



# PHƯƠNG PHÁP DỰ BÁO HIỆU SUẤT MÁY BIẾN ÁP PHỤC VỤ CẢNH BÁO SỚM TRONG TRẠM BIẾN ÁP MỎ

Trịnh Hải Thái, Phạm Thị Phương Hoa  
Lê Kế Trung, Lê Văn Linh  
Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa  
Email: trinhhaithai@gmail.com

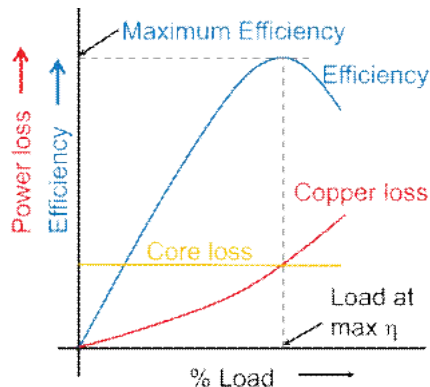
## TÓM TẮT

Trong hệ thống cung cấp điện cho các xí nghiệp, hiệu suất của máy biến áp trong các trạm biến áp cần được giám sát liên tục để phát hiện suy giảm hiệu suất, trên cơ sở đó cảnh báo sớm phục vụ bảo trì, phòng ngừa trước khi sự cố xảy ra. Bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô hình hiệu suất máy biến áp sử dụng hồi quy tuyến tính để dự báo và tính toán suy giảm hiệu suất của máy biến áp.

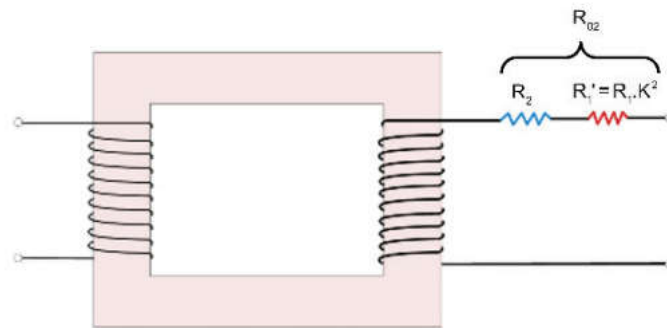
**Từ khóa:** mô hình hiệu suất của máy biến áp, bảo trì phòng ngừa

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình vận hành, theo thời gian tuổi thọ của các thiết bị sẽ bị suy giảm. Điều kiện vận hành (dòng điện, nhiệt độ, áp suất, hiệu suất,...) có ảnh hưởng tới tuổi thọ và hiệu suất của thiết bị. Các sự cố đã xảy ra có các mối liên hệ, tương quan nhất định đối với các chỉ số hiệu suất của thiết bị.



H.1. Đặc tuyến hiệu suất MBA theo phụ tải



H.2. Tổng điện trở quy về phía thứ cấp

Trong các trạm biến áp (TBA), hiệu suất máy biến áp (MBA) cần được giám sát liên tục và phát hiện suy giảm hiệu suất trên cơ sở đó cảnh báo sớm để bảo trì phòng ngừa trước khi sự cố xảy ra, tránh tổn thất.

## 2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Hiệu suất của MBA phụ thuộc chủ yếu vào phụ tải, biểu đồ phụ thuộc hiệu suất theo phụ tải có dạng như Hình H.1. Hiệu suất của MBA được định

Biểu thức tính hiệu suất (Efficiency) của MBA:

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Output Power}}{\text{Output Power} + \text{Losses}} \quad (1)$$

MBA là thiết bị có hiệu suất cao và tổn thất rất nhỏ. Các tổn hao khác nhau xảy ra trong MBA gồm:

- Tổn hao lõi sắt từ (Pi - iron losses) gồm: tổn hao do trễ từ và tổn hao do dòng xoáy Fuco;
- Tổn hao đồng hay tổn hao do điện trở cuộn dây quấn bằng đồng (Pc - copper losses) tỷ lệ thuận với phụ tải hay bình phương cường độ dòng điện I<sup>2</sup>;
- Tổn hao phụ (tổn thất trong chất điện môi...) của MBA tương đối nhỏ và có thể bỏ qua.

Các công thức tính hiệu suất MBA triển khai cụ thể là:

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 + P_i + P_c} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 + P_i + I_2^2 \cdot R_{02}} \quad (3)$$

Trong đó: P<sub>i</sub>: Tổn hao lõi sắt. Trên thực tế, do điện áp đầu vào hầu như không đổi nên P<sub>i</sub> có thể coi như không đổi; P<sub>c</sub>: Tổn hao trên cuộn dây đồng, tỷ lệ thuận bình phương dòng điện ( $P_c = I^2 \cdot R$ ); V<sub>2</sub>: Điện áp giữa hai đầu cuộn thứ cấp; I<sub>1</sub>: Dòng điện cuộn sơ cấp; I<sub>2</sub>: Dòng điện cuộn thứ cấp; CosΦ<sub>2</sub>: Hệ số công suất của tải; R<sub>1</sub> và R<sub>2</sub>: Điện trở cuộn sơ cấp và thứ cấp; R<sub>01</sub>: Tổng điện trở quy về phía sơ cấp; R<sub>02</sub>: Tổng điện trở quy về phía thứ cấp (xem Hình H.2);

Tổng điện trở quy về phía sơ cấp và thứ cấp được tính như sau:

$$R_{01} = R_1 + R_2' = R_1 + R_2 \cdot \left(\frac{1}{K}\right)^2 \quad (4)$$

$$R_{02} = R_2 + R_1' = R_2 + R_1 \cdot K^2 \quad (5)$$

Trong đó:

$$K = \frac{I_1}{I_2} \text{ (K là tỷ số biến đổi điện áp của máy biến áp); } R_2' = R_2 \cdot \left(\frac{1}{K}\right)^2 \text{ và } R_1' = R_1 \cdot K^2$$

Do đó, điện trở tương đương quy về phía thứ cấp và sơ cấp:

R<sub>1</sub>' = Điện trở tương đương quy về phía thứ cấp; R<sub>2</sub>' - Điện trở tương đương quy về phía sơ cấp; R<sub>01</sub> = Điện trở hiệu dụng của MBA quy về phía sơ cấp; R<sub>02</sub> - Điện trở hiệu dụng của MBA quy về phía thứ cấp.

Trong phương trình (3) ta có I<sub>2</sub><sup>2</sup>.R<sub>02</sub> là tổng tổn hao trên dây đồng (P<sub>c</sub>)

Chia cả tử số và mẫu số của phương trình (3) cho I<sub>2</sub> có:

$$\eta = \frac{V_2 \cos \phi_2}{V_2 \cos \phi_2 + \frac{P_i}{I_2} + I_2 R_{02}} \quad (6)$$

Vì điện áp thứ cấp V<sub>2</sub> được giữ gần như không đổi đối với mọi MBA, để hiệu suất đạt tối đa đối với một hệ số công suất cụ thể thì mẫu số phải tối thiểu. Vì (V<sub>2</sub>.cos φ<sub>2</sub>) coi như không đổi nên  $\left(\frac{P_i}{I_2} + I_2 \cdot R_{02}\right)$

phải đạt min:

$$\text{Hàm số } f(I_2) = \frac{P_i}{I_2} + I_2 \cdot R_{02} \Rightarrow \text{min khi và chỉ khi } f'(I_2) = 0 \text{ hay:}$$



$$\frac{-P_i}{(I_2)^2} + R_{02} = 0$$

$$\Leftrightarrow I_2^2 \cdot R_{02} = P_i \quad (7)$$

Tức là hiệu suất đạt max khi tổn hao dây đồng  $I_2^2 \cdot R_{02}$  hoặc  $I_1^2 \cdot R_{01}$  bằng tổn hao lõi sắt không đổi  $P_i$  (xem Hình H.1). Tại điểm hiệu suất max thì công suất là:

$$P_{\eta \max} = V_2 \cdot \sqrt{\frac{P_i}{R_{02}}} \cdot \cos \phi_2 \quad (8)$$

Để xây dựng mô hình hiệu suất MBA, không mất tính tổng quát, chọn tính toán theo phương trình phía thứ cấp, phương trình (3). Các thông số  $V_2$ ;  $I_2$ ;  $\cos \phi_2$  đều là những giá trị đo được từ đồng hồ đo điện năng. Hiệu suất  $\eta$  được tính toán dựa trên công thức (6) với công suất vào ra đo được từ đồng hồ đo điện năng ở phía sơ cấp và thứ cấp của MBA. Chỉ có các tham số (hằng số)  $P_i$  và  $R_{02}$  chưa biết. Ta có thể sử dụng các giá trị này dựa trên tài liệu của hãng cung cấp (nếu có). Tuy nhiên, trong quá trình vận hành, sau một thời gian nhất định, các giá trị  $P_i$  và  $R_{02}$  có thể bị thay đổi, so với thiết kế ban đầu. Do đó, sẽ dùng phương pháp hồi quy để xác định các giá trị này dựa trên dữ liệu thực tế thu thập được, ở trạng thái hoạt động bình thường của MBA.

Biến đổi phương trình (3) như sau:

$$\eta \cdot V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 + \eta \cdot P_i + \eta \cdot I_2^2 \cdot R_{02} = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2$$

$$\Leftrightarrow V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 \cdot (1 - \eta) = \eta \cdot P_i + \eta \cdot I_2^2 \cdot R_{02}$$

$$\Leftrightarrow \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 \cdot (1 - \eta)}{\eta} = I_2^2 \cdot R_{02} + P_i$$

$$\Leftrightarrow \frac{P_2 \cdot (1 - \eta)}{\eta} = I_2^2 \cdot R_{02} + P_i \quad (9)$$

Đặt  $Y = \frac{P_2 \cdot (1 - \eta)}{\eta}$  và  $X = I_2^2$

Có phương trình (9) tương đương với:

$$\text{Phương trình (9)} \Leftrightarrow Y = R_{02} \cdot X + P_i \quad (10)$$

Phương trình (10) là một phương trình đường thẳng với hệ số  $R_{02}$ ,  $P_i$  cần tìm. Sử dụng phương pháp bình phương bé nhất để tìm các hệ số trên:

Giả sử có mẫu thu thập như bảng dưới đây:

X	$X_1$	$X_2$	$X_3$	...	$X_n$
Y	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	...	$Y_n$

Hàm giá (*Cost Function*) là tổng bình phương sai số:

$$J(R_{02}, P_i) = \sum_{k=1}^n (Y_k - (R_{02} \cdot X_k + P_i))^2 \quad (11)$$

Điều kiện để J đạt min:

$$\begin{cases} \frac{\partial J}{\partial P_i} = 0 \\ \frac{\partial J}{\partial R_{02}} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} n.P_i + R_{02} \cdot \sum_{k=1}^n X_k = \sum_{k=1}^n Y_k \\ (\sum_{k=1}^n X_k) \cdot P_i + R_{02} \cdot \sum_{k=1}^n (X_k)^2 = \sum_{k=1}^n (X_k \cdot Y_k) \end{cases} \quad (13)$$

Giải hệ phương trình (13) bằng phương pháp định thức:

$$\begin{cases} D = n \cdot \sum_{k=1}^n (X_k)^2 - (\sum_{k=1}^n X_k)^2 \\ D_{P_i} = \sum_{k=1}^n Y_k \cdot \sum_{k=1}^n (X_k)^2 - \sum_{k=1}^n (X_k \cdot Y_k) \cdot \sum_{k=1}^n X_k \\ D_{R_{02}} = n \cdot \sum_{k=1}^n (X_k \cdot Y_k) - \sum_{k=1}^n Y_k \cdot \sum_{k=1}^n X_k \end{cases} \quad (14)$$

Nếu  $D \neq 0$  thì hệ phương trình (13) có nghiệm:

$$\begin{cases} P_i = \frac{D_{P_i}}{D} \\ R_{02} = \frac{D_{R_{02}}}{D} \end{cases} \quad (15)$$

Trên thực tế  $R_{02}$  và  $P_i$  luôn tồn tại nên  $D \neq 0$  và hệ phương trình (13) luôn có nghiệm.

Để tránh tràn số, ta chia cả tử và mẫu số của vế phải hệ phương trình (13) cho  $10^{12}$  thì giá trị phân số không đổi:

$$\begin{aligned} \frac{D}{10^{12}} &= \frac{n}{10000} \cdot \sum_{k=1}^n \left( \frac{X_k}{10000} \right)^2 - \frac{1}{10000} \cdot \left( \sum_{k=1}^n \frac{X_k}{10000} \right)^2 \\ \frac{D_{P_i}}{10^{12}} &= \sum_{k=1}^n \frac{Y_k}{10000} \cdot \sum_{k=1}^n \left( \frac{X_k}{10000} \right)^2 - \sum_{k=1}^n \left( \frac{X_k}{10000} \cdot \frac{Y_k}{10000} \right) \cdot \sum_{k=1}^n \frac{X_k}{10000} \\ \frac{D_{R_{02}}}{10^{12}} &= \frac{n}{10000} \cdot \sum_{k=1}^n \left( \frac{X_k}{10000} \cdot \frac{Y_k}{10000} \right) - \frac{1}{10000} \cdot \sum_{k=1}^n \frac{Y_k}{10000} \cdot \sum_{k=1}^n \frac{X_k}{10000} \end{aligned}$$

Đặt  $Y_{k2} = (Y_k / 10000) = (P_2 / 10000) \cdot (1 - \eta) / \eta$  với  $P_2$  đơn vị đo là W;

$X_{k2} = (X_k / 10000)$  tương đương  $(I_2)^2 / 10000$  với đơn vị đo  $I_2$  là A. Đặt  $D_2 = D / 10^{12}$ ;  $D_{2\_P_i} = D_{P_i} / 10^{12}$ ;  $D_{2\_R_{02}} = D_{R_{02}} / 10^{12}$ . Ta có:

$$\begin{cases} D_2 = \frac{n}{10000} \cdot \sum_{k=1}^n (X_{k2})^2 - \frac{1}{10000} \cdot \left( \sum_{k=1}^n X_{k2} \right)^2 \\ D_{2_{P_i}} = \sum_{k=1}^n Y_{k2} \cdot \sum_{k=1}^n (X_{k2})^2 - \sum_{k=1}^n (X_{k2} \cdot Y_{k2}) \cdot \sum_{k=1}^n X_{k2} \\ D_{2_{R_{02}}} = \frac{n}{10000} \cdot \sum_{k=1}^n (X_{k2} \cdot Y_{k2}) - \frac{1}{10000} \cdot \sum_{k=1}^n Y_{k2} \cdot \sum_{k=1}^n X_{k2} \end{cases} \quad (16)$$

Nếu  $D_2 \neq 0$  thì hệ PT (16) có nghiệm:

$$\begin{cases} P = \frac{D_{2_{P_i}}}{D_2} \\ R_{02} = \frac{D_{2_{R_{02}}}}{D_2} \end{cases} \quad (17)$$

Để đánh giá mô hình hồi quy có thể dùng các chỉ số:

- Sai số tuyệt đối trung bình (Mean Absolute Error - MAE);
- Hệ số xác định  $R^2$  (Coefficient of Determination);

Công thức tính  $R^2$ :

Nếu như  $\bar{y}$  là giá trị trung bình của dữ liệu quan sát được:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (18)$$

Tổng bình phương của các phần dư, còn gọi là tổng bình phương còn lại  $f_i$  (là giá trị tương ứng của mô hình dự đoán), hay tổng bình phương sai số:

$$SS_{res} = \sum_i (y_i - f_i)^2 = \sum_i e_i^2 \quad (19)$$

Tổng bình phương (tỷ lệ với phương sai của dữ liệu):

$$SS_{tot} = \sum_i (y_i - \bar{y})^2 \quad (20)$$

Định nghĩa chung nhất về hệ số xác định là:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (21)$$

nghĩa là tỷ số giữa đầu ra tính bằng kW so với đầu vào tính bằng kW và được biểu thị bằng 'η'.  
 dựng mô hình hiệu suất cho MBA công suất 5.000 KVA. Đây là mức công suất phổ biến của các TBA

Sử dụng dữ liệu mô phỏng 20 điểm để xây dựng mô hình hiệu suất cho MBA công suất 5.000 KVA. Đây là mức công suất phổ biến của các TBA trong các công ty khai thác than hầm lò. Tiếp theo, Đề tài áp dụng phương pháp tính toán nêu trên để xây dựng mô hình hiệu suất MBA.

**Bảng 1. Dữ liệu tính toán mô hình hiệu suất MBA**

TT	$P_2$ (W)	Load (%)	Hiệu suất $H_k$ (%)	$I_2$ (A)	$Y_{k2}$	$X_{k2}$	$(X_{k2})^2$	$X_{k2} \cdot Y_{k2}$
1	95000	2	82.5	16.6667	2.015152	0.027778	0.000771605	0.055976431
2	190000	4	90.3	33.3333	2.040975	0.111111	0.012345679	0.226774948
3	475000	10	95.5	83.3333	2.23822	0.694444	0.482253086	1.554319372
4	760000	16	96.7	133.333	2.593588	1.777778	3.160493827	4.610823854
5	950000	20	97	166.667	2.938144	2.777778	7.716049383	8.161512027
6	1140000	24	97.1	200	3.404737	4	16	13.61894954
7	1425000	30	97.2	250	4.104938	6.25	39.0625	25.6558642
8	1710000	36	97.1	300	5.107106	9	81	45.96395469
9	1900000	40	97	333.333	5.876289	11.1111	123.4567901	65.29209622
10	2375000	50	96.7	416.667	8.104964	17.3611	301.408179	140.7111772
11	2565000	54	96.6	450	9.02795	20.25	410.0625	182.8159938
12	2850000	60	96.4	500	10.64315	25	625	266.0788382
13	3135000	66	96.2	550	12.38358	30.25	915.0625	374.6031705

TT	$P_2(W)$	Load (%)	Hiệu suất $H_k$ (%)	$I_2 (A)$	$Y_{k2}$	$X_{k2}$	$(X_{k2})^2$	$X_{k2} \cdot Y_{k2}$
14	3325000	70	96	583.333	13.85417	34.02778 471.4265046 1157.88966	1157.88966	471.4265046
15	3610000	76	95.8	633.333	15.82672	40.11111	1608.901235	634.8274182
16	3800000	80	95.6	666.667	17.48954	44.44444	1975.308642	777.3128777
17	3990000	84	95.5	700	18.80105	49	2401	921.2513089
18	4275000	90	95.2	750	21.55462	56.25	3164.0625	1212.447479
19	4560000	96	95	800	24	64	4096	1536
20	4750000	100	94.8	833.333	26.05485	69.44444	4822.530864	1809.364744
<b>Tổng</b>			<b>1904.2</b>		<b>208.0597</b>	<b>485.8889</b>	<b>21748.11728</b>	<b>8491.979784</b>

Kết quả tính toán mô hình như Bảng 1

Ghi chú: Dấu chấm “.” Trong bảng là dấu thập phân

Tính theo công thức (16) và (17) ta có:

$$D_2 = 19,88743333$$

$$D_{2-P_i} = 398749,0636$$

$$D_{2-R_{02}} = 6,87456785$$

$$P_i = 20050,30297 \quad W$$

$$R_{02} = 0,345673961 \quad \text{Ohm}$$

Thay kết quả trên vào phương trình (3) ta có mô hình thu được như sau:

Thay các giá trị tương ứng vào mô hình (22 hoặc 23) và đối sánh dữ liệu với mẫu ban đầu ta có Bảng dữ liệu sai số (Bảng 2) và kết quả tính toán chỉ số đánh giá hiệu năng mô hình MAE và  $R^2$

**Bảng 2. Dữ liệu tính toán sai số mô hình hiệu suất MBA**

TT	$P_2(W)$	Load (%)	Hiệu suất $H_k$ (%)	Hiệu suất model (%)	ABS(e) (%)	$e^2$	$(H_k - H_{tb})^2$
1	95000	2	82.5	82.50393757	0.003937573	1.55045E-05	161.5441
2	190000	4	90.3	90.28955861	0.010441386	0.000109023	24.1081
3	475000	10	95.5	95.48689031	0.013109694	0.000171864	0.0841
4	760000	16	96.7	96.66809935	0.031900648	0.001017651	2.2201
5	950000	20	97	96.97321639	0.026783605	0.000717362	3.2041
6	1140000	24	97.1	97.11410942	0.014109419	0.000199076	3.5721
7	1425000	30	97.2	97.15990518	0.040094825	0.001607595	3.9601
8	1710000	36	97.1	97.09507987	0.004920126	2.42076E-05	3.5721
9	1900000	40	97	97.01511166	0.015111664	0.000228362	3.2041
10	2375000	50	96.7	96.73889507	0.038895075	0.001512827	2.2201
11	2565000	54	96.6	96.60841653	0.008416531	7.0838E-05	1.9321
12	2850000	60	96.4	96.39882732	0.001172683	1.37519E-06	1.4161
13	3135000	66	96.2	96.17699734	0.023002665	0.000529123	0.9801



TT	$P_2(W)$	Load (%)	Hiệu suất $H_k$ (%)	Hiệu suất model (%)	ABS(e) (%)	$e^2$	$(H_k - H_{tb})^2$
14	3325000	70	96	96.0240604	0.024060405	0.000578903	0.6241
15	3610000	76	95.8	95.78894605	0.011053952	0.00012219	0.3481
16	3800000	80	95.6	95.62921366	0.029213662	0.000853438	0.1521
17	3990000	84	95.5	95.46760259	0.032397409	0.001049592	0.0841
18	4275000	90	95.2	95.22241046	0.022410455	0.000502228	1E-04
19	4560000	96	95	94.97469716	0.025302842	0.000640234	0.0441
20	4750000	100	94.8	94.80851314	0.008513139	7.24735E-05	0.1681
<b>Tổng</b>			<b>1904.2</b>		<b>0.384847758</b>	<b>0.010023866</b>	<b>213.438</b>

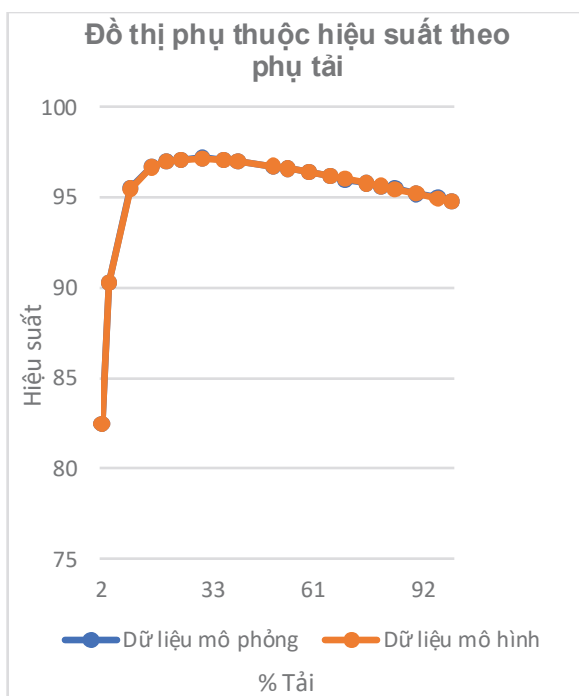
Ghi chú: Dấu chấm “.” Trong bảng là dấu thập phân

Chỉ số đánh giá mô hình hiệu suất MBA:

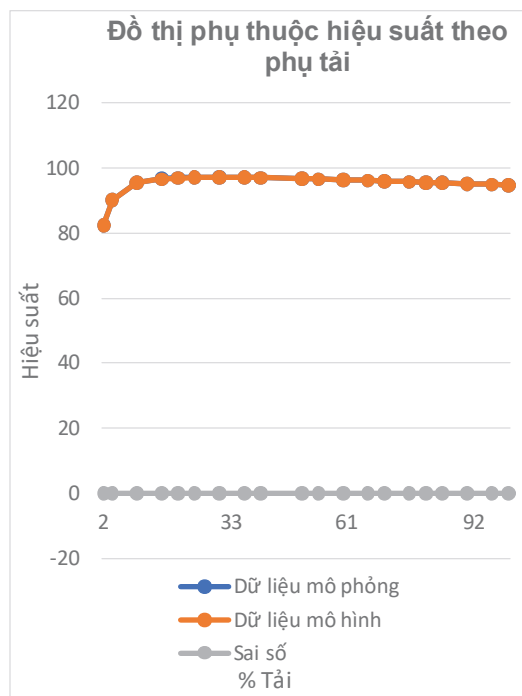
Sai số tuyệt đối trung bình (Mean Absolute Error - MAE): 0,019

Hệ số xác định  $R^2$  (Coefficient of Determination): 0,99

Với dữ liệu mô phỏng và kết quả nêu trên, có thể nói mô hình dự đoán có tương quan mạnh.



H.3a. Đồ thị phụ thuộc hiệu suất MBA theo tải dựa trên dữ liệu mô phỏng và mô hình hồi quy



H.3b. Đồ thị phụ thuộc hiệu suất MBA theo tải dựa trên dữ liệu mô phỏng và mô hình hồi quy kèm sai số

Hình H.3a cho thấy đường cong màu vàng (mô hình dự đoán) gần trùng khít với đường cong màu xanh (dữ liệu mô phỏng), Hình H.3b cho thấy sai số rất nhỏ (đường màu xám nằm sát trục hoành). Khi

triển khai thực tế, đường cong mô hình sẽ được xây dựng dựa trên dữ liệu thu thập từ các đồng hồ đo điện năng phía sơ cấp và thứ cấp MBA. Số điểm tối đa lấy dữ liệu là  $5.000kVA/100kVA = 50$

điểm, có nghĩa là dải công suất MBA được chia thành 50 đoạn, mỗi đoạn có độ rộng 100kVA. Số điểm thực tế sử dụng xây dựng mô hình phụ thuộc vào phụ tải min, max trên thực tế của từng MBA. Các điểm đầu mút (biên) của miền xác định công suất MBA quan trọng cho hồi quy nên thời điểm quyết định đủ dữ liệu chạy hồi quy sẽ được xem xét trong quá trình vận hành thực tế.

Sau khi có mô hình dự đoán hiệu suất MBA, mô hình sẽ chạy online trên thiết bị điều khiển hiện trường (PLC, vi điều khiển...), ứng với mỗi tổ hợp thông số đầu vào MBA sẽ có đầu ra là hiệu suất MBA theo mô hình tính toán được, hiệu suất này gọi là giá trị mục tiêu (target values) hay giá trị mong chờ (expected values). Hiệu suất thực tế của MBA sẽ được so sánh với giá trị mục tiêu, nếu

phát hiện hiệu suất thực tế nhỏ hơn hiệu suất mục tiêu ở một mức độ nhất định thì cảnh báo. Nếu độ suy giảm hiệu suất thực tế so với hiệu suất tính từ mô hình có xu hướng tăng thì cũng báo động khi vượt ngưỡng.

### KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cơ sở lý thuyết xây dựng mô hình hiệu suất MBA, thực hiện các phép biến đổi từ mô hình phi tuyến thành tuyến tính để dễ dàng sử dụng hồi quy tuyến tính. Sử dụng phương pháp bình phương bé nhất để tìm mô hình hiệu suất trên cơ sở dữ liệu mô phỏng. Kết quả tính toán cho thấy mô hình dự đoán có tương quan mạnh, sai số thấp, có khả năng áp dụng vào thực tế □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Văn Bình, Lê Văn Doanh (2006), Máy biến áp, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội
2. Huỳnh Đức Hoàn (2020), Nhà máy điện và trạm biến áp, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội

## METHOD FOR PREDICTING TRANSFORMER PERFORMANCE FOR EARLY WARNING IN MINE POWER SUBSTATIONS

Trinh Hai Thai, Pham Thi Phuong Hoa  
Le Ke Trung, Le Van Linh

Vietnam Reseach Institute of electronics, informatics and Automation

### ABSTRACT

*In the power supply system, transformer efficiency at substations must be continuously monitored to detect performance deterioration, thereby providing early warning for maintenance and prevention before incidents occur. The article presents a method for establishing a transformer efficiency degradation model using linear regression to predict and calculate transformer performance degradation.*

**Keywords:** model, transformer efficiency degradation model, preventive maintenance

**Ngày nhận bài:** 14/12/2023;

**Ngày gửi phản biện:** 15/12/2023;

**Ngày nhận phản biện:** 25/01/2024;

**Ngày chấp nhận đăng:** 28/01/2024.

**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.