)	DT (s)
Relay1.3	100/1	1,05	1,0	-	-
Relay4; Relay 5	1600/1	0,95	0,75	6,03	0,31
Relay1.1	100/1	0,5	5,5	5,5	0,02
Relay3	1000/1	0,9	1,3	8,6	0,16
Relay2.1	100/1	0,5	4,5	5,0	0,02
Relay2.10	200/1	0,7	1,8	18,88	0,21
Relay2	300/1	0,95	1,8	-	-

Bảng 4. Thông số Trip device của MCCB

SST model	I_r (A)	LT pickup (A)	ST pickup (A)	Inst. Pickup (A)	Min delay (s)
STR23SP	400	360	3240	3600	0,01

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. K. A. Lee, Y. M. Cho, H. J. Lee, "Circuit Model and Analysis of Molded Case Circuit Breaker Interruption Phenomenon," *Electronics*, 9, 12: 2047 2020. doi: 10.3390/electronics9122047.
- [2]. Q. T. Đào, V. H. Phạm, *Phần điện trong nhà máy điện và trạm biến áp*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2005.
- [3]. H. A. Patel, V. M. Sharma, A. Deshpande, "Relay Coordination using ETAP," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 6, 5, 1583-1588, 2015.
- [4]. C. V. S. S. Sailaja, P. V. N. Prasad, "Determination of optimal distributed generation size for losses, protection co-ordination and reliability Evaluation Using ETAP," in *2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE)*, IEEE, 1-6, 2016.
- [5]. I. S. 242-2001, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.
- [6]. J. D. Pico, D. Celeita, G. Ramos, "Protection coordination analysis under a real-time architecture for industrial distribution systems based on the Std IEEE 242-2001," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 52, 4, 2826-2833, 2016.
- [7]. Đ. L. Trần, *Bảo vệ các hệ thống điện*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2000.
- [8]. IEC 60255-151:2009. Measuring relays and protection equipment - Part 151: Functional requirements for over/under current protection.
- [9]. IEEE Guide for AC Motor Protection, *IEEE Std C37.96-2012 (Revision IEEE Std C37.96-2000)*, 1-160, 2013. doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6468048.
- [10]. IEEE Standard Test Procedure For Thermal Evaluation Of Systems Of Insulating Materials For Random-Wound AC Electric Machinery.
- [11]. ETAP 16.2 User Guide.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Phuc Huy, Ma Thi Thuong Huyen, Vu Hoang Giang

Faculty of Electrical Engineering, Electric Power University, Vietnam