

## SIMULATION OF LOW VOLTAGE POWER SUPPLY SYSTEM FOR INDUSTRIAL FACTORY WITH MATLAB SOFTWARE

Ha Thi Thinh\*, Nguyen Thi Kha

Nam Dinh University of Technology Education

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Received:</b> 29/5/2023</p> <p><b>Revised:</b> 28/7/2023</p> <p><b>Published:</b> 28/7/2023</p>	<p>When designing an industrial plant's electrical system, the calculation and selection of appropriate electrical equipment will determine the safe operation of the system. To solve this problem, designers often use simulation modeling software to calculate and survey the operation of the system before coming to a decision on equipment and system selection. The article refers to the survey of a workshop's low-voltage power supply system using Matlab software with the following key contents: (1) Checking the electrical network according to the allowable long-term current conditions; (2) Calculating of losses in the transformer, and obtained simulation results allow conclusions about the selected equipment and system. Surveying and testing low-voltage power supply systems using Matlab software not only solving the optimization problem in power supply system design but also helping students majoring in electrical systems approach reality favorably.</p>
<p><b>KEYWORDS</b></p> <p>Matlab</p> <p>Low voltage power supply</p> <p>Calculate</p> <p>Conductor</p> <p>Simulation</p>	

## MÔ PHỎNG HỆ THỐNG CUNG CẤP ĐIỆN HẠ ÁP CHO XÍ NGHIỆP CÔNG NGHIỆP BẰNG PHẦN MỀM MATLAB

Hà Thị Thịnh\*, Nguyễn Thị Kha

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<p><b>Ngày nhận bài:</b> 29/5/2023</p> <p><b>Ngày hoàn thiện:</b> 28/7/2023</p> <p><b>Ngày đăng:</b> 28/7/2023</p>	<p>Khi thiết kế hệ thống điện nhà máy công nghiệp, việc tính toán và lựa chọn thiết bị điện phù hợp sẽ quyết định sự hoạt động an toàn của hệ thống, để giải quyết bài toán này, người thiết kế thường sử dụng phần mềm xây dựng mô hình mô phỏng để tính toán, khảo sát hoạt động của hệ thống trước khi đi đến quyết định lựa chọn thiết bị và hệ thống. Bài viết đề cập tới việc khảo sát một hệ thống cung cấp điện hạ áp của phân xưởng sử dụng phần mềm Matlab với các nội dung trọng tâm: (1) Kiểm tra mạng điện theo điều kiện dòng điện lâu dài cho phép; (2) Tính toán tổn thất trong máy biến áp, và kết quả mô phỏng thu được cho phép kết luận về thiết bị và hệ thống đã lựa chọn. Việc khảo sát, kiểm tra hệ thống cung cấp điện hạ áp bằng phần mềm Matlab không những giải quyết được bài toán tối ưu trong hệ thống cung cấp điện mà còn là giải pháp tốt giúp sinh viên ngành hệ thống điện của cơ sở đào tạo tiếp cận thực tiễn thuận lợi.</p>
<p><b>TỪ KHÓA</b></p> <p>Matlab</p> <p>Cung cấp điện hạ áp</p> <p>Tính toán</p> <p>Dây dẫn</p> <p>Mô phỏng</p>	

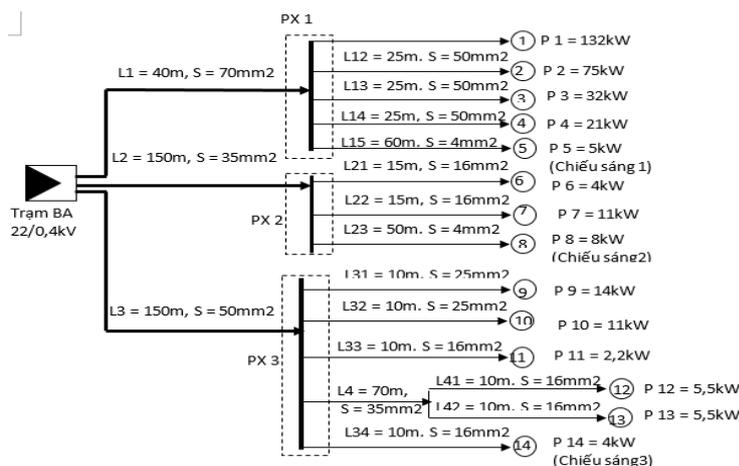
DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.8028>

\* Corresponding author. Email: [hathinh.nute@gmail.com](mailto:hathinh.nute@gmail.com)

### 1. Giới thiệu

Ứng dụng Simulink là phần chương trình mở rộng của Matlab nhằm mục đích mô hình hóa, mô phỏng và khảo sát hệ thống. Thực hiện giao diện đồ họa trên màn hình của Simulink cho phép thể hiện hệ thống dưới dạng sơ đồ cấu trúc và các khối chức năng quen thuộc [1]. Simulink cung cấp cho người sử dụng một thư viện có sẵn với số lượng lớn các khối chức năng cho các hệ tuyến tính, phi tuyến và rời rạc [2]. Phần quan trọng nhất của hệ thống điện nhà máy công nghiệp chính là hệ thống điện bao gồm hệ thống điện động lực và hệ thống điện điều khiển. Nguồn điện được lấy từ các trạm biến áp, thông qua hệ thống cáp nguồn tổng đến các tủ điện và được phân phối đến các khu vực, máy móc, thiết bị trong nhà máy [3]. Các thiết bị này phải được tính toán chọn lựa hợp lý để đảm bảo làm việc lâu dài, ổn định, tổn hao trong mức độ cho phép [4], [5]. Sau khi đã xây dựng mô hình của hệ cần nghiên cứu, bằng cách ghép các khối chức năng thành sơ đồ cấu trúc của hệ, ta có thể khởi động quá trình hệ thống cung cấp điện hạ áp dưới dạng mô phỏng. Bằng việc lựa chọn các khối thích hợp trong Simulink giúp thực hiện các tính toán phức tạp trong hệ thống cung cấp điện nhờ đó tối ưu được quá trình thiết kế cung cấp điện [6].

Ở đây, nhóm tác giả áp dụng tính toán cung cấp điện cho một mạng điện phân xưởng hạ áp tổng quát, từ đó có thể dễ dàng áp dụng với những đối tượng khác bằng cách thay đổi thông số yêu cầu ban đầu. Mạng hạ áp ví dụ được lấy khảo sát gồm một trạm biến áp hạ áp 22/0,4 kV cung cấp cho một số phụ tải của các phân xưởng hay một cụm thiết bị bằng các đường cáp chính [7]. Từ tủ phân phối của phân xưởng, các động cơ được cấp điện bằng các cáp nhánh riêng có tiết diện và chiều dài khác nhau được cho trên hình 1 và các thông số trong bảng 1.



Hình 1. Sơ đồ cung cấp điện cho một xí nghiệp gồm ba phân xưởng

Bảng 1. Thống kê các phụ tải và thông số

TT	Tên phụ tải	$P_{dm}$ (kW)	$U_{dm}$ (V)	$I_{dm}$ (A)	Hệ số cs $\cos\varphi$	$\eta$	S cáp (mm <sup>2</sup> )	L cáp (m)	Số lượng
<b>Phân xưởng số 1</b>									
1	Động cơ 1	132	380	250,7	0,89	0,9	50	25	1
2	Động cơ 2	75	380	147,4	0,86	0,9	50	25	1
3	Động cơ 3	32	380	65,96	0,82	0,9	50	25	1
4	Động cơ 4	21	380	40,8	0,87	0,9	25	25	1
5	Chiếu sáng 1	5	380/220	8,451	1	0,9	4	60	
<b>Phân xưởng số 2</b>									
6	Động cơ 1	4	380	9,448	0,7	0,92	16	15	1
7	Động cơ 2	11	380	21,15	0,86	0,92	16	15	1
8	Chiếu sáng 2	8	380/220	12,81	1	0,95	4	50	
<b>Phân xưởng số 3</b>									

TT	Tên phụ tải	$P_{dm}$ (kW)	$U_{dm}$ (V)	$I_{dm}$ (A)	Hệ số cs $\cos\varphi$	$\eta$	S cáp (mm <sup>2</sup> )	L cáp (m)	Số lượng
9	Động cơ 1	14	380	27,34	0,82	0,95	25	10	1
10	Động cơ 2	11	380	22,58	0,78	0,95	25	10	1
11	Động cơ 3	2,2	380	4,132	0,9	0,9	16	10	1
12	Động cơ 4	5,5	380	9,885	0,92	0,92	16	80	1
13	Động cơ 5	5,5	380	9,885	0,92	0,92	16	80	1
14	Chiếu sáng 3	4	380/220	6,405	1	0,95	4	50	

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Từ sơ đồ cung cấp điện cho một phân xưởng điển hình, các công thức tính toán dòng điện phụ tải cũng như các tiêu chuẩn Quy phạm Trang bị điện 11-TCN-18-2006 (dòng điện cho phép trong dây dẫn, tổn hao điện áp), nhóm tác giả lựa chọn các khối thích hợp trong Simulink giúp thực hiện các tính toán phức tạp trong hệ thống cung cấp điện. Bằng cách ghép các khối chức năng thành sơ đồ cấu trúc để xây dựng mô hình của hệ cần nghiên cứu. Khởi chạy mô phỏng mô hình hệ thống cung cấp điện hạ áp, so sánh với các tiêu chuẩn để rút ra kết luận các thiết bị đã chọn trong mạch điện cung cấp điện có hợp lý hay cần phải thay thế.

### 2.1. Kiểm tra mạng điện theo điều kiện dòng điện lâu dài cho phép

#### 2.1.1. Tính toán dòng điện trong dây cáp của mạng điện

Dòng điện chạy trong cáp cho một phụ tải điện như sau:

$$I_{tt} = \frac{P_{dm} 10^3}{\sqrt{3} U_{dm} \cos\varphi \cdot \eta} \quad (1)$$

Dòng điện chạy trong cáp chính cung cấp cho một nhóm phụ tải:

$$I_{cc} = \frac{K_{yc} \sum P_{dm} 10^3}{\sqrt{3} U_{dm} \cos\varphi_{tb}} \quad (2)$$

Trong đó:

$\cos\varphi_{tb}$ : Hệ số công suất trung bình của nhóm phụ tải được tính theo công thức:

$$\cos\varphi_{tb} = \frac{\sum P_{dmi} \cos\varphi_i}{\sum P_{dmi}} \quad (3)$$

Hệ số yêu cầu  $K_{yc}$  được tính toán theo số phụ tải của nhóm [1].

Khi số phụ tải  $n \geq 20$  thì  $K_{yc}$  tính theo công thức:

$$K_{yc} = 0,29 + 0,71 \frac{P_{dmmax}}{\sum P_{dm}} \quad (4)$$

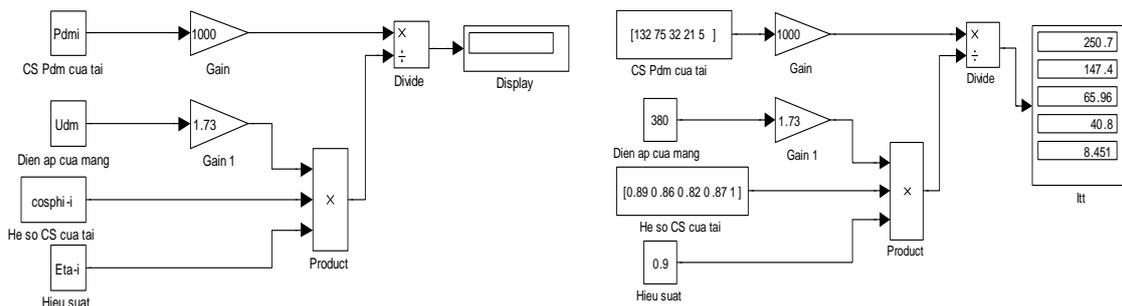
Khi số phụ tải  $n < 20$ , thì hệ số yêu cầu được tính theo công thức sau:

$$K_{yc} = 0,43 + 0,57 \frac{P_{dmmax}}{\sum P_{dm}} \quad (5)$$

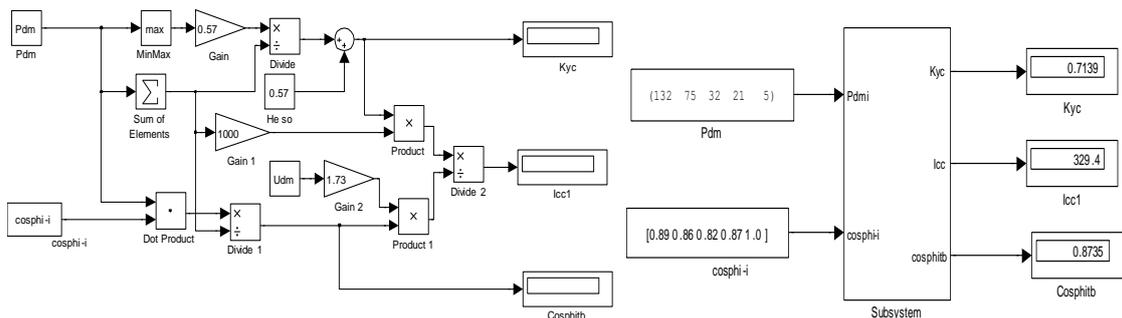
Sau khi tính toán dòng điện trong cáp nhánh và cáp chính, ta lập bảng so sánh với dòng điện cho phép  $I_{cp}$  của các nhà sản xuất cáp. Nếu  $I_{tt} \leq I_{cp}$  tương ứng với tiết diện cáp tra trong bảng cáp điện của nhà sản xuất thì dây cáp đó đạt yêu cầu.

#### 2.1.2. Mô hình tính toán dòng điện trong dây cáp bằng Matlab

Dựa vào các công thức trên sử dụng các khối hàm trong Matlab ta thu được mô hình tính toán dòng điện các cáp nhánh như hình 2 và dòng điện trong cáp chính như hình 3.



Hình 2. Mô phỏng tính toán dòng điện trong cáp nhánh và kết quả mô phỏng phân xưởng 1



Hình 3. Mô phỏng tính toán dòng điện trong cáp chính và kết quả mô phỏng phân xưởng 1

## 2.2. Tính toán tổn thất trong máy biến áp

### 2.2.1. Xác định các thông số của máy biến áp

Công suất tính toán:

$$P_{tt} = K_{yc} \cdot \sum P_{dm} \tag{6}$$

Công suất biểu kiến:

$$S_{tt} = \frac{K_{yc} \sum_{i=1}^n P_{dm}}{\cos\phi_{tb}} \tag{7}$$

Trong đó: Hệ số công suất trung bình của nhóm phụ tải  $\cos\phi_{tb}$  được tính theo công thức (3).

Công suất tính toán của máy biến áp (MBA):

$$P_{ttba} = P_{tt} + P_{thcsMBA} \tag{8}$$

Với  $P_{thcsMBA}$  là tổn hao công suất của MBA.

Điện trở các cuộn dây của MBA:

$$r_{ba} = \frac{\Delta P_n U_{2dm}^2 10^3}{S_{dm}^2} \quad (\Omega) \tag{9}$$

Điện kháng các cuộn dây của MBA:

$$X_{ba} = \frac{U_n \% \cdot U_{2dm}^2 \cdot 10^3}{S_{dm} 100} \quad (\Omega) \tag{10}$$

Trong đó:  $\Delta P_n$  : Tổn hao công suất ngắn mạch  
 $U_n \%$  : Điện áp ngắn mạch phần trăm  
 $U_{2dm}$  : Điện áp định mức của phía thứ cấp MBA.  
 $S_{dm}$  : Công suất biểu kiến định mức.

### 2.2.2. Xác định tổn thất điện áp trong MBA theo điều kiện tổn hao điện áp cho phép

Tổn hao điện áp trong cáp nhánh:

$$\Delta U_{cm} = \frac{P_{dm} \cdot l_{cn} \cdot 10^3}{50 \cdot S_{cn} \cdot U_{dm}} \quad (V) \quad (11)$$

Tổn hao điện áp % trong MBA:

$$\Delta U_{ba} \% = \beta (U_a \% \cdot \cos \varphi_{tb} + U_p \% \cdot \sin \varphi_{tb}) \quad (12)$$

$$\Delta U_{ba} = \frac{U_{2dm} \cdot \Delta U_{ba} \%}{100} \quad (V) \quad (13)$$

Trong đó:  $l_{cn}$  : chiều dài dây cáp nhánh (m),  $S_{cn}$ : Tiết diện dây cáp nhánh ( $mm^2$ ),  $\beta$  : hệ số mang tải của MBA

$\Delta U_{ba}$  : tổn hao điện áp trong MBA (V)

$U_a$  % : thành phần tác dụng của điện áp ngắn mạch

$U_p$  % : Thành phần phản kháng của điện áp ngắn mạch

Tổn hao điện áp trong cáp chính:

$$\Delta U_{cc} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{dm} \cdot L_{cc} \cdot 10^3}{50 \cdot S_{cc} \cdot U_{dm}} \quad (V) \quad (14)$$

Trong đó:  $L_{cc}$  : chiều dài cáp chính (m)

$S_{cc}$  : tiết diện cáp chính ( $mm^2$ )

Tiết diện cáp chính tính theo công thức:

$$S_{cc} = \frac{K_{yc} \sum P_{dmi} \cdot l_i \cdot 10^3}{50 \cdot \Delta U_{cc} \cdot U_{dm}} \quad (mm^2) \quad (15)$$

$$\text{Tiết diện cáp nhánh: } S_{cn} = \frac{P_{dm} \cdot l_{cn} \cdot 10^3}{50 \cdot \Delta U_{cn} \cdot U_{dm}} \quad (mm^2) \quad (16)$$

Tổn hao điện áp tính toán toàn mạng:

$$\Delta U_{tt} = \Delta U_{ba} + \Delta U_{cc} + \Delta U_{cn} \quad (17)$$

Điều kiện cần và đủ để mạng hạ áp làm việc bình thường:

$$\Delta U_{tt} < \Delta U_{cp}$$

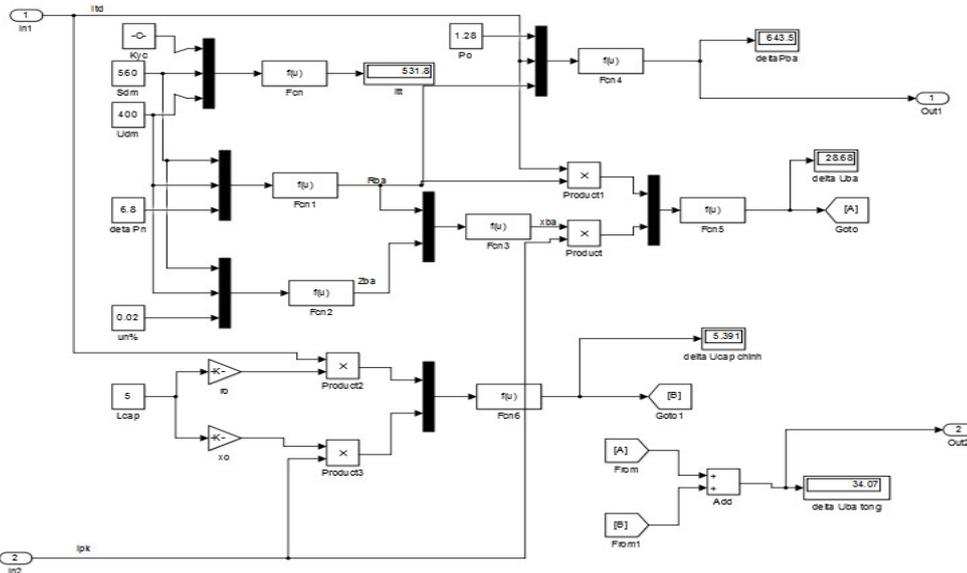
Đối với mạng hạ áp 380 V thì điện áp cho phép theo Điều I.2.39 Quy phạm trang bị điện Việt Nam:  $\Delta U_{cp} = 400 - (95/100)380 = 39$  (V)

### 2.2.3. Xây dựng sơ đồ Simulink tính toán tổn hao trong MBA

Dựa vào các công thức trong mục 2.2.2, nhóm tác giả xây dựng mô hình tính toán các thông số của máy biến áp cũng như tổn hao trong nó ứng với chế độ làm việc như hình 4. Kết quả trong mô hình được hiển thị dạng số giúp người dùng so sánh với giá trị cho phép và đưa ra những kết luận chính xác. Các hàm function được xây dựng với mục đích tính toán cụ thể:

- Fcn: Tính tổn hao công suất tác dụng của MBA,  $\Delta P_{ba}$
- Fcn1: Tính dòng điện  $I_{tt}$ .
- Fcn2: Tính điện trở  $R_{ba}$  của MBA.
- Fcn3: Tính tổng trở của MBA.
- Fcn4: Tính điện kháng  $X_{ba}$  của MBA
- Fcn5: Tính tổn hao điện áp của MBA,  $\Delta U_{ba}$

- Fcn6: Tính tổn hao công suất phản kháng của MBA  $\Delta Q_{ba}$
  - Fcn7: Tính tổn hao điện áp trên đoạn cáp chính từ MBA đến thanh cái.
- Các thông số trong khối function dựa theo các công thức 6 - 17



Hình 4. Sơ đồ Simulink tính toán tổn hao trong MBA

### 3. Kết quả và bàn luận

#### 3.1. Kết quả kiểm tra thông số của các phân xưởng bằng phần mềm Matlab

Khi nhập các thông số phân xưởng 1 và khởi chạy chương trình hình 2, 3 ta thu được kết quả dòng điện tính toán ở các nhánh và cáp chính phân xưởng số 1 như bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán phân xưởng số 1

Phụ tải	Cáp chính $L_1 (S = 70 \text{ mm}^2)$	Động cơ 1 $S = 50 \text{ mm}^2$	Động cơ 2 $S = 50 \text{ mm}^2$	Động cơ 3 $S = 50 \text{ mm}^2$	Động cơ 4 $S = 25 \text{ mm}^2$	C. sáng 1 $S = 4 \text{ mm}^2$
$I_{cp}$ (A)	171	134	134	134	89	28
$I_{tt}$ (A)	394	250,7	174,4	65,96	40,8	8,451
Kết luận	Không đạt	Không đạt	Không đạt	Đạt	Đạt	Đạt

Từ kết quả cho thấy, để mạng hoạt động tốt, phải thay thế đường cáp chính, cáp cung cấp cho động cơ 1 và động cơ 2 bằng cáp có tiết diện:

$$S_{cc} = 240 \text{ mm}^2 \text{ có dòng điện cho phép } I_{cp} = 403 \text{ (A)} > I_{tt} = 394 \text{ (A)}$$

$$S_{P1} = 250 \text{ mm}^2 \text{ có dòng điện cho phép } I_{cp} = 259 \text{ (A)} > I_{tt} = 250,7 \text{ (A)}$$

$$S_{P2} = 70 \text{ mm}^2 \text{ có dòng điện cho phép } I_{cp} = 184 \text{ (A)} > I_{tt} = 174,4 \text{ (A)}$$

Khi nhập các thông số phân xưởng 2 và khởi chạy chương trình hình 2 và hình 3 ta thu được kết quả dòng điện tính toán ở các nhánh và cáp chính phân xưởng số 2 như bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán phân xưởng số 2

Phụ tải	Cáp chính $L_2 (S = 35 \text{ mm}^2)$	Động cơ 1 $S = 16 \text{ mm}^2$	Động cơ 2 $S = 16 \text{ mm}^2$	C. sáng 2 $S = 4 \text{ mm}^2$
$I_{cp}$ (A)	110	68	68	28
$I_{tt}$ (A)	31,68	9,448	21,15	12,81
Kết luận	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt

Khi nhập các thông số phân xưởng 3 và khởi chạy chương trình hình 2 và hình 3 ta thu được kết quả dòng điện tính toán ở các nhánh và cáp chính phân xưởng số 3 như bảng 4. Như vậy, với

mô hình đã xây dựng, việc tính toán dòng điện của mạng điện hạ áp trên Matlab trở nên dễ dàng. Nhờ đó, có thể áp dụng kiểm tra dây dẫn trong mạng điện có đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Phương pháp mô phỏng này có thể linh hoạt thay đổi thông số phù hợp với các mạng điện hạ áp khác nhau.

**Bảng 4. Kết quả tính toán phân xưởng số 3**

Phụ tải	Cáp chính L <sub>3</sub> (S = 50 mm <sup>2</sup> )	Động cơ 1 S = 25 mm <sup>2</sup>	Động cơ 2 S = 25 mm <sup>2</sup>	Động cơ 3 S = 16 mm <sup>2</sup>	Động cơ 4 S = 16 mm <sup>2</sup>	Động cơ 5 S = 16 mm <sup>2</sup>	C.sáng 3 S = 4 mm <sup>2</sup>
I <sub>cp</sub>	134	89	89	68	68	68	28
I <sub>tt</sub>	51,86	27,34	22,58	4,132	9,885	9,885	6,405
Kết luận	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt

### 3.2. Kết quả kiểm tra tổn hao trong máy biến áp bằng phần mềm Matlab

Khi nhập thông số máy biến áp cung cấp điện cho phân xưởng ở ví dụ trên có các thông số như sau: S<sub>dm</sub> = 560 kVA; U<sub>2dm</sub> = 400 V; ΔP<sub>0</sub> = 1,28 kW; ΔP<sub>n</sub> = 6,8 kW; η = 97,8%; U<sub>n</sub>% = 2, I<sub>0</sub>% = 5,5. Các thông số của cáp: L<sub>cáp</sub> = 5 m; x<sub>0</sub> = 0,06 Ω/m; r<sub>0</sub> = 0,04 Ω/m. Nhập các dữ liệu phụ tải của 3 phân xưởng ta tìm được hệ số yêu cầu chung K<sub>yc</sub> = 0,6579. Mô phỏng hình 4 cho kết quả tổn hao điện áp tổng trong máy biến áp ΔU<sub>ba tổng</sub> = 34,07V < ΔU<sub>cp</sub> = 39V nên phù hợp với yêu cầu cho phép.

### 4. Kết luận

Bài báo đã lựa chọn một mạng điện phân xưởng hạ áp tổng quát, một nội dung trong chương trình đào tạo sinh viên ngành hệ thống điện, và sử dụng phần mềm Matlab thực hiện được các chức năng tính toán, kiểm tra mạng cung cấp điện hạ áp và cho được kết quả mô phỏng hệ thống cung cấp điện hạ áp này. Nhiều mạng điện thực tế hiện đại ngày nay nếu đưa vào trong chương trình đào tạo sinh viên ngành hệ thống điện, phần mềm Matlab có thể thực hiện mô phỏng hỗ trợ góp phần nâng cao chất lượng đào tạo.

Tuy nhiên, mức độ phức tạp của hệ thống điện ngày càng cao. Để đáp ứng yêu cầu nâng cao chất lượng cung cấp điện cần thiết phải có các giải pháp mô phỏng phân tích đánh giá hệ thống theo thời gian thực. Đây là một giải pháp ưu việt để hỗ trợ nghiên cứu các tác động, kiểm tra thiết bị hay thử nghiệm các giải pháp công nghệ mới trước khi áp dụng chính thức trên lưới điện thực tế.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] K.T.Bui, C.V.Nguyen, and S. S. Kubrin, "Matlab application develops the interface to calculate and test the regional power network," *Journal of Quang Ninh University of Industry in VietNam*, no. 45, pp. 68-74, 2018.
- [2] D.Xue and Y.Q.Chen, *System Simulation Techniques with Matlab and Simulink*, John Wiley & Sons, Ltd, 2013, Chapter 2 – Chapter 5.
- [3] X.D.Xue, K.W.E.Cheng, and N.C.Cheung, "Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles. In Power Engineering Conference," *2008 Australasian Universities Power Engineering Conference*, Sydney, NSW, Australia, 2008, pp. 1-6.
- [4] S.Shi, X.Shen, and Y.Gu, "Research on calculation of low voltage distribution network theoretical line loss based on matpower," *International Conference on Advanced Power System Automation and Protection*, 2011, vol.3, pp. 1079-1085.
- [5] G.Grigoras and M.Gavrilas, "An Improved Approach for Energy Losses Calculation in Low Voltage Distribution Networks based on the Smart Meter Data," *2018 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*, Iasi, Romania, 2018, pp. 0749-0754, doi: 10.1109/ICEPE.2018.8559612.
- [6] I.K.Kholiddinov, G.F.Musinova, M.E.Yulchiev, Z.Z.Tuychiev, and M.M.Kholiddinova, "Modeling of Calculation of Voltage Unbalance Factor Using Simulink (Matlab)," *The American Journal of Applied Sciences*, no.2, pp. 33–37, 2020.
- [7] H.C.Nguyen, *Power Supply System of Urban Industrial Enterprises and High-rise Buildings*, Science and Technics Publishing House in Vietnam, 2007, Chapter 9.