

# Ứng dụng bộ lọc Kalman để xây dựng mô hình và thuật toán role bảo vệ khoảng cách

## *Application Kalman filter for building model and algorithm distance protection relay*

Huỳnh Đức Hoàn<sup>1</sup>, Trần Xuân Khoa<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Trường Đại học Quy Nhơn

e-Mail: <sup>1</sup>hdhoan@gmail.com; <sup>2</sup>khoadkt@gmail.com

Phạm Ngọc Minh, Nguyễn Hà Phương

Viện Công nghệ thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Trần Anh Phương

Viện H56, Tổng cục Hậu cần - Kỹ thuật, Bộ Công an

### Tóm tắt

Bài báo này sử dụng bộ lọc Kalman (KF) để xây dựng mô hình và thuật toán cho role bảo vệ khoảng cách trên đường dây truyền tải điện năng. Tín hiệu dòng điện và điện áp tại vị trí đặt bảo vệ được thêm một lượng nhiễu trắng Gaussian (tương ứng với lượng nhiễu trong đo lường tạo ra). Sau đó sử dụng KF cho dòng điện và điện áp của từng pha để xác định tổng trở phức khi xảy ra sự cố trên đường dây. Tổng trở phức trên mỗi pha đo được sẽ được so sánh với các vùng khởi động để phát hiện sự cố ngắn mạch và tác động cắt máy cắt với thời gian tương ứng của vùng đó. Bài báo đã đề xuất mô hình lưới điện đường dây có hai nguồn cung cấp và một phụ tải để kiểm chứng tính hiệu quả của thuật toán đã đề xuất trên Matlab/Simulink. Qua đó cho thấy với thuật toán này role đảm bảo làm việc một cách chính xác, tăng độ tin cậy của bảo vệ role.

**Từ khóa-** Bộ lọc Kalman; bảo vệ khoảng cách; Matlab/Simulink.

### Abstract

This paper uses Kalman filter to construct model and algorithm distance protection relay in power transmission lines. Current and voltage signals at protection relay location are added white Gaussian noise (corresponding to the amount of noise generated in measurement process). Then KF is used to process the current and voltage signals of each phase to determine the complex impedance when a fault occurs on the transmission line. The complex impedance per phase which is measured by protection will be compared with the setting impedance zones to detect the fault and send trip signal to the breaker with the corresponding setting time. This paper proposes a line model with two sources and a load in Matlab/Simulink to evaluate the effectiveness of the proposed algorithm. The simulation results show that the proposed algorithm works correctly, increase the reliability of protection relay.

**Key words-** Kalman filter; distance protection; Matlab/Simulink.

### Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
c	F	Điện dung
l	H	Điện cảm
r	$\Omega$	Điện trở
f	Hz	Tần số
t	s	Thời gian
P	MW	Công suất tác dụng
S	MVA	Công suất biểu kiến
Z	$\Omega$	Tổng trở
$\varphi$	Rad	Góc pha

### Chữ viết tắt

BV	Bảo vệ
BVKC	Bảo vệ khoảng cách
KF	Bộ lọc Kalman
NM	Ngắn mạch

### 1. Phần mở đầu

Trong quá trình đo lường hay truyền tải tín hiệu của bảo vệ role thường gây ra nhiễu và sai số trong đo lường, nó làm giảm độ tin cậy của hệ thống bảo vệ role. Nên việc xử lý tín hiệu để giảm lượng nhiễu và nâng cao độ chính xác trong đo lường của hệ thống bảo vệ role là một vấn đề rất được quan tâm hiện nay. Việc xử lý tín hiệu trong bảo vệ role yêu cầu độ chính xác cao, để tránh hiện tượng tác động nhầm sự cố do nhiễu hay sai số trong đo lường gây ra, gây thiệt hại cho hệ thống điện. Vì vậy việc tìm ra những phương pháp nhằm nâng cao độ chính xác cho việc xử lý tín hiệu trong bảo vệ role nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện là một điều cần thiết.

Hiện nay, đa phần các việc xử lý tín hiệu trong hệ thống điện chủ yếu dùng phép biến đổi Fourier nhưng phép biến đổi Fourier có một số nhược điểm đó là khi biến đổi sang miền tần số, thông tin thời gian đã bị mất. Dựa vào biến đổi Fourier của tín hiệu ta không thể nào biết cụ thể thời gian diễn ra sự kiện. Nếu một thuộc tính tín hiệu không thay đổi nhiều theo thời gian, còn được gọi là tín hiệu tĩnh thì các nhược điểm trên không có ảnh hưởng quan trọng nhưng trên thực tế có nhiều tín hiệu chứa các thông số động: trôi,

ngiên, biến đổi đột ngột, khởi đầu và kết thúc các sự kiện,... nên sử dụng phương pháp Fourier không thể phát hiện sớm được những sự cố như ngắn mạch (NM)... Để có thể cải thiện chất lượng tín hiệu đưa vào role có nhiều phương pháp xử lý tín hiệu khác nhau để nâng cao độ chính xác như phép biến đổi Stockwell, bộ lọc Kalman, phép biến đổi Wavelet... Vì vậy trong bài báo này nhóm tác giả đề xuất sử dụng phương pháp KF để xây dựng mô hình role bảo vệ khoảng cách.

## 2. Nội dung chính

### 2.1. Tổng quan về KF

KF [3] là thuật toán sử dụng chuỗi các giá trị đo lường, bị ảnh hưởng bởi nhiễu hoặc sai số, để ước đoán biến số nhằm tăng độ chính xác so với việc sử dụng duy nhất một giá trị đo lường. KF thực hiện phương pháp truy hồi đối với chuỗi các giá trị đầu vào bị nhiễu, nhằm tối ưu hóa giá trị ước đoán trạng thái của hệ thống. Nên KF có khả năng lọc nhiễu và bám tín hiệu tốt hơn so với phương pháp Fourier.

Quá trình ước lượng trạng thái được mô tả theo phương trình sai phân tuyến tính sau:

$$X_k = G_k X_{k-1} + W_k, X_k \in R^n \quad (1)$$

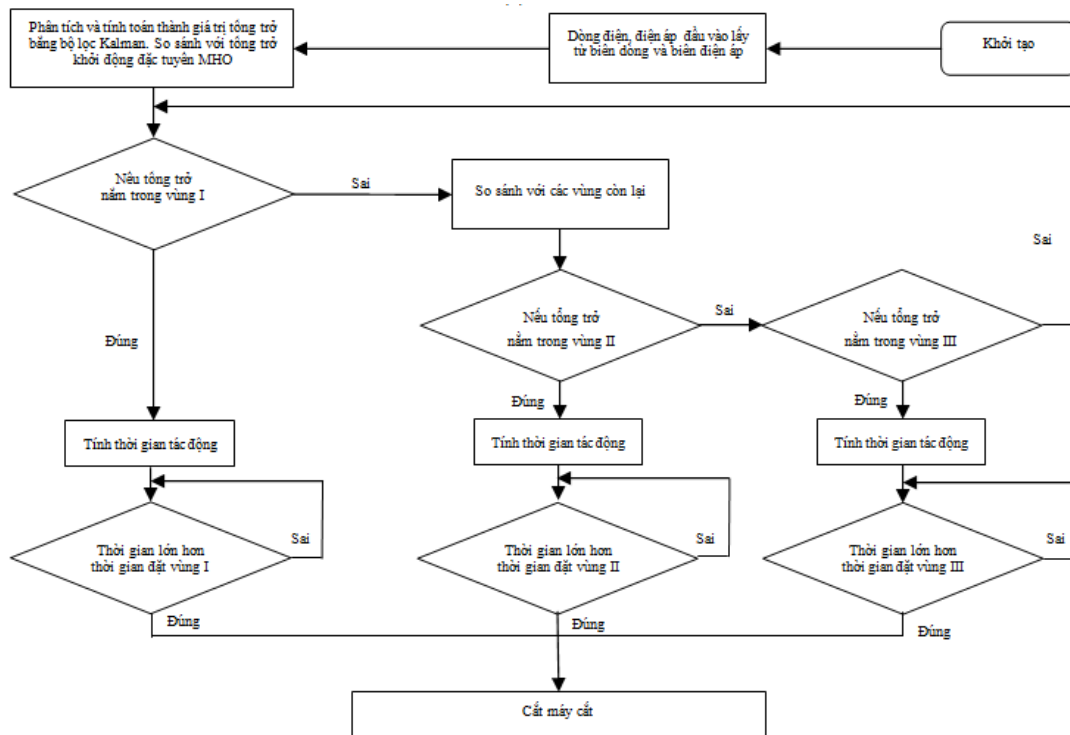
Trong đó: G là ma trận biến đổi trạng thái G từ thời điểm k-1 sang thời điểm k.

$W_k$  là nhiễu quá trình, trong bài toán của bài báo này ta giả thiết là nhiễu trắng Gaussian cộng tính với kỳ vọng bằng 0 và ma trận tương quan được xác định bởi:

$$E[W(n)W^T(k)] = \begin{cases} Q(k); n = k \\ 0; n \neq k \end{cases} \quad (2)$$

Quá trình ước lượng phép đo được mô tả theo

### 2.2. Sơ đồ thuật toán của role bảo vệ khoảng cách ứng dụng bộ lọc Kalman



H.2 Sơ đồ thuật toán role bảo vệ khoảng cách

phương trình sai phân tuyến tính sau:

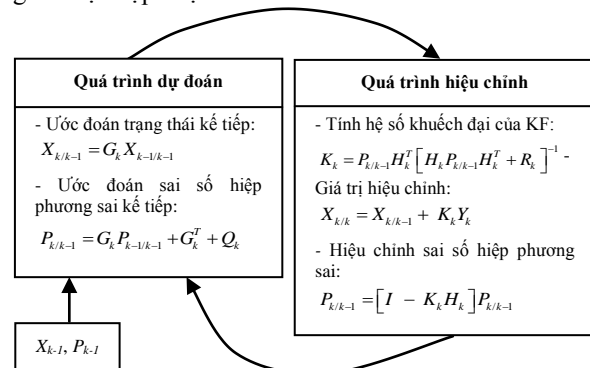
$$Z_k = H_k X_k + V_k, Z_k \in R^n \quad (3)$$

Trong đó: H là ma trận là ma trận của phép đo.

$V_k$  là nhiễu phép đo, trong bài toán của bài báo này ta giả thiết là nhiễu trắng Gaussian tính với kỳ vọng bằng 0 và ma trận tương quan được xác định bởi:

$$E[V(n)V^T(k)] = \begin{cases} R(k); n = k \\ 0; n \neq k \end{cases} \quad (4)$$

Việc tính toán trong KF được chia làm hai giai đoạn: giai đoạn dự báo và giai đoạn cập nhật. Trong giai đoạn dự báo số liệu được lấy ở lần đo được gần nhất và việc tính toán dữ liệu được thực hiện trong giai đoạn cập nhật.



H.1 Sơ đồ thuật toán của KF [4]

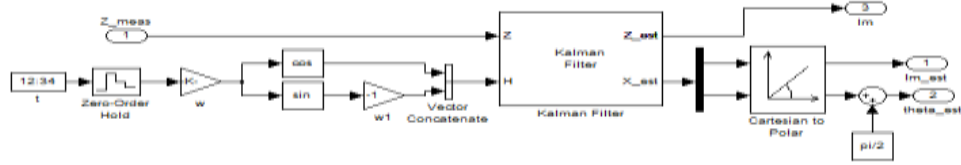
Hiện nay KF được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật, phổ biến trong các ứng dụng định hướng, định vị và điều khiển các phương tiện di chuyển. Ngoài ra, KF còn được ứng dụng để phân tích dữ liệu trong các lĩnh vực kinh tế và vực xử lý tín hiệu trong hệ thống điện

Khi có sự cố thì dòng điện và điện áp từ biến dòng biến điện áp được đưa về role để phân tích và tính toán thành giá trị tổng trở. Giá trị tổng trở đo được sẽ so sánh với giá trị đặt của từng vùng khởi động, trong

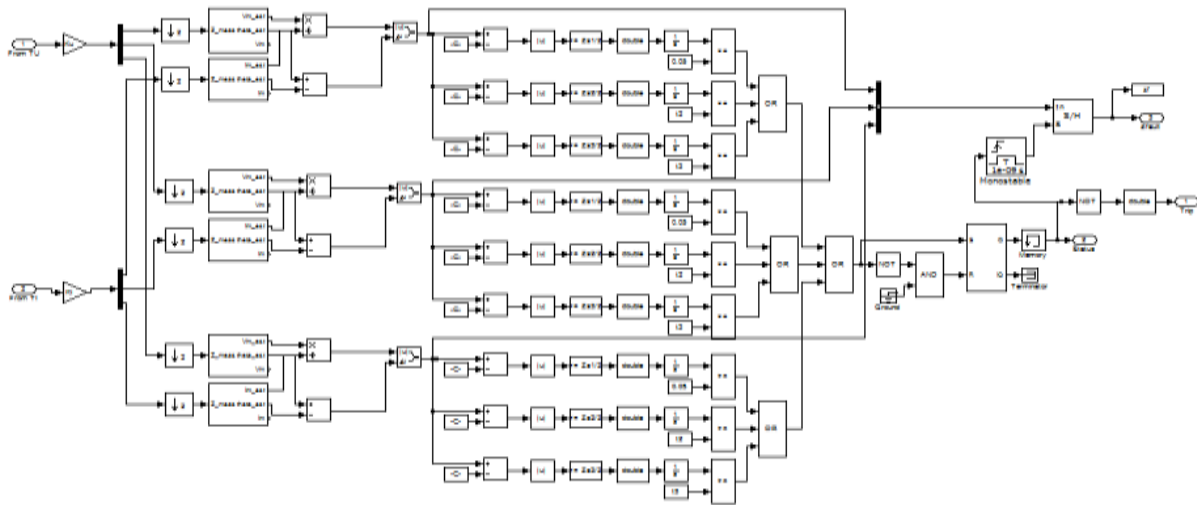
nội dung bài báo này ta sử dụng đặc tuyến khởi động MHO. Nếu tổng trở đo được nằm trong vùng khởi động nào của BV thì sẽ đưa tín hiệu cắt máy cắt tương ứng với thời gian đặt của vùng đó.

**2.3. Mô hình KF trong role bảo vệ khoảng cách sử dụng đặc tuyến khởi động MHO**

Mô hình của KF và role BVKC sử dụng KF được trình bày như ở hình 4 và hình 5.



**H.3** Mô hình KF xây dựng trên Matlab/Simulink [5]



**H.4** Mô hình role BVKC sử dụng KF trên Matlab/Simulink [6]

Tín hiệu từ biến điện áp và biến dòng điện sau khi được thêm 1 lượng nhiễu trắng Gaussian sẽ được lấy mẫu để đưa vào KF, khi đó tín hiệu được phân tích thông qua KF.

Với: Phương sai đo lường  $R = 1e-2$ .

$$\text{Phương sai mô hình } Q = \begin{bmatrix} 1e-5 & 0 \\ 0 & 1e-5 \end{bmatrix}$$

$$\text{Ma trận chuyển đổi trạng thái } G_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Ma trận đo lường } H = [\cos(k\omega T) \quad -\sin(k\omega T)].$$

Trên thực tế thì giá trị R, Q có thay đổi nhưng không đáng kể nên trong bài toán này ta xem như không đổi.

Khi đó tín hiệu qua KF sẽ cho giá trị biên độ và góc pha của dòng điện, điện áp từng pha. Giá trị tổng trở từng pha sẽ được tính toán dựa vào giá trị dòng điện và điện áp mà KF phân tích được. Từ đó đi so sánh với từng vùng tổng trở khởi động. Nếu giá trị tổng trở ngắn mạch nằm trong vùng khởi động nào thì đưa tín hiệu cắt máy cắt tương ứng với vùng đó. Khi tổng trở nằm ngoài vùng khởi động thì bảo vệ sẽ không tác động.

**2.4. Kết quả mô phỏng**

Để đánh giá hiệu quả làm việc của mô hình role BVKC được xây dựng ở mục 2.3, mục này nhóm tác

giả đề xuất lưới điện gồm hai nguồn cấp điện cho một phụ tải thông qua một đường dây có đặt BVKC ở hai đầu đường dây như hình 6 và số liệu như bảng 1. Ngoài ra để đánh giá khả năng lọc nhiễu của KF nhóm tác giả cộng thêm một lượng nhiễu trắng Gaussian vào các tín hiệu đo lường của các biến dòng và biến điện áp.

Nhóm tác giả đề xuất các điểm NM tính toán như sau:

N1 – NM 3 pha ở đầu đường dây, được sử dụng để kiểm tra khi NM ở đầu đường dây BV1 có tác động không.

N2 – NM 3 pha cách BV1 100 km, được sử dụng để kiểm tra NM nằm trong vùng thứ nhất của cả hai BV.

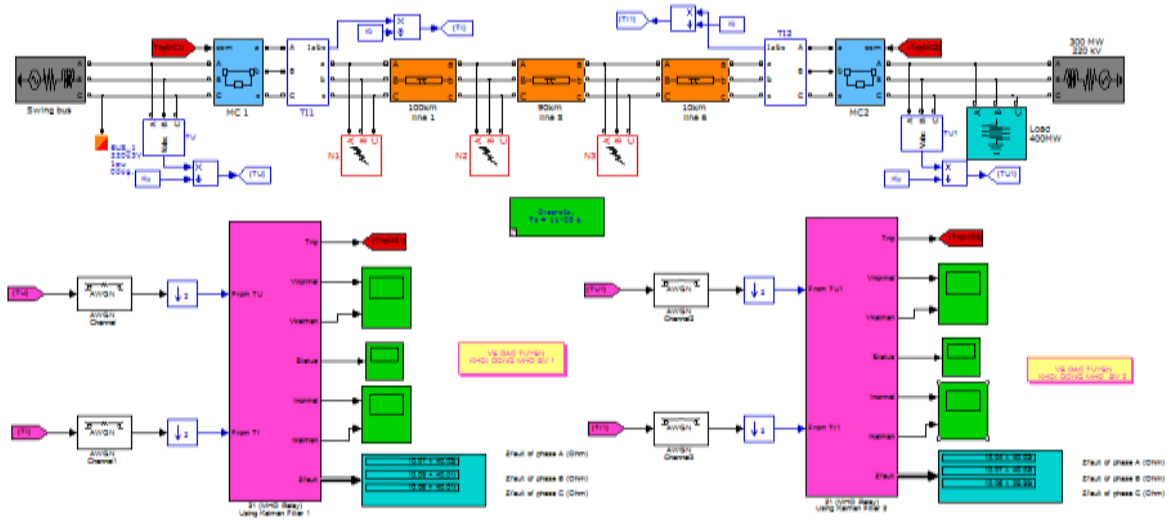
N3 – NM 3 pha cách BV1 190 km, được sử dụng để kiểm tra NM nằm trong vùng thứ hai của BV1 và vùng thứ nhất của BV2.

**Bảng 1.** Thông số các phần tử

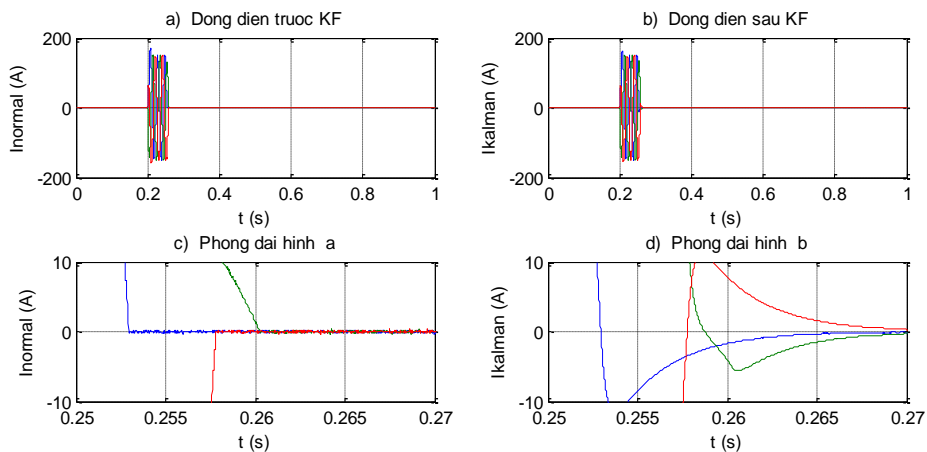
Phần tử	Thông số
Nguồn	Nút 1: Nút cân bằng công suất; f = 50 (Hz); U <sub>1</sub> = 220 (kV). Nút 2: P = 300 (MW); U <sub>2</sub> = 220 (kV); f = 50 (Hz).
Đường dây	r <sub>0</sub> = r <sub>1</sub> = 0,1 (Ω/km); l <sub>0</sub> = l <sub>1</sub> = 0,4/(2π50) (H/km); c <sub>0</sub> = c <sub>1</sub> = 10 <sup>-12</sup> (F/km); L = 200 (km).

Phụ tải	$S = 100 \text{ (MVA)}$ ; $\cos \varphi = 1$
N1, N2, N3.	$R_g = 2 \text{ } (\Omega)$ ; $t_f = 0,2 \text{ (s)}$ .
Nhiều trắng Gaussian	$\text{SNR} = 20 \text{ (dB)}$ .

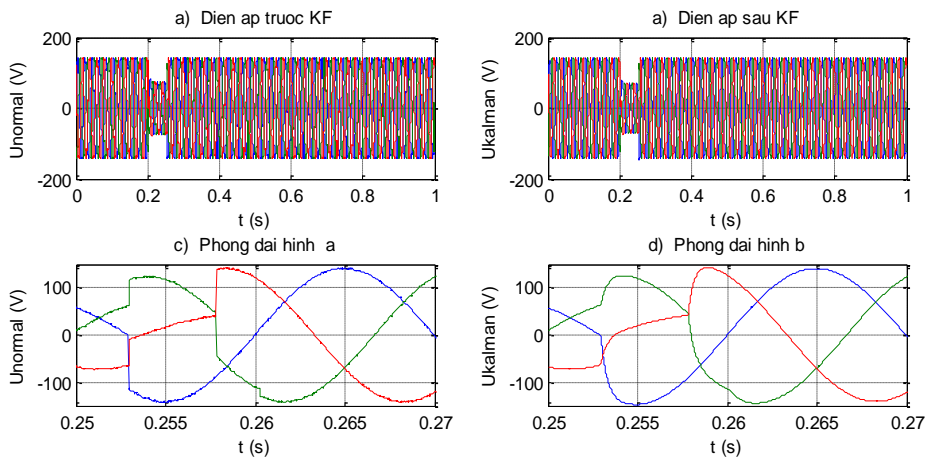
Role 21 Kalman MHO	$Z_{1s}=66(\Omega)$ ; $Z_{2s}=125(\Omega)$ ; $Z_{3s}=165(\Omega)$ ; TMS: $t_1=0,05(s)$ ; $t_2=0,3(s)$ ; $t_3=0,6(s)$ .
-----------------------	---



**H.5** Mô hình mô phỏng role BVKC sử dụng KF đặc tuyến khởi động MHO cho đường dây có hai nguồn cung cấp điện. Ngắn mạch 3 pha tại N1 (khi BV1 tác động)

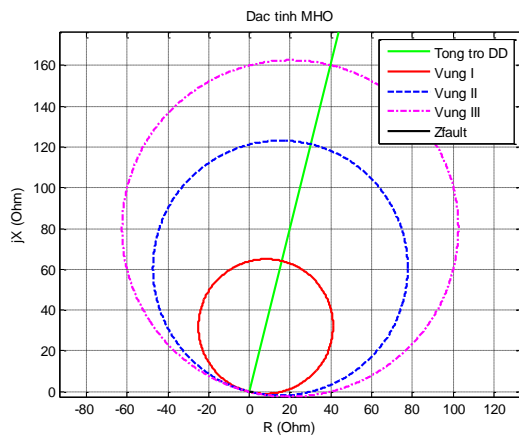


**H.6** Kết quả dòng điện của role 21 MHO của BV1 khi NM 03 pha tại N1; a)Giá trị dòng điện TI trước KF; b)Giá trị dòng điện TI sau KF; c)Phóng đại hình a; d)Phóng đại hình b.

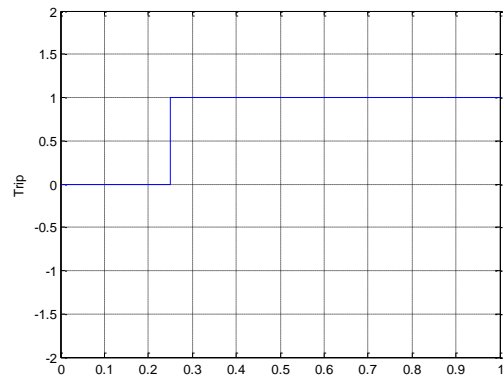


**H.7** Kết quả điện áp của role 21 MHO của BV1 khi NM 03 pha tại N1;

a) Giá trị điện áp TU trước KF; b) Giá trị điện áp TU sau KF; b) Phóng đại hình a; d) Phóng đại hình b.

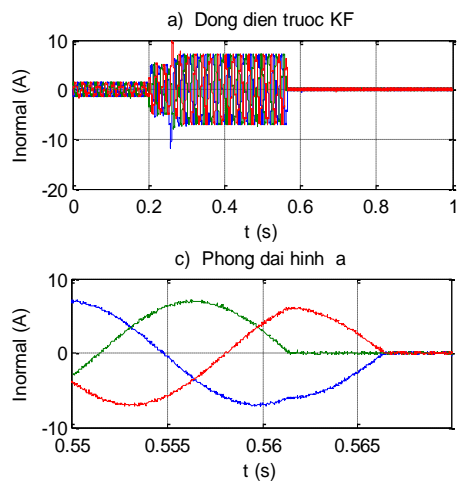


**H.8** Kết quả  $Z_{fault}$  của BV1 khi NM 03 pha tại N1

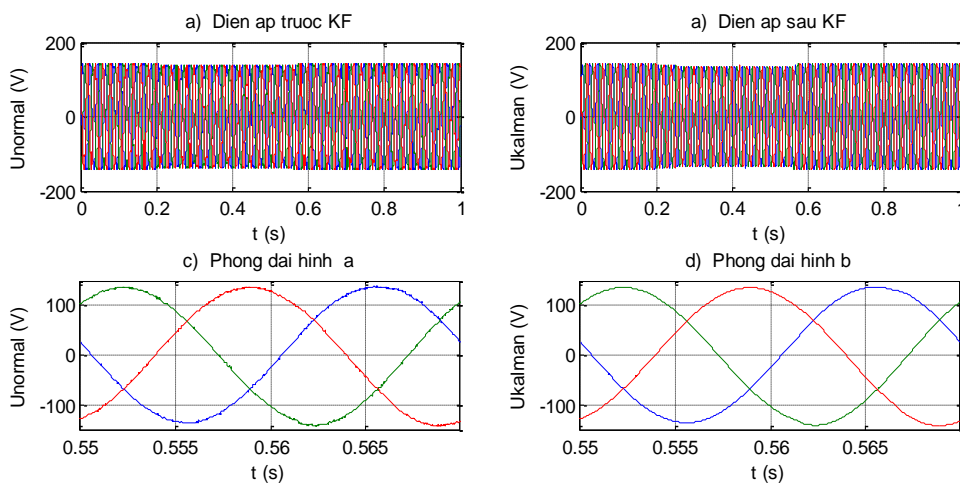


**H.9** Tín hiệu cắt máy cắt của BV1 khi NM 03 pha tại N1

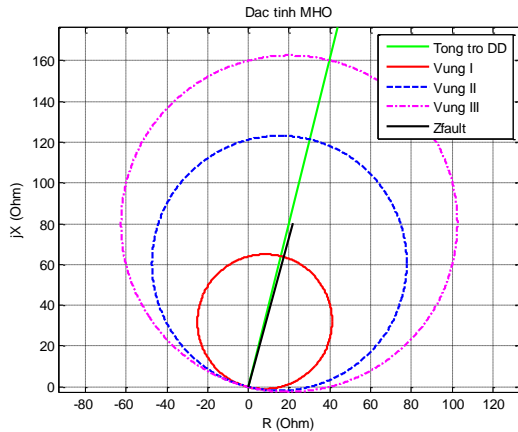
Ngắn mạch 3 pha tại N1 (khi BV2 tác động)



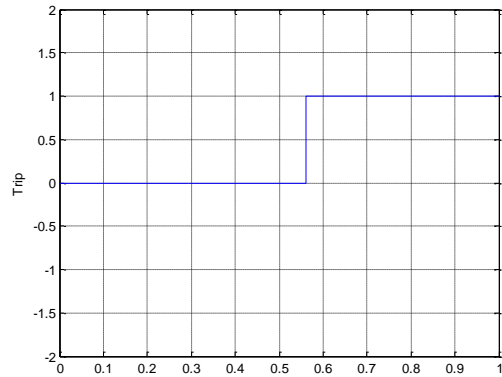
**H.10** Kết quả dòng điện của role 21 MHO của BV2 khi NM 03 pha tại N1; a) Giá trị dòng điện TI trước KF; b) Giá trị dòng điện TI sau KF; b) Phóng đại hình a; d) Phóng đại hình b.



**H.11** Kết quả điện áp của role 21 MHO của BV2 khi NM 03 pha tại N1; a) Giá trị điện áp TU trước KF; b) Giá trị điện áp TU sau KF; b) Phóng đại hình a; d) Phóng đại hình b.



**H.12** Kết quả Zfault của BV2 khi NM 03 pha tại N1



**H.13** Tín hiệu cắt máy cắt của BV2 khi NM 03 pha tại N1

Tương tự khi NM ở N1, N2, N3 ta có kết quả của BV1 và BV2 như bảng 2 và 3:

**Bảng 2.** Kết quả tổng trở và thời gian tác động của BV1

Vị trí điểm NM cách BV1 (km)	Tổng trở khi ngắn mạch ( $\Omega$ )			Thời gian tác động của role (s)	Vùng bảo vệ
	Pha A	Pha B	Pha C		
0 (N1)	2,066+j0,00556	2,068+j0,00515	2,008+j0,00651	0,0503	Vùng I
100 (N2)	14,02+j39,2	13,92+j39,79	14,18+j39,45	0,0531	Vùng I
190 (N3)	21,6+j75,66	21,29+j76,52	21,33+j76,05	0,3040	Vùng II

**Bảng 3.** Kết quả tổng trở và thời gian tác động của BV2

Vị trí điểm NM cách BV2 (km)	Tổng trở khi ngắn mạch ( $\Omega$ )			Thời gian tác động của role (s)	Vùng bảo vệ
	Pha A	Pha B	Pha C		
200 (N1)	22,28+j80,32	22,79+j79,95	22,04+j80,11	0,3591	Vùng II
100 (N2)	13,92+j40,13	13,95+j40,48	14,2+j40,21	0,0536	Vùng I
10 (N3)	3,193+j4,036	3,193+j4,044	3,199+j4,043	0,0505	Vùng I

**Nhận xét:**

Ở chế độ làm việc bình thường, tổng trở lúc này sẽ là tổng trở bình thường của đường dây. Nhưng khi xảy ra NM, tổng trở đi qua bảo vệ sẽ giảm đi rất nhiều và giá trị này sẽ càng giảm mạnh khi ngắn mạch gần nơi đặt bảo vệ và khi đó sau một thời gian đặt của RL thì BV sẽ đưa tín hiệu cắt MC để cô lập sự cố. Ta thấy rằng ứng với mỗi điểm NM tương ứng với từng vùng BV khác nhau thì thời gian tác động khác nhau. Khi NM trong cùng một vùng bảo vệ nhưng NM nào gần điểm đặt bảo vệ hơn thì thời gian tác động sẽ nhanh hơn.

Từ các hình 6, 7, 10 và 11 ta thấy tín hiệu dòng điện và điện áp sau KF sẽ cho tín hiệu đầu ra ít nhiễu và bám tín hiệu tốt nên tín hiệu đưa vào bảo vệ sẽ chính xác hơn, vì vậy bảo vệ sẽ tác động nhanh hơn và hạn chế được tác động nhầm do nhiễu và sai số trong đo lường gây ra. trước khi đưa vào bảo vệ nên sẽ giảm được sai số trong đo lường và nâng cao độ tin cậy của

bảo vệ role.

Kết quả từ bảng 2, và bảng 3 ta thấy rằng ứng với mỗi điểm NM nằm trong những vùng khác nhau thì thời gian tác động khác nhau, khi NM trong vùng nào thì bảo vệ đó tác động trong thời gian đặt của vùng đó.

Khi NM trong cùng một vùng bảo vệ nhưng NM nào gần điểm đặt bảo vệ hơn thì thời gian tác động sẽ nhanh hơn.

**3. Kết luận**

Bài báo này đã ứng dụng KF trong role BVKC sử dụng đặc tuyến khởi động MHO mô phỏng trong thời gian thực trên Matlab/Simulink. Sơ đồ lưới điện gồm hai nguồn cấp điện cho một phụ tải thông qua đường dây được khảo sát để áp dụng mô hình role đã đề xuất, tín hiệu đưa vào mô hình role được thêm một lượng nhiễu trắng Gaussian để thấy được khả năng lọc nhiễu của KF ở tín hiệu ra.

Các kết quả mô phỏng đã kiểm chứng được chức

năng, đặc tuyến MHO của role làm việc chính xác và cho thấy được tín hiệu qua KF ít nhiễu hơn so với trước khi đưa vào bảo vệ nên sẽ giảm được sai số trong đo lường và nâng cao độ tin cậy của bảo vệ role.

Mô hình của role được tích hợp trong Matlab/Simulink nên dễ dàng áp dụng để nghiên cứu BVKC bằng các phương pháp xử lý tín hiệu hiện đại khác nhau trong hệ thống điện.

Từ mô hình trên ta có thể xây dựng các mô hình BVKC bằng KF để thay thế bảo vệ cho các kiểu đường dây truyền tải có hai nguồn cung cấp, ba nguồn cung cấp thường dùng phương pháp biến đổi Fourier... Từ đó ứng dụng vào cho đường dây siêu cao áp 500 kV Việt Nam trong tương lai.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Kim Hùng, Đoàn Ngọc Minh Tú, *Bảo vệ role và tự động hóa*, NXB Giáo dục.
- [2] Nguyễn Hoàng Việt, *Bảo vệ role và tự động hóa trong hệ thống điện*, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [3] Greg Welch, Gary Bishop, *An Introduction to the Kalman filter*, Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill.
- [4] Hisham Odeh Alrawashdeh, *An adaptive Kalman filter for voltage sag detection in power systems*, Western Michigan University, US.
- [5] John Wiley, *Kalman filtering theory and practice using Matlab*, Published simultaneously in Canada.
- [6] Li-Cheng Wu, *Chih-Wen Liu, Modeling and testing of a digital distance relay using Matlab/Smulink*, IEEE Department of Electrical Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.



#### **Huỳnh Đức Hoàn:**

Năm 1993: Tốt nghiệp Cử nhân Lý - Kỹ thuật công nghiệp, tại Trường ĐH Quy Nhơn. Năm 1998: Tốt nghiệp Kỹ sư ngành Thiết bị điện - Điện tử, tại Trường ĐH Bách khoa Hà Nội. Năm 2004: Tốt nghiệp Thạc sĩ, ngành Thiết bị điện - Điện tử, tại Trường ĐH Bách khoa Hà Nội. Năm 2009: Tốt nghiệp Tiến sĩ, ngành Thiết bị điện - Điện tử, tại Trường ĐH Bách khoa Hà Nội. Công việc hiện tại: Trưởng phòng Cơ sở vật chất Trường ĐH Quy Nhơn. Lĩnh vực quan tâm: Bảo vệ hệ thống điện, hồ quang điện, thiết kế hệ thống điện



#### **Trần Xuân khoa:**

Năm 2011: Tốt nghiệp đại học, ngành Kỹ thuật điện, tại Trường ĐH Quy Nhơn. Năm 2013-2015: Học Thạc sĩ, ngành Kỹ thuật điện, tại Trường ĐH Quy Nhơn. Công việc hiện tại: Kỹ sư Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường ĐH Quy Nhơn. Lĩnh vực quan tâm: Bảo vệ hệ thống điện, thiết kế hệ thống điện.



#### **Phạm Ngọc Minh**

Anh tốt nghiệp chuyên ngành Điều khiển Tự động (1994-1999) tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Bảo vệ thành công Luận án Thạc sĩ khoa học ngành Kỹ thuật Đo lường và Điều khiển Tự động (2004) và hiện nay đang theo học nghiên cứu sinh ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa tại Viện Công nghệ thông tin (Viện CNTT) – Viện HL KHCNVN. Hiện nay, anh là Trưởng phòng Kỹ thuật điều khiển và Hệ thống nhúng – Viện CNTT. Hướng nghiên cứu chính: Hệ thống nhúng, Điều khiển quá trình, Mạng truyền thông công nghiệp, Mạng không dây băng thông rộng, Điều khiển robot và Xử lý ảnh.



**Nguyễn Hà Phương** nhận bằng Kỹ sư Tự động hóa trường Đại học Mỏ Địa Chất năm 2013. Hiện nay, đang công tác tại Phòng Kỹ thuật điều khiển và Hệ thống nhúng, Viện Công nghệ thông tin - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam với vai trò nghiên cứu viên. Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển quá trình, Mạng truyền thông công nghiệp, Mạng không dây băng thông rộng.



#### **Trần Anh Phương**

Sinh 1976. Anh tốt nghiệp Thạc sĩ chuyên ngành Điện tử-Viễn thông năm 2004 tại Học viện Kỹ thuật Quân sự. Hiện nay, anh là Phó trưởng phòng 3, Viện H56, Tổng cục Hậu cần - Kỹ thuật, Bộ Công an

