

ỨNG DỤNG MATLAB-SIMULINK XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG MẠNG HẠ ÁP MỎ HẦM LÒ

Đỗ Văn Vang^{1,*}, Bùi Duy Khuông¹, Trần Thị Thu Lan¹

¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

*Email: vangdkh1@qui.edu.vn

TÓM TẮT

Theo nghị quyết số 55-NQ/TW ngày 11 tháng 02 năm 2020 của Bộ Chính trị về định hướng Chiến lược phát triển năng lượng quốc gia của Việt Nam thì vấn đề sử dụng năng lượng tiết kiệm, hiệu quả, bảo vệ môi trường phải được xem là quốc sách quan trọng. Đối với các ngành công nghiệp nặng như khai thác mỏ, các phụ tải của mạng hạ áp có công suất lớn, chiều dài của mạng thường xuyên thay đổi trong quá trình khai thác vì vậy để đảm bảo cho phụ tải làm việc ổn định, an toàn, cần khuyến khích đầu tư sử dụng các công nghệ, trang thiết bị tiết kiệm năng lượng. Trong quá trình mở rộng quy mô khai thác, cùng với sự nâng cao năng suất, chiều dài lò chợ tăng, công suất của phụ tải tăng làm cho một loạt các thông số của mạng thay đổi, gây ảnh hưởng tới khả năng cung cấp của mạng điện. Để có thể tính toán, đánh giá một cách trực quan mạng hạ áp mỏ hầm lò khi thông số của mạng thay đổi, bài báo ứng dụng Matlab-Simulink xây dựng mô hình mô phỏng mạng hạ áp mỏ hầm lò. Kết quả của mô hình mô phỏng này có thể linh hoạt đánh giá hiện trạng mạng hạ áp hầm lò có cấu hình khác nhau, trên cơ sở kết quả tính toán có thể đưa ra các giải pháp vận hành hợp lý đối với mạng hạ áp mỏ cả về phương diện quản lý, kinh tế và kỹ thuật.

Từ khóa: Mô hình hoá, cơ giới hoá, mạng hạ áp mỏ, tổ hợp thiết bị.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

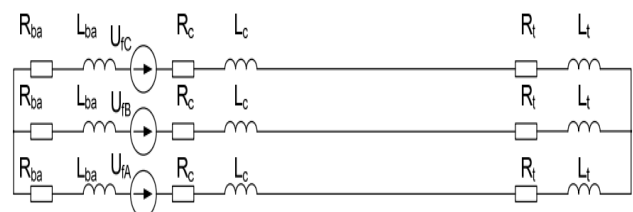
Đối với các mạng điện hạ áp mỏ hầm lò, do tiến độ khai thác thay đổi mà chiều dài mạng luôn phải thay đổi theo. Điều này làm cho mạng hạ áp đôi khi không đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật đặt ra [1], [3], [4], [8], [9]. Trong quá trình vận hành mạng hạ áp mỏ hầm lò, khi chiều dài mạng và số thiết bị đấu vào mạng tăng sẽ làm cho chế độ làm việc của máy biến áp thay đổi, đồng thời các loại tổn hao trong mạng cũng thay đổi theo [4]. Hiện nay, có rất nhiều các công trình nghiên cứu sử dụng Matlab - Simulink để mô phỏng các thiết bị đóng cắt, các bài toán về an toàn điện giật, an toàn tia lửa, nhưng chưa có một nghiên cứu nào nghiên cứu đánh giá tổng quan về tình trạng làm việc mạng hạ áp mỏ hầm lò [6], [7]. Để có thể đánh giá tình trạng làm việc của mạng hạ áp và định hướng tìm ra các giải pháp để đảm bảo sự ổn định, nâng cao hiệu quả sử dụng điện năng, trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng Matlab - Simulink xây dựng mô hình mô phỏng mạng hạ áp mỏ hầm lò công ty than Thống Nhất.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

Mạng hạ áp mỏ hầm lò là mạng trung tính cách ly. Khi xây dựng mô hình mô phỏng ta coi mạng hạ áp này là ba pha đối xứng, bỏ qua các phần tử đóng cắt bảo vệ. Các phần tử chính sử dụng trong mô hình là: máy biến áp, cáp hạ áp, phụ tải (động cơ) [2], [4].

Sơ đồ mạng hạ áp đơn giản được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ mạng hạ áp đơn giản

Trong đó:

R_{ba} , R_c , R_t – Điện trở của máy biến áp, cáp, phụ tải;

L_{ba} , L_c , L_t – Điện cảm của máy biến áp, cáp, phụ tải.

2.2. Mô hình toán học của máy biến áp

Máy biến áp là nguồn cung cấp chính cho động cơ thông qua mạng cáp. Khi máy biến áp làm

việc, bản thân máy biến áp có các loại tổn thất sau [4], [9]:

Tổn thất công suất trong máy biến áp:

$$\Delta P_T = \Delta P_0' + \Delta P_n' \left(\frac{S_{pt}}{S_{dm}} \right)^2 \quad (1.1)$$

Trong đó:

$$\Delta P_0' = \Delta P_0 + k_{kt} \cdot \Delta Q_0; \Delta P_n' = \Delta P_n + k_{kt} \cdot \Delta Q_n$$

$$\Delta Q_0 = S_{dm} \left(\frac{i_0 \%}{100} \right); \Delta Q_n = S_{dm} \left(\frac{u_n \%}{100} \right)$$

ΔP_0 – Tổn thất công suất tác dụng không tải, kW;

ΔP_n – Tổn thất công suất ngắn mạch, kW;

S_{dm} – Công suất định mức của máy biến áp, kVA;

S_{pt} – Công suất thực tế của phụ tải, kVA;

ΔQ_0 – Công suất phản kháng không tải để từ hoá máy biến áp, kVAR;

ΔQ_n – Tổn thất công suất phản kháng khi ngắn mạch, kVAR;

$i_0\%$ – Dòng điện không tải của máy biến áp, %;

$u_n\%$ – Điện áp ngắn mạch của máy biến áp, %;

k_{kt} – Suất tổn thất công suất tác dụng đối với 1 đơn vị tổn thất công suất phản kháng kW/kVAR (đối với xí nghiệp công nghiệp $k_{kt} = 0,07$).

Tổn hao năng lượng trong máy biến áp là:

$$\Delta A_T = \Delta P_0' \cdot t + \Delta P_n' \left(\frac{S_{pt}}{S_{dm}} \right)^2 \cdot \tau \quad (1.2)$$

$$\tau = \left(0,124 + T_{\max} \cdot 10^{-4} \right)^2 \cdot 8760 \quad (1.3)$$

Trong đó:

t – Thời gian vận hành máy biến áp;

τ – Thời gian chịu tổn thất công suất lớn nhất.

$T_{\max}$ – Thời gian sử dụng công suất cực đại trong một năm, $T_{\max} = 5000 - 7000h$.

Phụ tải tính toán của máy biến áp:

$$S_{tt} = \frac{k_{yc} \cdot \sum_{i=1}^n P_{dmi}}{\cos \varphi_{tb}}, kVA \quad (1.4)$$

$\sum_{i=1}^n P_{dmi}$ – Tổng công suất định mức của các

phụ tải đầu vào máy biến áp khu vực, kW;

K_{yc} – Hệ số yêu cầu của nhóm phụ tải

Nếu phụ tải trong nhóm $4 < n < 20$ thì:

$$k_{yc} = 0,43 + 0,57 \frac{P_{dm\max}}{\sum_{i=1}^n P_{dmi}} \quad (1.5)$$

Nếu phụ tải trong nhóm $n > 20$ thì:

$$k_{yc} = 0,29 + 0,71 \frac{P_{dm\max}}{\sum_{i=1}^n P_{dmi}} \quad (1.6)$$

Trong đó:

$P_{dm\max}$ – Công suất của phụ tải lớn nhất đầu vào máy biến áp khu vực;

$\cos \varphi_{tb}$ – hệ số công suất trung bình của nhóm phụ tải.

$P_{dmi}, \cos \varphi_{tti}$ – Công suất định mức và hệ số công suất thực tế của phụ tải thứ i.

Hệ số mang tải của máy biến áp:

$$k_{mt} = \frac{S_{pt}}{S_{dm\max}} \quad (1.7)$$

2.3. Mô hình toán học mạng cáp hạ áp hàm lò

Mạng cáp hạ áp mở hàm lò trước khi đưa vào vận hành cần thoả mãn các điều kiện về: dòng nung nóng cho phép; tổn hao hao điện áp khi mạng làm việc bình thường; điều kiện làm việc ổn định của các động cơ khi trong mạng có động cơ công suất lớn nhất mở máy [3].

2.3.1. Mô hình toán học mạng hạ áp theo điều kiện dòng nung nóng

Dòng tính toán chạy trên cáp cấp cho một động cơ:

$$I_{tt} = I_{dm} = \frac{P_{dm} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{dm} \cdot \cos \varphi_{dm} \cdot \eta_{dm}}, A \quad (1.8)$$

Dòng tính toán chạy trên cáp cấp cho nhiều động cơ:

$$I_{tt} = \frac{k_{yc} \cdot \sum P_{dm} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{dm} \cdot \cos \varphi_{tb}}, A \quad (1.9)$$

Trong đó:

P_{dm} – Công suất định mức của phụ tải, KW;

ΣP_{dm} – Tổng công suất định mức của nhóm phụ tải, KW;

U_{dm} – Điện áp định mức mạng, V;

η_{dm} , $\cos \varphi_{dm}$ – Hiệu suất định mức và hệ số công suất định mức của động cơ.

2.3.2. Mô hình toán học mạng hạ áp hàm lò theo điều kiện tổn hao điện áp khi mạng làm việc bình thường

Theo qui phạm, để phụ tải làm việc ổn định thì độ lệch điện áp không vượt quá -5% và +10% đối với động cơ xoay chiều [3], [5]. Tổn hao điện áp cho phép của mạng được xác định:

$$\Delta U_{cpm} = U_{dte} - 95\% U_{dm} \quad (1.10)$$

Trong đó:

U_{dte} – Điện áp đầu ra phía thứ cấp của máy biến áp;

U_{dm} – Điện áp định mức của phụ tải.

Tổn hao điện áp cho phép trong mạng 660V là:

$$\Delta U_{cpm} = 690 - \frac{95}{100} \cdot 660 = 63V$$

Theo điều kiện vận hành, tiết diện của cáp trong mỏ hàm lò không được vượt quá 120 mm². Để mạng làm việc bình thường thì tổng tổn hao điện áp trong mạng phải thỏa mãn điều kiện sau [3], [5]:

$$\sum \Delta U = \Delta U_{ba} + \Delta U_{cc} + \Delta U_{cm} \leq \Delta U_{cpm} \quad (1.11)$$

Trong đó:

ΔU_{ba} – Tổn hao điện áp trong máy biến áp, V;

ΔU_{cc} – Tổn hao điện áp trên cáp chính, V;

ΔU_{cm} – Tổn hao điện áp trên cáp mềm, V.

$$\Delta U_{ba} = \frac{\Delta U_{ba} \%}{100} \cdot U_{2dm}, V \quad (1.12)$$

Trong đó:

U_{2dm} – Điện áp định mức phía thứ cấp máy biến áp, V;

$\Delta U_{ba} \%$ – Tổn hao điện áp trong máy biến áp, %.

$$\Delta U_{ba} \% = \beta (U_a \% \cos \varphi_{tb} + U_p \% \sin \varphi_{tb}) \quad (1.13)$$

$$U_a \% = \frac{P_{nm}}{S_{dm}} \cdot 100, \%; U_p \% = \sqrt{U_{nm}^2 - U_a^2}, \%$$

Trong đó:

$U_a \%$ – Điện áp ngắn mạch tác dụng của máy biến áp;

$U_p \%$ – Điện áp ngắn mạch phản kháng của máy biến áp;

U_{nm} – Điện áp ngắn mạch % của máy biến áp.

Tổn thất điện áp trên cáp nhánh:

$$\Delta U_{cm} = \frac{P_{dm} \cdot l_{cm} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{cm} \cdot U_{dm} \cdot \eta_{dc}}, V \quad (1.14)$$

Tổn thất điện áp trên cáp chính:

$$\Delta U_{cc} = \Delta U_{cp} - \Delta U_{ba} - \Delta U_{cm} \quad (1.15)$$

Tiết diện cáp chính được xác định theo công thức:

$$S_{cc} = \frac{K \cdot k_{yc} \cdot \sum P_{dm} \cdot L_{cc} \cdot 10^3}{\gamma \cdot U_{dm} \cdot \Delta U_{cc}}, mm^2 \quad (1.16)$$

Trong đó:

K – Hệ số kể đến điện kháng của cáp, $K=1,1-1,2$;

L_{cc} , l_{cm} – Chiều dài cáp chính và cáp nhánh, m;

S – Tiết diện cáp chính, mm²;

$\gamma=50$ – Điện dẫn mặt của cáp lõi đồng, m/ $\Omega \cdot mm^2$.

2.3.3. Mô hình toán học mạng hạ áp hàm lò theo điều kiện khởi động động cơ

Hầu hết các động cơ sử dụng trong mỏ hàm lò là động cơ không đồng bộ rô to lồng sóc, khi mở máy trực tiếp thì dòng mở máy đạt 4-7 lần dòng định mức dẫn đến sụt áp trên toàn mạng, ảnh hưởng đến các phụ tải khác đang làm việc. Do đó, cần kiểm tra mạng theo điều kiện khởi động động cơ.

Để động cơ khởi động được thì điện áp tối thiểu đặt lên động cơ phải thỏa mãn điều kiện [3]:

$$U_{m.min} = 1,1.U_{dm} \sqrt{\frac{K}{a}} \quad (1.17)$$

Điện áp thực tế trên cực động cơ khi khởi động:

$$U_{kdt} = U_{2dm} - \sum \Delta U_{kd}, V \quad (1.18)$$

Tổn thất điện áp của máy biến áp khi động cơ khởi động:

$$\Delta U_{bakd} = \Delta U_{badm} \cdot \frac{I_{tcbt}}{I_{tckd}} \quad (1.19)$$

Trong đó:

K – Hệ số mô men mở máy tối thiểu;

a – Hệ số mô men mở máy định mức;

I_{tcbt} – Dòng điện thứ cấp khi máy biến áp làm việc bình thường;

I_{tckd} – Dòng điện thứ cấp của máy biến áp khi trong mạng có động cơ công suất lớn nhất và xa nhất khởi động.

2.3.4. Mô hình toán học động cơ công suất lớn nhất mở máy trong khi mạng làm việc bình thường

Để đảm bảo cho động cơ vẫn quay được, cần thỏa mãn điều kiện:

$$\lambda \left(\frac{U_{tt}}{U_{dm}} \right) \geq 1,1.K_z \quad (1.20)$$

Trong đó:

U_{tt} – Điện áp thực tế đặt trên cực động cơ;

K_z – Hệ số mang tải của động cơ;

λ – Bội số mô men cực đại.

2.4. Ứng dụng Matlab-Simulink xây dựng mô hình mô phỏng mạng hạ áp mô hình lò

2.4.1. Mô hình mô phỏng máy biến áp

Dựa vào các mô hình toán của mạng hạ áp hàm lò, nhóm tác giả chọn đối tượng mô phỏng là mạng hạ áp khu vực lò XV-35 công ty than Thống Nhất để thực hiện mô phỏng. Các phụ tải được cấp điện từ trạm biến áp phòng nổ 400kVA-6/0,69kV. Thông số máy biến áp và thông số phụ tải cho trong bảng 1, 2.

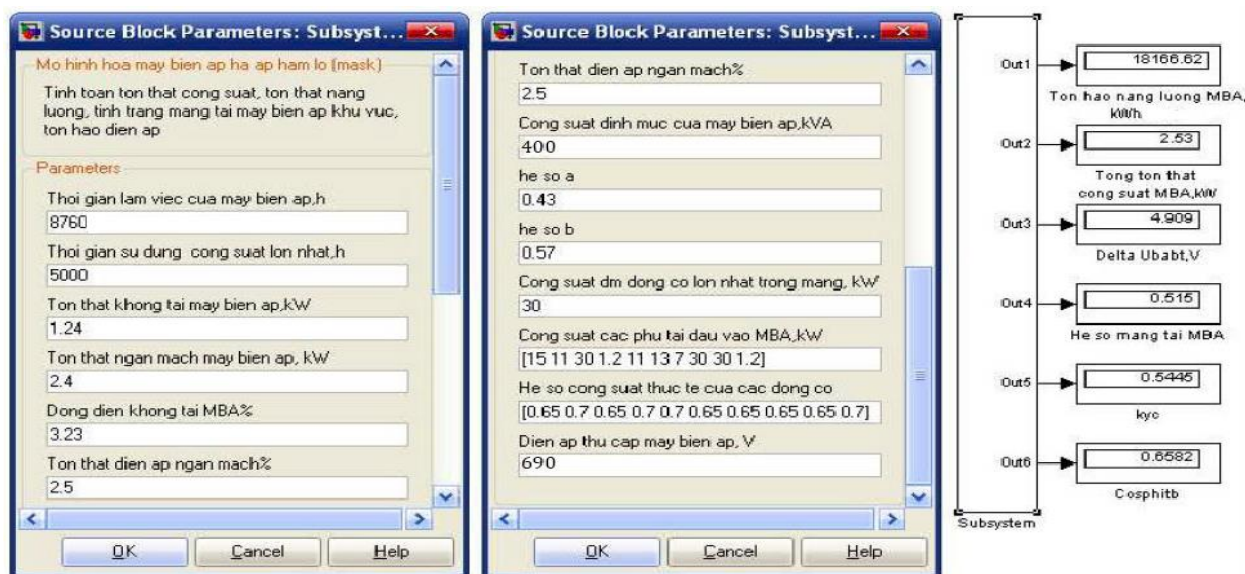
Bảng 1. Bảng thông số máy biến áp 400-6/0,69kV

Loại	S_{dm} , kVA	U_{dm} , kV		Tổn thất, kW		u_n , %	i_0 , %
		CA	HA	ΔP_0	ΔP_n		
400-6/0,69	400	6	0,69	1,24	2,4	2,5	3,23

Bảng 2. Bảng thông số phụ tải nối sau máy biến áp

STT	Tên phụ tải	Pđm, kW	I_{cm} , m	F, mm ²	L_{cc} , m		F, mm ²	$\cos\phi$	η
					L12	110			
1	Tời	15	10	25	L3	50	50	0,88	0,91
2	Quạt gió YBT	11	10	25	L4	20	50	0,89	0,89
3	Máng cào	30	10	25	L5	60	35	0,86	0,88
4	Khoan	1,2	10	6	L6	20	35	0,87	0,85
5	Quạt gió YBT	11	10	25	L7	100	35	0,89	0,89
6	Tời	13	10	25	L8	20	35	0,89	0,92
7	Tời EKOC	7	10	25	L9	40	35	0,86	0,91
8	Máng cào 30N	30	10	25	L10	40	35	0,86	0,88
9	Máng cào 30N	30	10	25	L11	60	35	0,76	0,88
10	Khoan	1,2	10	6	L12	100	35	0,87	0,85

Dựa vào thông số mạng hạ áp khu vực lò XV-35 công ty than Thống Nhất cho trong bảng 1, 2 thực hiện mô hình hoá phần tử máy biến áp.

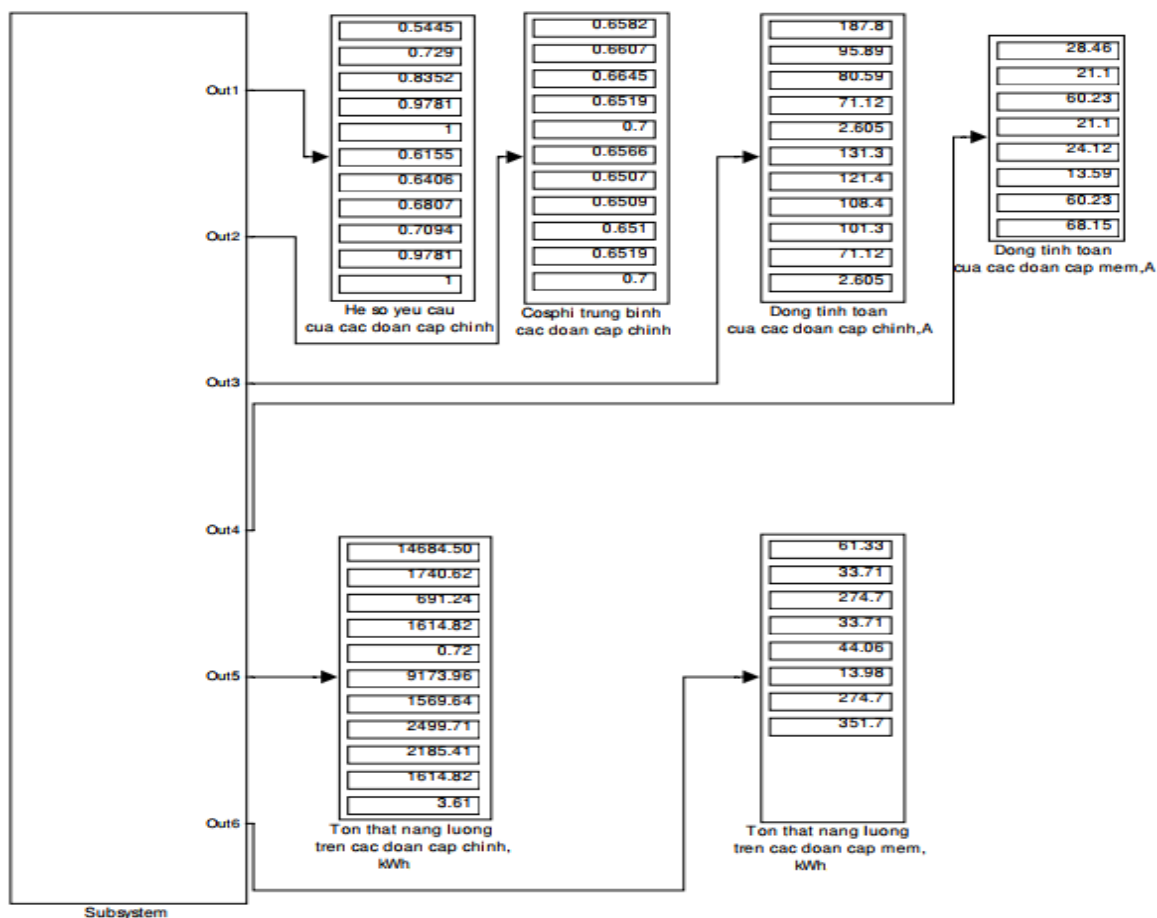


Hình 2. Mô hình hoá máy biến áp lò XV-35 công ty than Thống Nhất

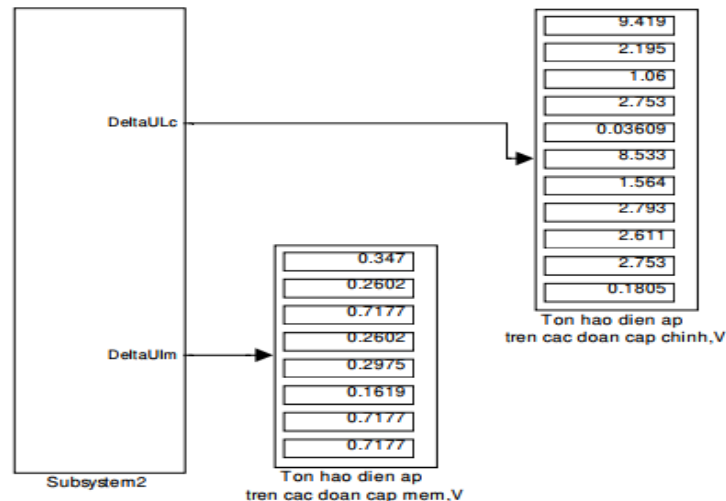
2.4.2. Mô hình mô phỏng mạng hạ áp

Tương tự dựa vào thông số của mạng cho trong bảng 1, 2, viết chương trình M-File cho các

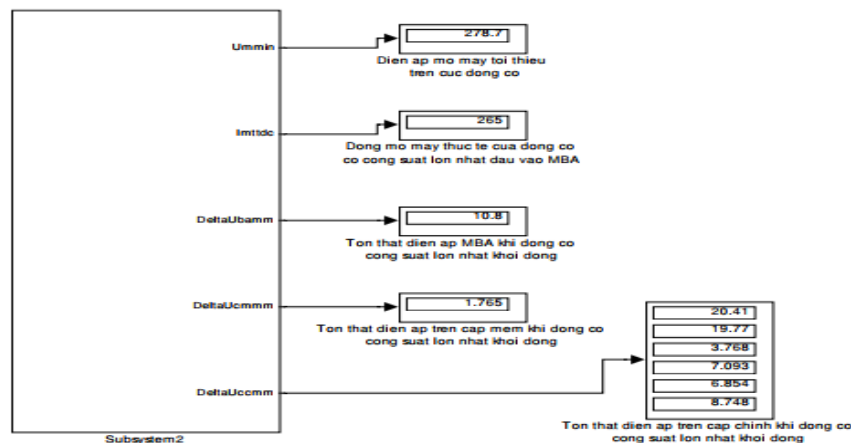
khối chức năng trong Simulink và chạy mô phỏng, kết quả mô phỏng được thể hiện trong hình 3, 4, 5.



Hình 3. Mô phỏng kết quả tính toán tổn thất năng lượng và dòng nung nóng trên các đoạn cáp trong mô hình



Hình 4. Mô phỏng kết quả tính toán tổn hao điện áp trên các đoạn cáp trong mô hình



Hình 5. Mô phỏng kết quả tính toán tổn hao điện áp của mạng khi có động cơ công suất lớn nhất mở máy

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trên cơ sở mô hình toán học của các phần tử trong mạng hạ áp mô phỏng kết hợp với các khối chức năng toán học trong Simulink, viết các chương trình con trên M-File ta có thể tính toán được các thông số cơ bản của mạng như: khả năng làm việc của máy biến áp, các loại tổn thất trên máy biến áp và mạng cáp, dòng điện thực tế chạy trên mạng cáp, điện áp tối thiểu đặt trên cực động cơ khi trong mạng có động cơ công suất lớn nhất khởi động.

Dựa vào mô hình mô phỏng này chúng ta có thể tính toán, đánh giá tình trạng làm việc của mạng hạ áp một cách nhanh chóng khi các thông số điện áp, chiều dài, công suất của phụ tải đầu vào mạng thay đổi.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Với đặc điểm, điều kiện làm việc của mạng hạ áp mô phỏng thường xuyên thay đổi theo tiến độ gương khai thác, diện khai thác ngày càng mở rộng và xuống sâu, cùng với yêu cầu về mặt sản lượng ngày càng tăng thì nhu cầu về điện năng cần đảm bảo để phụ tải làm việc an toàn, ổn định. Việc nghiên cứu sử dụng Matlab-Simulink để xây dựng mô hình mô phỏng mạng hạ áp mô phỏng có thể đánh giá trực quan, phản ánh chính xác các thông số vật lý trong mạng hạ áp và cho kết quả linh hoạt khi các thông số mạng thay đổi; Các kết quả thu được từ mô phỏng là cơ sở để đưa ra các nhận xét, đánh giá hiện trạng của mạng điện, từ đó có thể đề xuất ra các giải pháp vận hành mạng hợp lý cả về phương diện kinh tế và kỹ thuật; Đặc biệt mô hình này thích hợp cho mọi mạng hạ áp mô phỏng có cấu hình khác nhau vì nó có thể dễ dàng thay đổi thông số của mạng thực tế, đảm bảo tính mềm dẻo và linh hoạt.

Mô hình tính toán này có thể coi như một thư viện tính toán nhanh, giúp doanh nghiệp và người quản lý vận hành đánh giá trực quan khi thông số mạng thay đổi. Trong hướng nghiên cứu tiếp theo,

nhóm tác giả đề xuất giải pháp nâng cấp điện áp của máy biến áp khu vực và xác định bước dịch chuyển tối ưu của máy biến áp khu vực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Luật (số 50/2010/QH12, *Luật sử dụng năng lượng tiết kiệm hiệu quả*.
2. Nguyễn Phùng Quang (2004), *Matlab – Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
3. Nguyễn Anh Nghĩa, Trần Bá Đề (1997), *Điện khí hoá mỏ*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
4. Nguyễn Anh Nghĩa (2009), Báo cáo đề tài cấp bộ, *Nghiên cứu đề xuất một số giải pháp nâng cao hiệu quả sử dụng điện năng ở các mạng điện mỏ*, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
5. Quy chuẩn QCVN 01:2011/BCT, *An toàn trong khai thác than hầm lò*.
6. Đỗ Văn Vang, *Ứng dụng Matlab-Simulink xác định mối quan hệ $I_L=f(L)$ mạng hạ áp mỏ hầm lò Mạo Khê-Quảng Ninh*, Bản tin Khoa học công nghệ Mỏ, số 5 năm 2017.
7. Nguyễn Văn Quân, Đỗ Văn Vang &nnk (2016), Đề tài cấp bộ, *Nghiên cứu giải pháp loại trừ nguy cơ điện giật do năng lượng khi ngắt các động cơ không đồng bộ công suất lớn trong mạng điện mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh*.
8. Utegulov, Bolatbek. "Special issues of ensuring electrical safety in networks with isolated neutral voltage up to 1000 V at mining enterprises." *Industrial Engineering*. IntechOpen, 2018.
9. САДРИДИНОВ Ахлидин Бахридинович (2021), *ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА ОСНОВЕ ОБОСНОВАНИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ*.

Thông tin của tác giả:

ThS. Đỗ Văn Vang

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).356.078.954 - Email: Vangdkh1@qui.edu.vn

ThS. Bùi Duy Khuông

Phòng Đào tạo, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).902.265.472 - Email: Buiduykhuong@qui.edu.vn

ThS. Trần Thị Thu Lan

Khoa Kinh tế, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).356.079.733 - Email: Tranthithulan@qui.edu.vn

APPLICATION OF MATLAB-SIMULINK TO BUILD SIMULATION MODEL OF LOW VOLTAGE NETWORK OF UNDEGROUND MINE

Information about authors:

Doan Thi Nhu Quynh, Master, Department of Electrical, Quang Ninh University of Industry. Email: nhuquynh.dhcnqn@gmail.com

Pham Duc Cuong, Master, General Administration Office, Quang Ninh University of Industry.

Tran Van Thuong, Master, Department of Electrical, Quang Ninh University of Industry.

ABSTRACT

According to Resolution No. 55-NQ/TW dated February 11, 2020 of the Politburo on the orientation of Vietnam's National Energy Development Strategy, the issue of using energy economically, efficiently and protecting the environment must be considered an important national policy. For heavy industries such as mining, the loads of the low-voltage network have large capacity, the length of the network often changes during the exploitation process, so to ensure the load works stably and safely, it is necessary to encourage investment in using energy-saving technologies and equipment. In the process of expanding the scale of exploitation, along with the improvement of productivity, the length of the longwall increases, the capacity of the load increases, causing a series of network parameters to change, affecting the supply capacity of the power grid. In order to calculate and visually evaluate the underground mine low voltage network when the network parameters change, the article applies Matlab-Simulink to build a simulation model of the underground mine low voltage network. The results of this simulation model can flexibly evaluate the current status of the underground mine low voltage network with different configurations. Based on the calculation results, reasonable operating solutions can be proposed for the mine low voltage network in terms of management, economics and technology.

Keywords: Modeling, mechanization technology, mine low voltage network, complex mechanized equipment.

REFERENCES

1. Law No.50/2010/QH12, Law on efficient use of energy.
2. Nguyen Phung Quang (2004), *Matlab – Simulink for automatic control engineers*, Science and Technology Publishing House, Hanoi.
3. Nguyen Anh Nghia, Tran Ba De (1997), *Mine Electrification*, Transport Publishing House, Hanoi.
4. Nguyen Anh Nghia (2009), *Report on ministerial level topic, Research and proposal of some solutions to improve the efficiency of electricity use in mining power grids*, University of Mining and Geology, Hanoi.
5. Standard QCVN 01:2011/BCT, *Safety in underground coal mining*.
6. Do Van Vang, Application of Matlab-Simulink to determine the relationship $I_r=f(L)$ of Mao Khe underground mine low voltage network-Quang Ninh, Mining Science and Technology Bulletin, No. 5, 2017.
7. Nguyen Van Quan, Do Van Vang &nnk (2016), Ministry-level project, Research on solutions to eliminate the risk of electric shock due to energy when disconnecting large-capacity asynchronous motors in the underground mine power grid in Quang Ninh region.
8. Utegulov, Bolatbek. "Special issues of ensuring electrical safety in networks with isolated neutral voltage up to 1000 V at mining enterprises." *Industrial Engineering*. IntechOpen, 2018.
9. САДРИДИНОВ Ахлидин Бахридинович (2021), *ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА ОСНОВЕ ОБОСНОВАНИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ*.

Ngày nhận bài: 23/03/2025;

Ngày gửi phản biện: 24/03/2025;

Ngày nhận phản biện: 24/03/2025;

Ngày chấp nhận đăng: 25/03/2025.