

ỨNG DỤNG BỘ LỌC KALMAN TRONG ROLE BẢO VỆ KHOẢNG CÁCH SỬ DỤNG ĐẶC TUYẾN KHỞI ĐỘNG MHO

APPLICATION OF KALMAN FILTER TO DISTANCE PROTECTION RELAY USING MHO CHARACTERISTIC

Huỳnh Đức Hoàn, Trần Xuân Khoa

¹Trường Đại học Quy Nhơn; hdhoan@gmail.com; khoadt@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo này sử dụng bộ lọc Kalman (KF) để xây dựng mô hình role bảo vệ khoảng cách (BVKC) sử dụng đặc tuyến khởi động MHO 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 xử lý tín hiệu 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 do bảo vệ đo được sẽ được so sánh với các vùng tổng trở khởi động để phát hiện sự cố ngắn mạch (NM) 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; đặc tuyến MHO; Matlab/Simulink; role.

1. Đặt vấn đề

Việc yêu cầu nâng cao độ tin cậy của hệ thống điện cũng như độ tin cậy của bảo vệ role ngày càng được quan tâm, nhưng trong quá trình đo lường hay truyền tải tín hiệu của bảo vệ role thường gây ra nhiễu và sai số trong đo lường, điều này sẽ 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 cần thiết. Việc xử lý tín hiệu trong bảo vệ role yêu cầu độ chính xác cao nhằm tránh hiện tượng tác động nhầm sự cố do nhiễu hay sai số trong quá trình đo lường gây ra, gây thiệt hại cho hệ thống điện. Vì vậy, việc tìm ra những phương pháp nâng cao độ chính xác trong xử lý tín hiệu của bảo vệ role nhằm nâng cao độ tin cậy cung cấp điện là một điều cần thiết.

Hiện nay, 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, nên dựa vào biến đổi Fourier của tín hiệu ta sẽ 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 như: trời, nghiêng, biến đổi đột ngột, khởi đầu và kết thúc các sự kiện,... nên khi sử dụng phương pháp Fourier sẽ không thể phát hiện sớm được những sự cố như NM. Để có thể cải thiện chất lượng tín hiệu đưa vào role có nhiều phương pháp xử lý tín hiệu khác nhau như phép biến đổi Stockwell, KF, phép biến đổi Wavelet... Vì vậy, trong bài báo này nhóm tác giả đề

Abstract - This paper uses Kalman filter to construct distance protection relay using MHO characteristic in power transmission lines. White Gaussian noise (corresponding to the amount of noise generated in measurement process) is added to current and voltage signals at protection relay location. 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 and increase the reliability of protection relay.

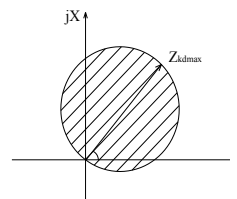
Key words - Kalman filter; distance protection; MHO characteristic; Matlab/Simulink; relay.

xuất phương pháp xử lý tín hiệu bằng KF để xây dựng mô hình role BVKC.

2. Ứng dụng KF trong BVKC đặc tuyến khởi động vòng tròn đi qua gốc O (MHO)

2.1. Đặc tuyến khởi động vòng tròn đi qua gốc O trong BVKC

Đặc tuyến khởi động MHO [1, 2] là đặc tuyến vòng tròn đi qua gốc O (tổng dẫn MHO). Tổng trở khởi động của bảo vệ (BV) phụ thuộc vào góc φ_R . BV có độ nhạy cực đại khi $\varphi_R = \varphi_{Rn}$ hay $\varphi_R = \varphi_l$. BV không khởi động đối với Z_R nằm trong phần tư thứ ba của mặt phẳng phức nên được gọi là BV tổng trở có hướng. Đặc tuyến thực tế không đi qua gốc tọa độ O do bản thân bộ phận so sánh không đủ nhạy. Vì thế, NM đầu đường dây gần chỗ đặt BV có thể BV sẽ không làm việc, đoạn này gọi là vùng chết của BV.



Hình 1. Đặc tuyến khởi động MHO

2.2. Cơ sở 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.

KF là phương pháp xử lý tín hiệu hiệu chỉnh tham số ước lượng dựa trên mẫu liên kế trước nó, còn phương pháp Fourier phải sử dụng dữ liệu trong một cửa sổ tín hiệu, chẳng hạn như một chu kỳ để ước lượng tham số tín

hiệu nên có độ trễ lớn hơn, vì vậy KF có khả năng bám tín hiệu tốt hơn so với phương pháp xử lý tín hiệu Fourier.

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

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

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 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 của KF được mô tả theo phương trình sai phân tuyến tính sau:

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

Trong đó:

H 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 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 đoán và giai đoạn cập nhật. Trong giai đoạn dự đoán, số liệu được lấy ở lần đo gần nhất và việc tính toán dữ liệu được thực hiện trong giai đoạn cập nhật.

Phương trình trong giai đoạn dự đoán:

$$X_{k/k-1} = G_k X_{k-1/k-1} \quad (5)$$

$$P_{k/k-1} = G_k P_{k-1/k-1} + G_k^T + Q_k$$

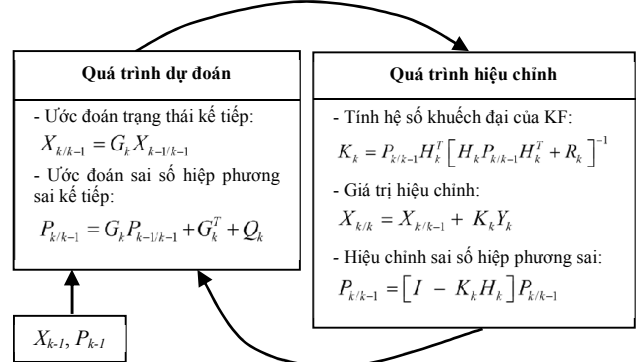
Phương trình trong giai đoạn cập nhật:

$$Y_{k/k-1} = Z_k - H_k X_{k/k-1} \quad (6)$$

$$K_k = P_{k/k-1} H_k^T [H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k]^{-1}$$

$$X_{k/k} = X_{k/k-1} + K_k Y_k$$

$$P_{k/k} = [I - K_k H_k] P_{k/k-1}$$

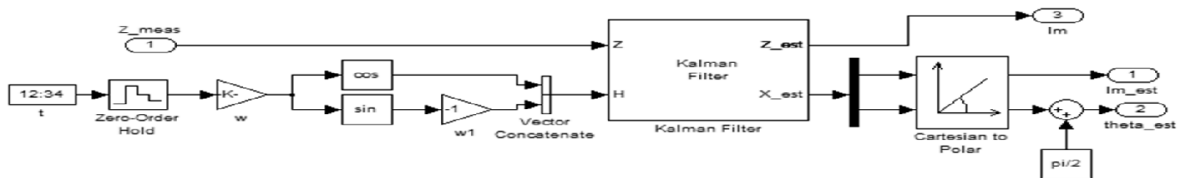


Hình 2. Sơ đồ thuật toán của KF [4]

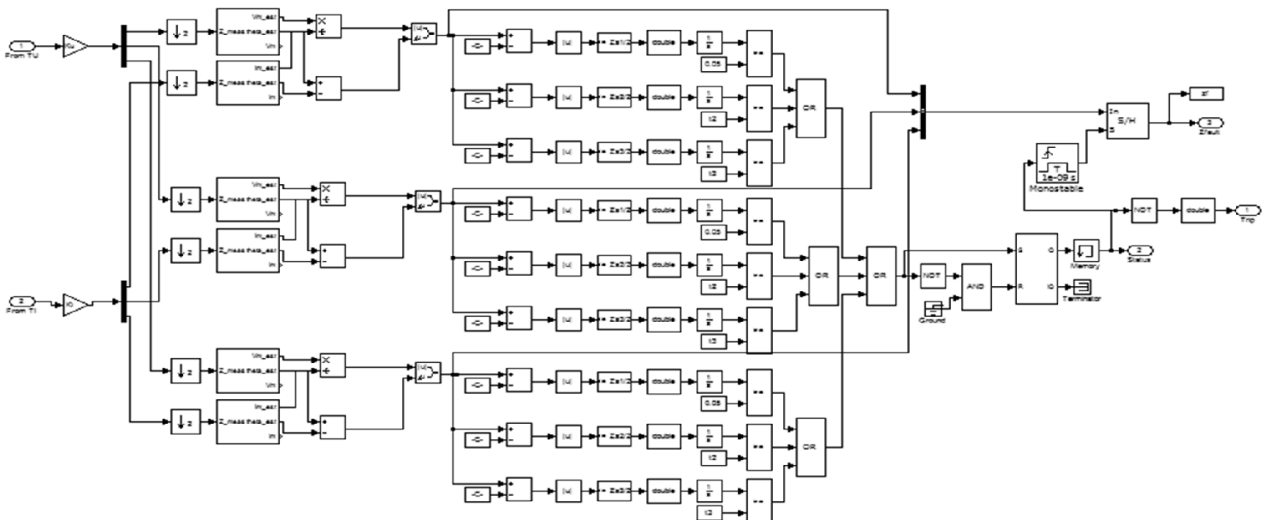
2.3. Mô hình KF trong role BVKC sử dụng đặc tuyến khởi động MHO

Mô hình của KF và role BVKC sử dụng KF được trình bày như ở Hình 3 và Hình 4.

Tín hiệu từ biến điện áp (TU) và biến dòng điện (TI) 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.



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



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

Với:

Phương sai đo lường: $R = 0.01$;

Phương sai mô hình: $Q = \begin{bmatrix} 10^{-5} & 0 \\ 0 & 10^{-5} \end{bmatrix}$;

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

Ma trận đo lường: $H_k = [\cos(k\omega T) \quad -\sin(k\omega T)]$.

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 NM 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.

3. Kết quả mô phỏng

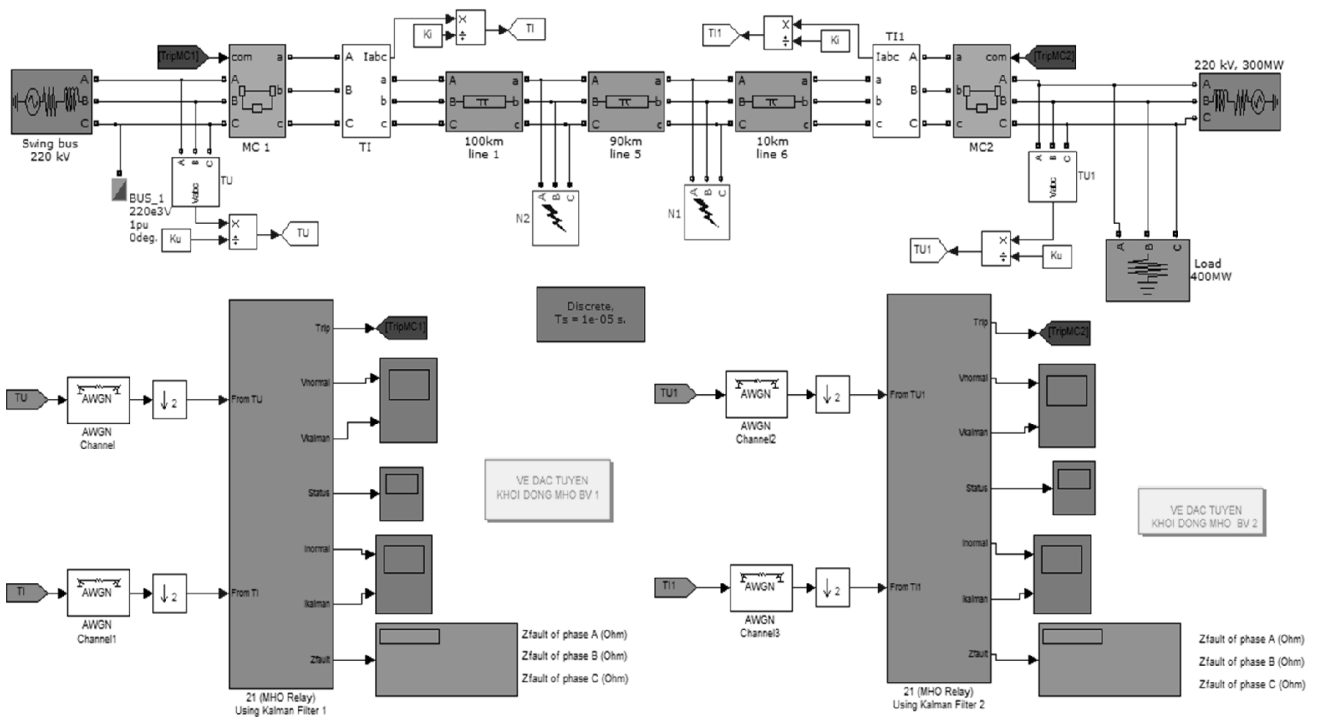
Để đánh giá hiệu quả làm việc của mô hình role BVKC được xây dựng ở mục 2.3, mục này nhóm tác giả đề xuất lưới điện gồm hai nguồn cấp điện cho một phụ tải thông qua một đường dây có đặt BVKC ở hai đầu đường dây như Hình 5 và số liệu như Bảng 1. Ngoài ra để đánh giá khả năng lọc nhiễu của KF tác giả cộng thêm một lượng nhiễu trắng Gaussian vào các tín hiệu đo lường của các TU và TI. Các điểm NM tính toán như sau:

N1 – NM cách bảo vệ 1 (BV1) 190 km, được sử dụng để kiểm tra NM nằm trong vùng thứ hai của BV1 và vùng thứ nhất của bảo vệ 2 (BV2).

N2 – NM cách BV1 và BV2 100 km, được sử dụng để kiểm tra NM nằm trong vùng thứ nhất của cả hai BV.

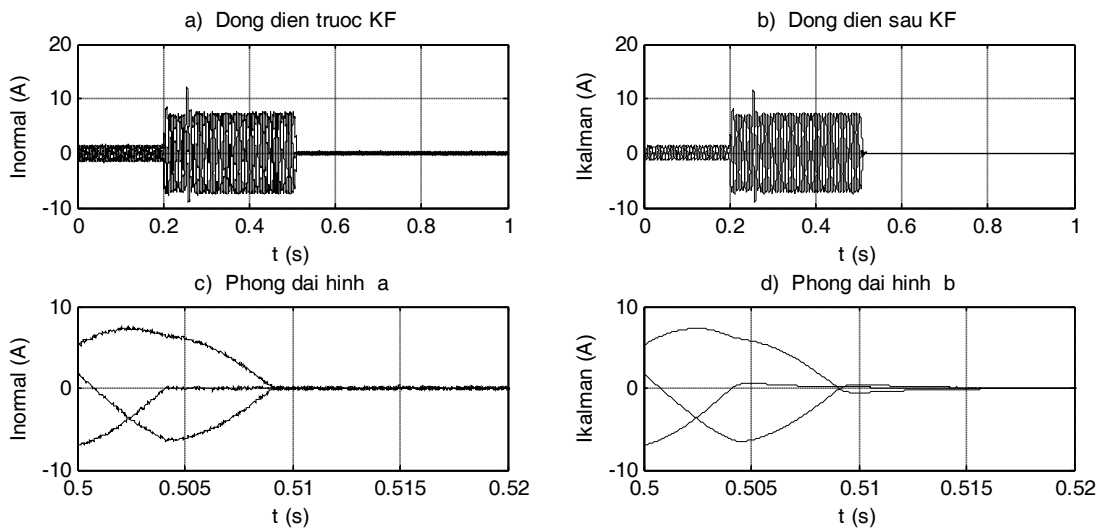
Bảng 1. Thông số các phần tử

Phần tử	Thông số
Nguồn	Nút 1: Nút cân bằng công suất; $f = 50$ (Hz); $U_1 = 220$ (kV). Nút 2: $P = 300$ (MW); $U_2 = 220$ (kV); $f = 50$ (Hz).
Đường dây	$R_0 = R_1 = 0.1$ (Ω /km); $L_0 = L_1 = 0.4/(2\pi 50)$ (H/km); $C_0 = C_1 = 10^{-12}$ (F/km); $L = 200$ (km).
Phụ tải	$S = 400$ (MVA); $\cos\phi = 1$.
Thông số của KF	$V_m = 1$ pu; $\theta = 0$ (Rad). Phương sai đo lường: $R = 0.01$. Phương sai mô hình: $Q = \begin{bmatrix} 10^{-5} & 0 \\ 0 & 10^{-5} \end{bmatrix}$
Thông số NM: N1, N2.	$R_g = 2$ (Ω); $t_f = 0.2$ (s).
Nhiều trắng Gaussian	$SNR = 20$ (dB).
Thông số role BVKC đặc tuyến khởi động MHO	$Z_{1s} = 66$ (Ω), $Z_{2s} = 125$ (Ω), $Z_{3s} = 165$ (Ω); TMS: $t_1 = 0.05$ (s), $t_2 = 0.3$ (s), $t_3 = 0.6$ (s).



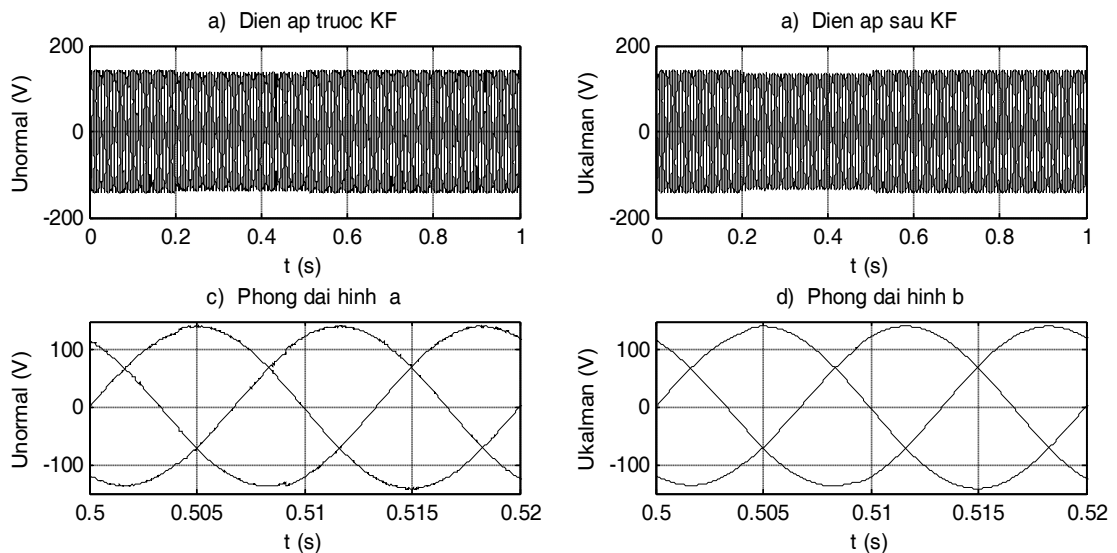
Hình 5. Mô hình mô phỏng role BVKC đặc tuyến khởi động MHO cho đường dây có hai nguồn cung cấp điện

Ngắn mạch 3 pha tại N1 (khi BV1 tác động):



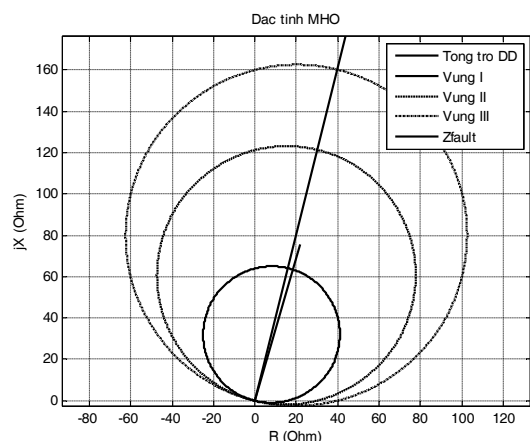
Hình 6. Kết quả dòng điện role BVKC đặc tuyến khởi động MHO của BV1 khi NM 3 pha tại N1;

a) Dòng điện TI trước KF; b) Dòng điện TI sau KF; c) Phóng đại hình a; d) Phóng đại hình b

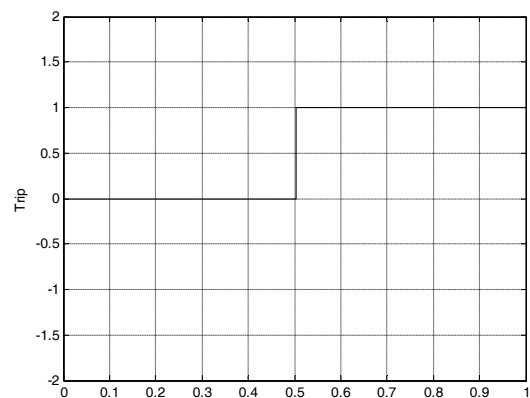


Hình 7. Kết quả điện áp role BVKC đặc tuyến khởi động MHO của BV1 khi NM 3 pha tại N1;

a) Điện áp TU trước KF; b) Điện áp TU sau KF; c) Phóng đại hình a; d) Phóng đại hình b

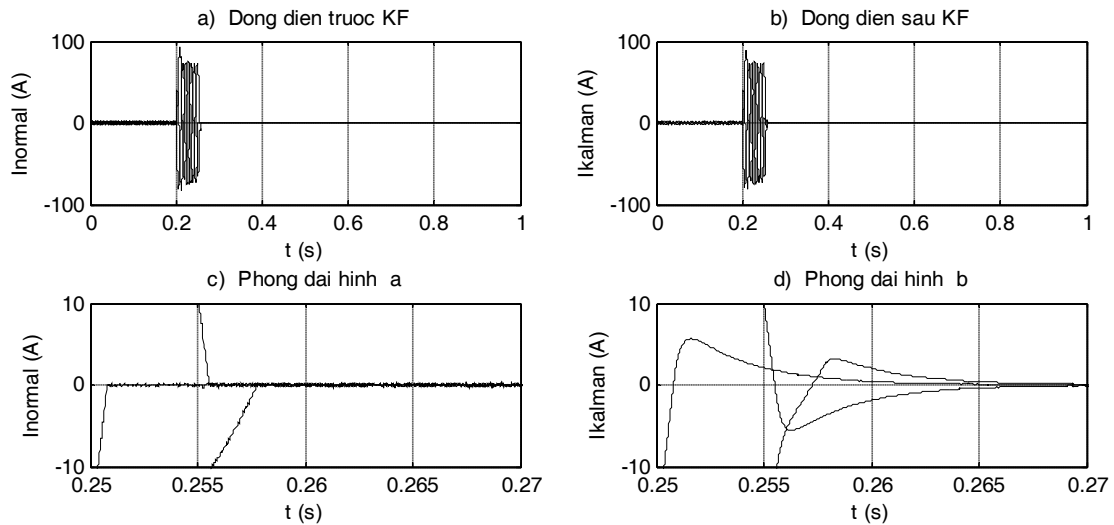


Hình 8. Kết quả Z_{fault} của BV1 khi NM 3 pha tại N1



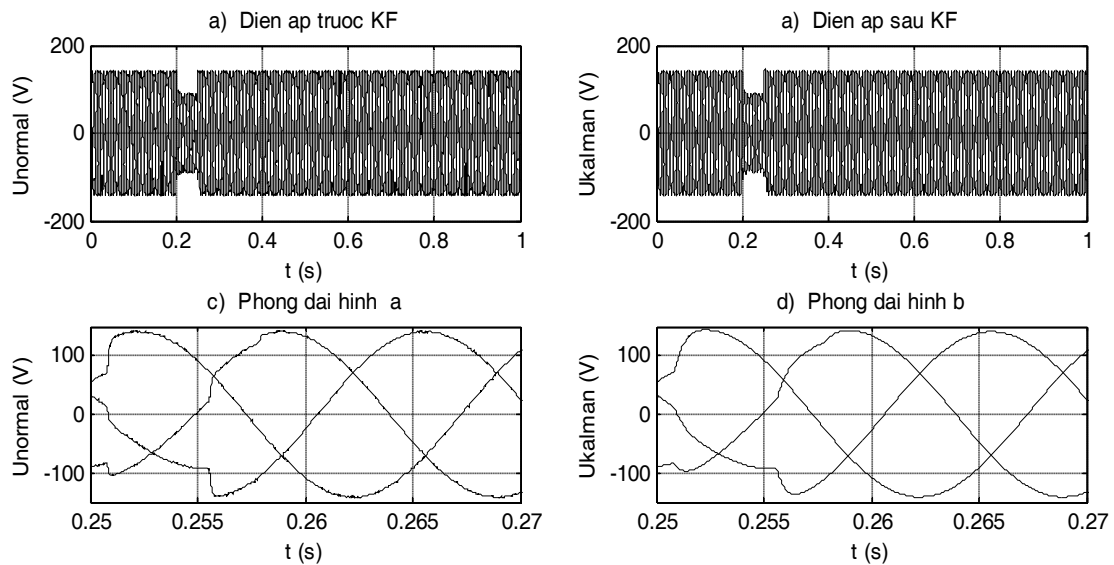
Hình 9. Tín hiệu cắt máy cắt của BV1 khi NM 3 pha tại N1

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



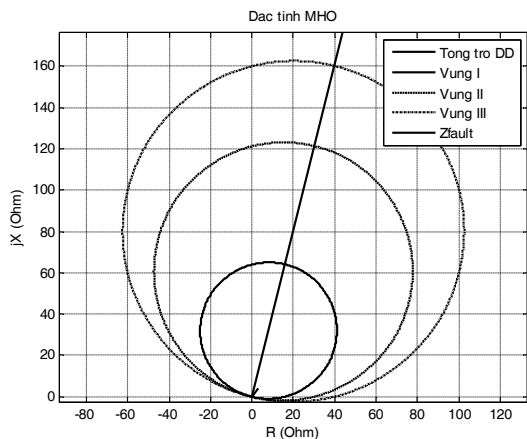
Hình 10. Kết quả dòng điện role BVKC đặc tuyến khởi động MHO của BV2 khi NM 3 pha tại N1;

a) Dòng điện TI trước KF; b) Dòng điện TI sau KF; c) Phóng đại hình a; d) Phóng đại hình b

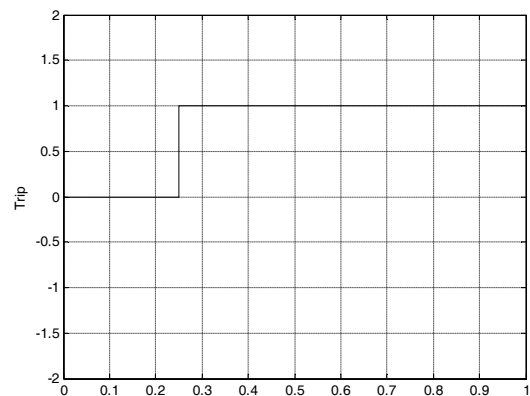


Hình 11. Kết quả điện áp role BVKC đặc tuyến khởi động MHO của BV2 khi NM 3 pha tại N1;

a) Điện áp TU trước KF; b) Điện áp TU sau KF; c) Phóng đại hình a; d) Phóng đại hình b



Hình 12. Kết quả Z_{fault} của BV2 khi NM 3 pha tại N1



Hình 13. Tín hiệu cắt máy cắt của BV2 khi NM 3 pha tại N1

Tương tự khi NM ở N2, 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 NM (Ω)			Thời gian tác động của role (s)	Vùng bảo vệ
	Pha A	Pha B	Pha C		
190 (N1)	21.66 + j75.8	21.14 + j76.53	21.3 + j76.11	0.304	Vùng II
100 (N2)	14.03 + j39.29	13.82 + j39.81	14.16 + j39.46	0.0531	Vùng I

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

Vị trí điểm NM cách BV2 (km)	Tổng trở khi NM (Ω)			Thời gian tác động của role (s)	Vùng bảo vệ
	Pha A	Pha B	Pha C		
10 (N1)	3.192 + j4.029	3.195 + j4.05	3.209 + j4.044	0.0505	Vùng I
100 (N2)	13.9 + j40.12	13.9 + j40.47	14.19 + j40.2	0.0531	Vùng I

Nhận xét:
Từ các hình 6, 7, 10 và 11 ta thấy tín hiệu dòng điện và điện áp sau KF cho tín hiệu đầu ra ít nhiễu và bám tín hiệu tốt nên tín hiệu đưa vào BV sẽ chính xác, vì vậy BV sẽ tác động nhanh hơn và hạn chế được tác động nhầm do nhiễu gây ra.

Kết quả từ Bảng 2 và 3 cho ta thấy rằng ứng với mỗi điểm NM nằm trong những vùng BV khác nhau thì thời gian tác động là khác nhau, khi NM trong vùng BV nào thì tác động tương ứng với thời gian đặt của vùng đó. NM trong cùng một vùng BV, nhưng vị trí NM nào gần điểm đặt BV hơn thì thời gian tác động sẽ nhanh hơn.

4. 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. 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 BV 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, 1998.

[2] Nguyễn Hoàng Việt, *Bảo vệ role và tự động hóa trong hệ thống điện*, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2005.

[3] Greg Welch, Gary Bishop, *An Introduction to the Kalman filter*, Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill, 2006.

[4] Hisham Odeh Alrawashdeh, *An adaptive Kalman filter for voltage sag detection in power systems*, Western Michigan University, US, 2014.

[5] John Wiley, *Kalman filtering theory and practice using Matlab*, Published simultaneously in Canada, 2008.

[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, 2005.

(BBT nhận bài: 26/07/2015, phản biện xong: 15/09/2015)