

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA THIẾT BỊ HẠN CHẾ DÒNG NGẮN MẠCH BẰNG VẬT LIỆU SIÊU DẪN KIỂU ĐIỆN TRỞ (R_SFCL) TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI CÓ KẾT NỐI VỚI NGUỒN PHÂN TÁN

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF RESISTOR TYPE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (R_SFCL) IN A DISTRIBUTION SYSTEM WITH DISPERSED GENERATORS

Nguyễn Chí Hùng^{1,*}, Nguyễn Hữu Phúc¹,
Nguyễn Tùng Linh², Ngô Đình Thành³

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một chiến lược ứng dụng thiết bị SFCL vào hệ thống điện phân phối nhằm giải quyết các vấn đề liên quan đến dòng ngắn mạch vượt quá định mức cho phép và giảm sụt áp ngắn hạn trong lưới điện phân phối có kết nối với nguồn phân tán. Giải pháp được thực hiện thông qua các bước sau: Đầu tiên, một thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch bằng vật liệu siêu dẫn kiểu điện trở (R_SFCL) sẽ được mô hình hóa bằng phần mềm Matlab/Simulink. Sau đó, một hệ thống điện phân phối của miền Nam Việt Nam sẽ được lựa chọn và tiến hành mô phỏng đánh giá hiệu quả của thiết bị. Sau cùng, từ các kết quả mô phỏng thực tế cho thấy dòng ngắn mạch được hạn chế và sụt giảm điện áp ngắn hạn được cải thiện đáng kể.

Từ khóa: SFCL, dòng ngắn mạch, sụt giảm điện áp ngắn hạn, hệ thống điện phân phối, nguồn phân tán.

ABSTRACT

This paper proposes a strategy on application of SFCL in distribution system to solve the problems related to excessive short circuit current and the mitigation of voltage sag due to the introduction of the DGs. This solution is carried out through the following steps: Firstly, a Resistor type SFCL (R_SFCL) is modeled by Matlab/Simulink. After that, a distribution system of Southern Vietnam power system is selected and simulated. Finally, according to the simulation results, the short circuit current and voltage sag improvements can be validated.

Keywords: SFCL, short-circuit current, voltage sag, distribution system, dispersed generators.

¹Trường Đại học Sài Gòn

²Trường Đại học Điện Lực

³Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

*Email: ngchihung78@gmail.com

Ngày nhận bài: 03/8/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/10/2018

Ngày chấp nhận đăng: 18/12/2018

1. GIỚI THIỆU

Do nhu cầu phụ tải không ngừng gia tăng liên tục, sẽ có nhiều nguồn điện phân tán khác nhau trong hệ thống

năng lượng tái tạo như: năng lượng mặt trời, năng lượng gió... sẽ được kết nối thêm vào hệ thống điện. Chính vì sự kết nối thêm này sẽ làm cho các thiết bị nguồn trong hệ thống điện hiện đại ngày nay vốn đã phức tạp khi vận hành nay càng trở nên đa dạng và phức tạp hơn. Hơn nữa, hệ thống nhiệt điện, thủy điện hiện nay đang phải đối mặt với vấn đề cạn kiệt nhiên liệu, ô nhiễm và hủy hoại môi trường. Đứng trước những vấn đề nêu trên thì nguồn năng lượng phân tán từ các nguồn năng lượng xanh, năng lượng tái tạo là một giải pháp hữu hiệu và đang được phát triển để giải quyết các vấn đề liên quan. Xét về nhu cầu hiện nay thì công nghệ tích hợp các nguồn phân tán đang phát triển một cách nhanh chóng chẳng hạn như: Tua bin gió, tấm pin mặt trời... [1,2,3]. Tuy nhiên, khi có nhiều nguồn điện phân tán có công suất lớn được kết nối vào lưới điện sẽ làm tăng dòng điện ngắn mạch khi có sự cố xảy ra và các thiết bị bảo vệ trong hệ thống điện sẽ hoạt động kém hiệu quả do dòng điện tăng cao, từ đó sẽ làm giảm chất lượng điện năng trong hệ thống điện [4,5]. Để giải quyết các vấn đề khi dòng sự cố tăng cao khi lưới điện có kết nối với nguồn phân tán thì công nghệ siêu dẫn đã được nghiên cứu mà đặt biệt đó là thiết bị giới hạn dòng điện sự cố bằng vật liệu siêu dẫn Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) gần đây đã được giới thiệu và phát triển rất mạnh ở một số quốc gia [6,7].

SFCL là một thiết bị tiên tiến dựa trên nguyên lý siêu dẫn. Thiết bị này có khả năng giới hạn dòng điện ngắn mạch nhanh chóng trong một chu kỳ đầu tiên và không ảnh hưởng đến hệ thống điện trong thời gian làm việc bình thường. Chính vì ưu điểm này của SFCL mà hiện nay có rất nhiều nước trên thế giới đã nghiên cứu, ứng dụng SFCL vào hệ thống điện và chế tạo ra các kiểu (loại) SFCL khác nhau để lắp đặt vào hệ thống điện phân phối và ứng dụng này đã được lắp đặt thực tế vào hệ thống điện của một vài nước tiên tiến [7,8].

Ngày nay, chất lượng điện năng là một vấn đề quan trọng trong hệ thống điện. Một trong những tiêu chí đánh giá chất lượng điện năng là độ sụt giảm điện áp ngắn hạn

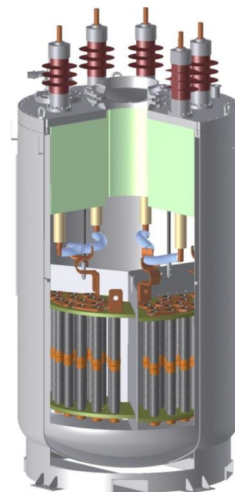
(Sag) [11]. Tiêu chí này dùng để đánh giá biên độ sụt giảm điện áp trong thời gian ngắn. Sụt áp ngắn hạn là tiêu chí quan trọng trong việc đánh giá chất lượng điện năng khi có sự cố xảy ra. Tuy nhiên, việc nghiên cứu ảnh hưởng của SFCL lên chất lượng điện năng khi có sự cố ngắn mạch xảy ra và cải thiện độ võng điện áp trong hệ thống điện phân phối có kết nối với nguồn phân tán (DGs) khi có sự cố còn ít. Chính vì thế, trong nghiên cứu này chúng tôi đánh giá hiệu quả của thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch bằng vật liệu siêu dẫn kiểu điện trở (R_{SFCL}) trong hệ thống điện phân phối có kết nối với nguồn phân tán và mô phỏng tính toán cho lưới điện 22 kV tại trạm biến áp 110 kV Tầm Vu. Hình ảnh trạm biến áp 110/22 kV Tầm Vu được trình bày trong hình 1.



Hình 1. Trạm biến áp 110/22 kV Tầm Vu

2. MÔ HÌNH THIẾT BỊ HẠN CHẾ DÒNG NGẮN MẠCH BẰNG VẬT LIỆU SIÊU DẪN KIỂU ĐIỆN TRỞ R_{SFCL}

Hiện nay trên thế giới có một vài công ty thực hiện thiết kế và chế tạo thành công một số loại mô hình SFCL chẳng hạn như: SFCL loại điện trở, SFCL loại điện kháng, SFCL loại dùng máy biến áp, SFCL loại dùng kết hợp. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng SFCL loại điện trở được trình bày như hình 2 của hãng Nexans để phục vụ cho việc mô phỏng. Và chúng tôi thiết kế và xây dựng mô hình R_{SFCL} dựa trên công thức toán học, sau đó sử dụng phần mềm Matlab/Simulink để tính toán và mô phỏng.



Hình 2. Mẫu R_{SFCL} loại điện trở được bằng vật liệu siêu dẫn của hãng Nexans

Một tổng trở của SFCL đáp ứng theo thời gian t được mô tả bằng công thức toán học từ phương trình (1) đến phương trình (4).

$$R_{SC}(t) = 0 \quad (t < t_0), \quad (1)$$

$$R_{SC}(t) = R_m \left[1 - \exp\left(-\frac{(t-t_0(\text{quench}))}{T_f(I_{\text{fault}})}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \quad (t_0 \leq t < t_1) \quad (2)$$

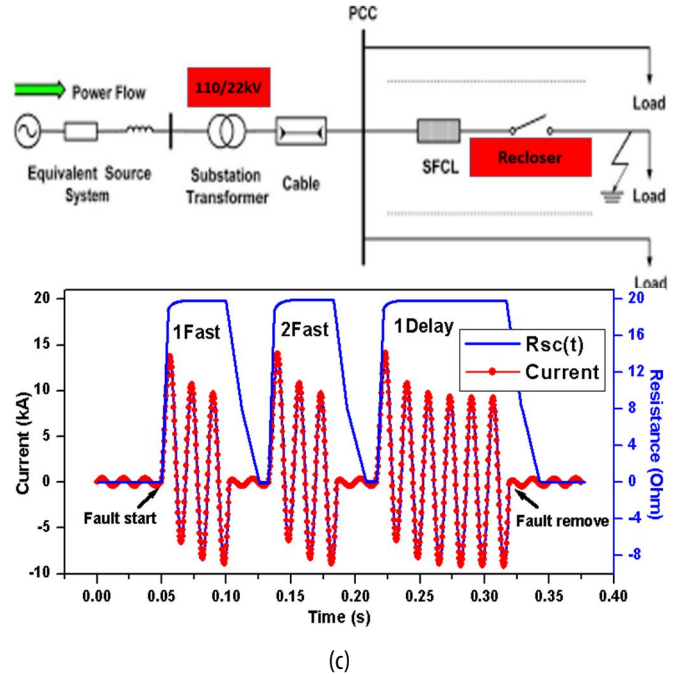
$$R_{SC}(t) = \alpha_1(t - t_1) + \beta_1 \quad (t_1 \leq t < t_2) \quad (3)$$

$$R_{SC}(t) = \alpha_2(t - t_2) + \beta_2 \quad (t \geq t_2) \quad (4)$$

Ở công thức này chúng tôi sử dụng $R_m = 1\sim 20 (\Omega)$, $T_f = 0,01$ và t_0 thể hiện thời gian thay đổi của điện trở, hằng số thời gian và thời gian cắt. $\alpha_1 = -80 (\Omega/s)$, $\beta_1 = R_m (\Omega)$ và t_1 thể hiện thời gian thay đổi của điện trở tác động, điện trở phục hồi, và thời gian phục hồi. $\alpha_2 = -160 (\Omega/s)$, $\beta_2 = R_m/2 (\Omega)$ và t_2 là thời gian phục hồi, thời gian phục hồi lần thứ hai và thời gian kết thúc. Thời gian tác động từ trạng thái bình thường đến thời gian siêu dẫn là $t_0 = 1$ giây. Bốn tham số cơ bản dùng để thiết kế R_{SFCL} bao gồm: 1) Thời gian chuyển tiếp = 2 ms, 2) Tổng trở nhỏ nhất = 0,01 Ω và tổng trở lớn nhất = 20 Ω , 3) Dòng điện ngắt = 550 A và 4) Thời gian hồi phục = 10 ms [9].

Nếu dòng điện sự cố vượt quá dòng điện cho phép, SFCL sẽ đạt giá trị điện trở cực đại. Khi dòng điện đạt ở mức

giới hạn cho phép thì SFCL sẽ giảm dần điện trở, khi sự cố được loại trừ SFCL sẽ trở lại trạng thái bình thường. Dòng điện ngắt là dòng điện cho phép trước khi có sự cố xảy ra. Hình 3 trình bày các đặc tính của SFCL và mô hình được mô phỏng sử dụng phần mềm MATLAB/Simulink. Căn cứ theo yêu cầu của Tập đoàn Điện lực Việt Nam chúng tôi cài đặt Recloser là 2 lần tác động nhanh (Fast) và 1 lần tác động trễ (Delay) (2 nhanh, 1 trễ) (2F1D). Khi có sự cố xảy ra trong hệ thống điện phân phối thì điện trở của R_SFCL sẽ gia tăng và Recloser sẽ ngắt (Tripped) và R_SFCL sẽ phục hồi lại trạng thái ban đầu và các trạng thái được lặp lại 2 lần theo thời gian cài đặt của Recloser. Thời gian hồi phục của SFCL được cài đặt giá trị thấp hơn 500 ms. Dựa theo tài liệu hướng dẫn kỹ thuật về việc cài đặt giá trị lớn nhất thời gian tác động của các thiết bị bảo vệ trong hệ thống điện phân phối của Việt Nam theo Thông tư số 32/2010/TT-BCT.

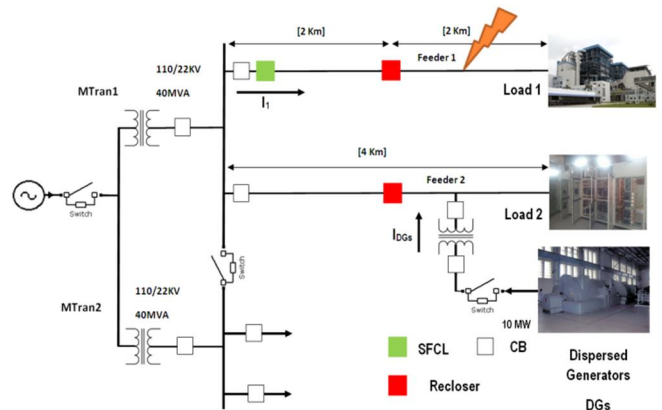


Hình 3. Mô hình R_SFCL loại điện trở và các kết quả thí nghiệm mô hình dùng phần mềm Matlab/Simulink

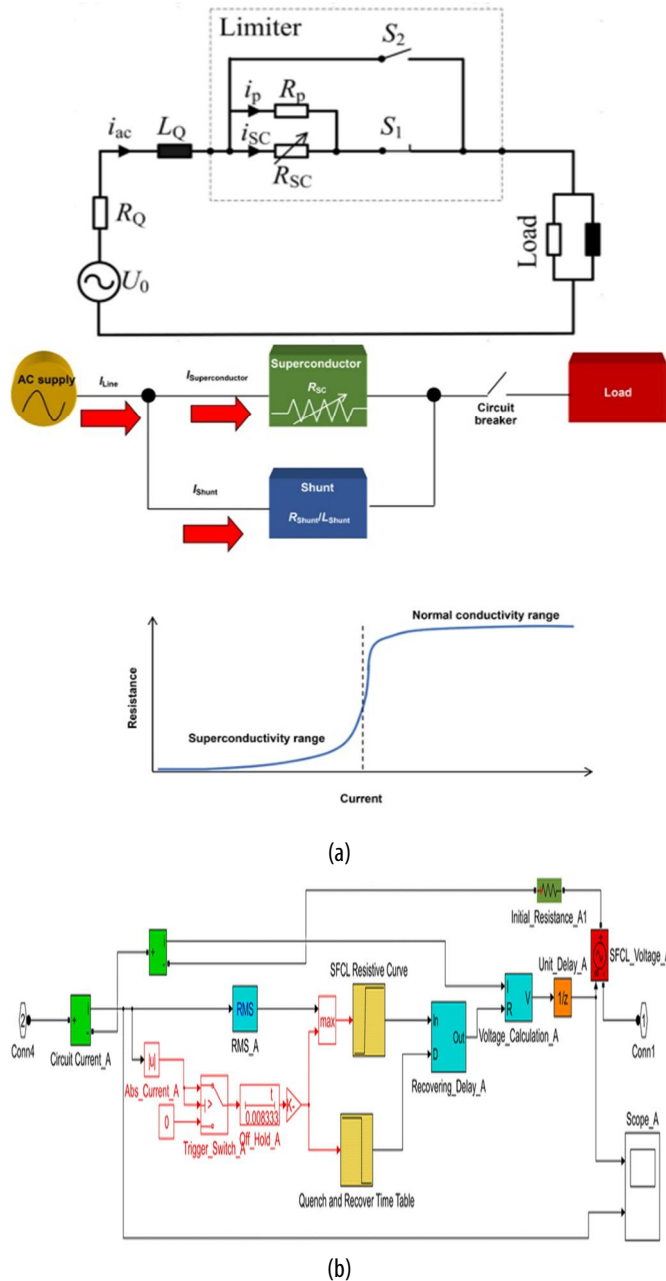
a) Các đặc tính của R_SFCL, b) Mô hình R_SFCL trong Matlab/Simulink và c) Các đặc tính giám sát dòng điện và điện trở của R_SFCL

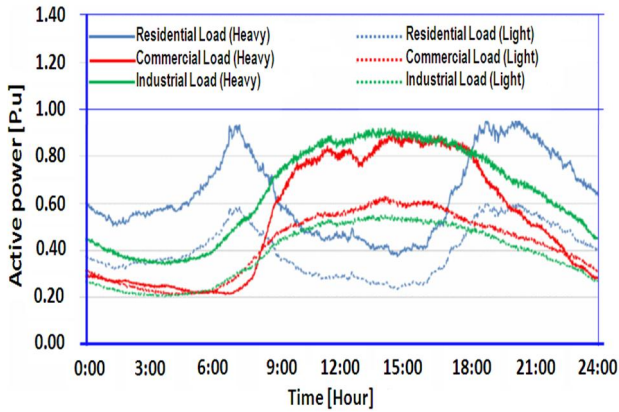
3. CẤU HÌNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI SỬ DỤNG ĐỂ NGHIÊN CỨU

Hình 4 minh họa sơ đồ đơn tuyến của hệ thống điện phân phối với số liệu thực tế lấy từ trạm biến áp Tâm Vu. Trong sơ đồ này gồm có 2 máy biến áp chính (MTr 1 và MTr 2) và các thiết bị bảo vệ cho máy biến áp, thiết bị bảo vệ đường dây và bảo vệ phụ tải. Các thiết bị này được lắp đặt chẳng hạn như Circuit Breaker (CB), Recloser (R/C). Để giám sát thực hiện việc kết nối của hai máy biến áp song song sử dụng khóa (Switch S/W) để kết nối hai máy biến áp MTr 1 và MTr 2. Ở trạng thái bình thường thì khóa S/W ở trạng thái mở (Open). Máy phát Generator (G) được kết nối vào tải 2, giống như một nguồn điện phân tán DGs và thiết bị R_SFCL được lắp đặt ở nhánh thứ nhất của máy biến áp chính. Trong bảng 1 và hình 5 trình bày các dữ liệu của hình 4.

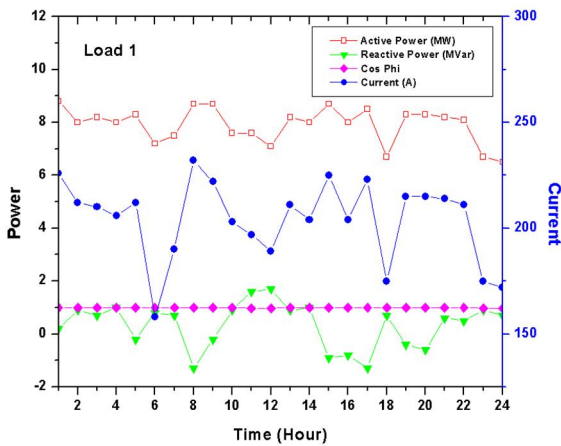


Hình 4. Sơ đồ đơn tuyến của hệ thống điện phân phối sử dụng cho việc nghiên cứu





(a)



(b)

Hình 5. Dữ liệu của các phụ tải, a) Dữ liệu phụ tải nhánh trong 24 giờ và b) Đồ thị phụ tải hàng ngày

Bảng 1. Dữ liệu của hệ thống điện phân phối tại trạm biến áp Tâm Vu dùng để mô phỏng

Circuit Parameters Tham số mạch	Specifications Thông số kỹ thuật
Nguồn (Utility)	110 kV, 100 MVA, j1,78%
MBA Chính (Main Transformer)	110/22 kV, 40 MVA, j10%
Tổng trở dây dẫn (Conductor impedance)	$Z_L = 0,27 + j0,35 \Omega/km$
Chiều dài nhánh (Feeder Length)	4 km
Vị trí đặt Recloser (Recloser Location)	2 km tính từ thanh cái
Nguồn phân tán Dispersed Generators (DGs)	22 kV/10 MVA

4. ẢNH HƯỞNG CỦA SFCL TRONG SỤT GIẢM ĐIỆN ÁP NGẮN HẠN CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI

Nói một cách tổng quát, biên độ điện áp tại thanh cái của máy biến áp trong thời gian sự cố xảy ra được tính theo công thức (5), nếu chúng ta bỏ qua tổng trở sự cố [9,10]:

$$V_{bus} = \frac{Z_L}{Z_{source} + Z_{Tr} + Z_L} \cdot V_{source} \tag{5}$$

Ở đây, Z_{source} , Z_{Tr} and Z_L là các tổng trở của nguồn, tổng trở của máy biến áp và tổng trở đường dây tính từ nguồn tới vị trí sự cố tương ứng. V_{source} là điện áp nguồn. Công thức (5)

cũng có thể dùng cho tính toán gần đúng điện áp gần nơi sự cố. Trong công thức (6) và (7) thì biên độ điện áp khi lắp đặt SFCL tại hai vị trí được tính toán như sau: 1) Tại ngõ ra của máy biến áp hoặc 2) Tại điểm bắt đầu của mỗi nhánh.

$$V_{bus} = \frac{Z_L}{Z_{source} + Z_{Tr} + Z_{SFCL} + Z_L} \cdot V_{source} \tag{6}$$

$$V_{bus} = \frac{Z_L + Z_{SFCL}}{Z_{source} + Z_{Tr} + Z_{SFCL} + Z_L} \cdot V_{source} \tag{7}$$

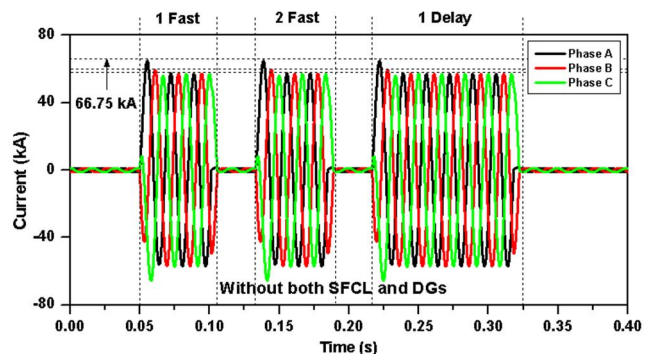
Ở đây, Z_{SFCL} là tổng trở của SFCL ở trạng thái nhiệt độ bình thường.

5. CÁC TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU

Để đánh giá ảnh hưởng của SFCL lên hệ thống điện phân phối có kết nối với nguồn phân tán, chúng tôi sử dụng công cụ phần mềm Matlab/Simulink để thiết kế mô hình và các thành phần được thể hiện trong hệ thống điện phân phối. Chúng tôi cài đặt chế độ giám sát của Recloser là 2 lần tác động nhanh (2 Fast) - 1 lần trễ (1 Delay) (2F1D). Nếu dòng sự cố xảy ra tới Recloser lớn hơn giá trị đầu vào được cài đặt, thì Recloser sẽ cắt (Trip) ngay lập tức theo đồ thị thời gian cài đặt gọi là giám sát nhanh (F), sau thời gian cắt nhanh của Recloser, thì Recloser sẽ chuyển sang trạng thái trễ (D). Nếu dòng sự cố vẫn xảy ra và không được khắc phục sau thời gian cắt nhanh (F) và thời gian trễ (D). Thì Recloser sẽ cắt vĩnh viễn mạch điện sau 3 lần tác động. Trạng thái này gọi là trạng thái khóa (lock out). Trong các trường hợp khi có một sự cố 3 pha xảy ra tại thời điểm $t = 0,05s$ (thời gian $t = 0,00s$ là thời gian bắt đầu mô phỏng. Tổng thời gian mô phỏng là 0,4s. Dòng điện giám sát trong điều kiện bình thường là 550A. Ba trường hợp mô phỏng trong nghiên cứu trong bài báo này được thực hiện như sau:

5.1. Trường hợp 1: Hệ thống điện phân phối không có kết nối cả hai thiết bị SFCL và nguồn phân tán DGs

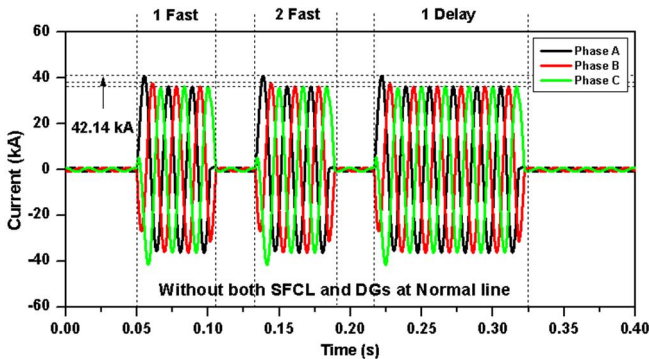
Mục đích chính của trường hợp nghiên cứu này là thảo luận dòng điện sự cố và sụt giảm điện áp ngắn hạn (Voltage Sag) khi hệ thống điện không có kết nối cả hai thiết bị SFCL và nguồn phân tán (DGs), trong trường hợp này thiết bị SFCL được lắp đặt tại điểm bắt đầu của hệ thống điện và ngắn mạch ba pha với đất xảy ra tại nhánh 1 (Feeder 1). Hình 6, trình bày dạng sóng dòng điện tại điểm xảy ra sự cố của nhánh thứ nhất. Như mô tả trong hình 6, giá trị đỉnh của dòng điện ngắn mạch là 66,75 kA.



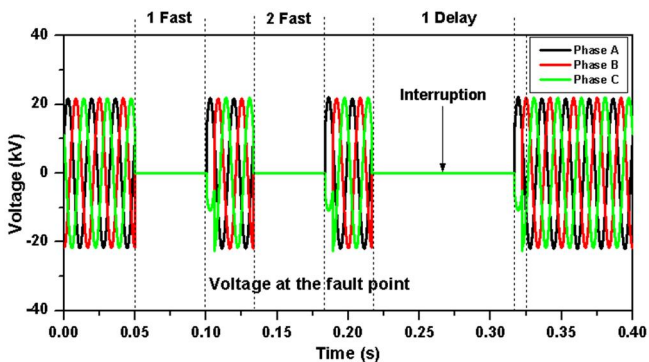
Hình 6. Kết quả mô phỏng dòng điện khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 1, hệ thống điện không có kết nối SFCL và nguồn phân tán tại điểm xảy ra sự cố

Hình 7 trình bày dòng điện ngắn mạch của trường hợp 1 tại thanh cái, đường dây ở trạng thái bình thường. Dòng điện sự cố trong trường hợp này là 42,14 kA.

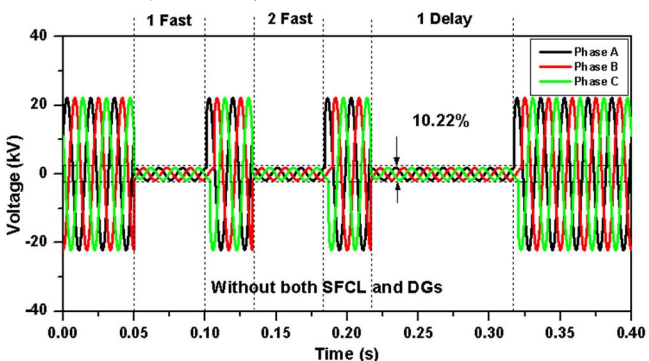
Như trình bày trong hình 8, khi có sự cố xảy ra tại tải của nhánh 1, điện áp ở trạng thái này là 0, gọi là gián đoạn điện áp (Short Interruption) tại điểm xảy ra sự cố. Hình 9, minh họa điện áp tại tải của nhánh thứ 2, khi đường dây ở trạng thái bình thường của trường hợp 1. Ở trường hợp này sụt giảm điện áp của nhánh 2 giảm tới 10,22%.



Hình 7. Kết quả mô phỏng dòng điện khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 1, hệ thống điện không có kết nối SFCL và nguồn phân tán tại đường dây ở trạng thái bình thường



Hình 8. Điện áp tại điểm xảy ra sự cố



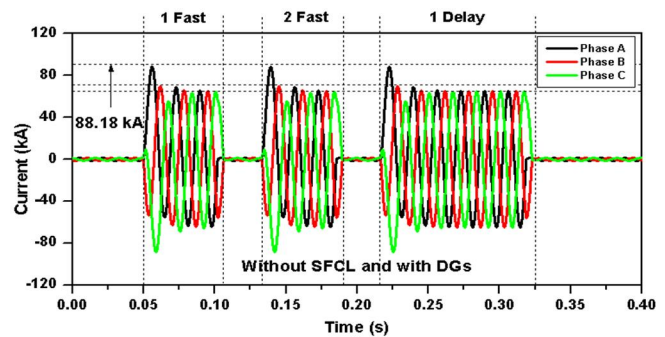
Hình 9. Kết quả mô phỏng điện áp khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 2, hệ thống điện không có kết nối SFCL và nguồn phân tán tại đường dây ở trạng thái bình thường

5.2. Trường hợp 2: Hệ thống điện phân phối không có kết nối thiết bị SFCL và có kết nối với nguồn phân tán DGs

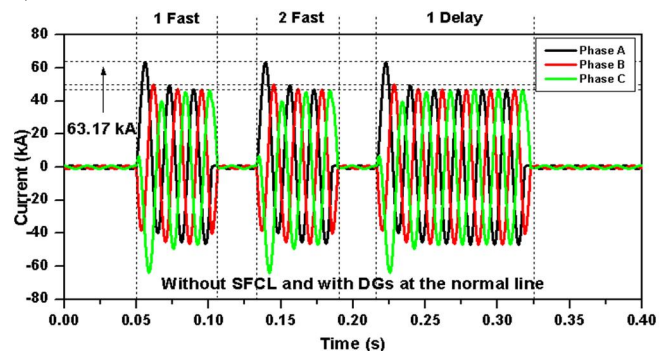
Mục tiêu của nghiên cứu trong trường hợp này là trình bày và phân tích dòng điện sự cố và sụt giảm điện áp ngắn hạn khi hệ thống điện không có kết nối với SFCL và có kết

nối với nguồn phân tán DGs, trong trường hợp này SFCL được lắp đặt đại diện bắt đầu của hệ thống điện và sự cố xảy ra tại nhánh 1.

Hình 10 mô tả dạng sóng dòng điện tại điểm xảy ra sự cố của trường hợp nghiên cứu 2. Giá trị đỉnh của dòng điện khi xảy ra sự cố là 88,18 kA. Dòng điện sự cố sẽ tăng lên do có phân bố dòng sự cố từ nguồn phân tán DGs. Hình 11, trình bày dòng điện khi xảy ra sự cố của trường hợp 2 tại thanh cái và đường dây ở trạng thái bình thường. Giá trị lớn nhất dòng điện sự cố trong trường hợp này là 63,17 kA.

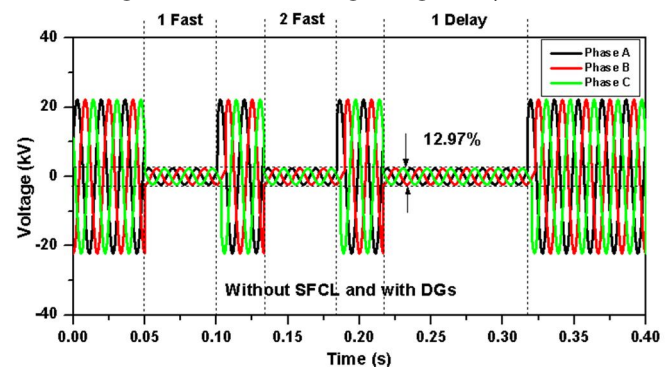


Hình 10. Kết quả mô phỏng dòng điện khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 1, hệ thống điện không có kết nối SFCL và có kết nối với nguồn phân tán tại điểm xảy ra sự cố



Hình 11. Kết quả mô phỏng dòng điện khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 1, hệ thống điện không có kết nối SFCL và có kết nối với nguồn phân tán tại đường dây ở trạng thái bình thường

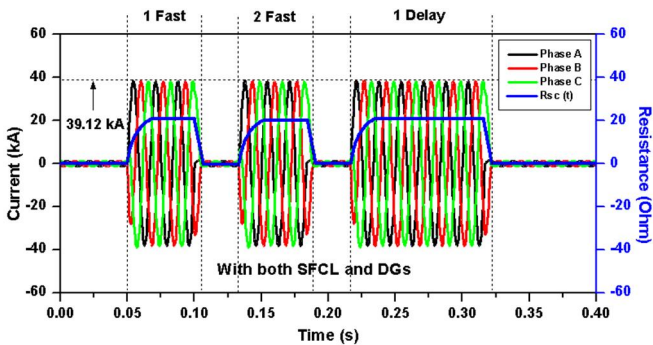
Hình 12 minh họa dạng sóng điện áp của trường hợp nghiên cứu thứ hai. Trong trường hợp này điện áp tại nhánh thứ hai đã giảm tới 12,97% trong thời gian xảy ra sự cố.



Hình 12. Kết quả mô phỏng điện áp khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 2, hệ thống điện không có kết nối SFCL và có kết nối với nguồn phân tán DGs, tại đường dây ở trạng thái bình thường

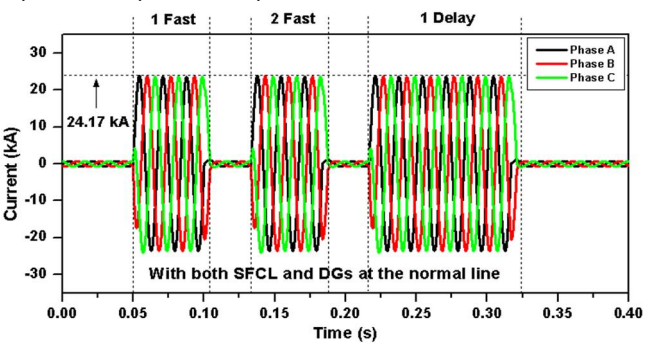
5.3. Trường hợp 3: Hệ thống điện phân phối có kết nối thiết bị SFCL và có kết nối với nguồn phân tán DGs

Trong trường hợp này sẽ trình bày dòng điện khi xảy ra sự cố và sụt giảm điện áp ngắn hạn khi hệ thống điện phân phối có kết nối với SFCL và có kết nối với nguồn phân tán DGs, trong trường hợp này SFCL được lắp đặt tại điểm bắt đầu của hệ thống điện tại nhánh thứ nhất và sự cố ngắn mạch được tạo ra từ nhánh thứ nhất. Hình 13 minh họa dạng sóng dòng điện tại điểm xảy ra sự cố của trường hợp nghiên cứu thứ ba, khi có sự cố xảy ra tại nhánh thứ nhất. Chúng ta có thể quan sát từ hình 13, với việc lắp đặt thiết bị SFCL dòng điện sự cố đã được hạn chế, giá trị đỉnh của dòng sự cố trong trường hợp này là 39,12 kA. Vì được giá trị điện trở cực đại là 20 Ω của thiết bị SFCL tác động vào hệ thống điện.



Hình 13. Kết quả mô phỏng dòng điện khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 1, hệ thống điện có kết nối SFCL và có kết nối với nguồn phân tán tại điểm xảy ra sự cố

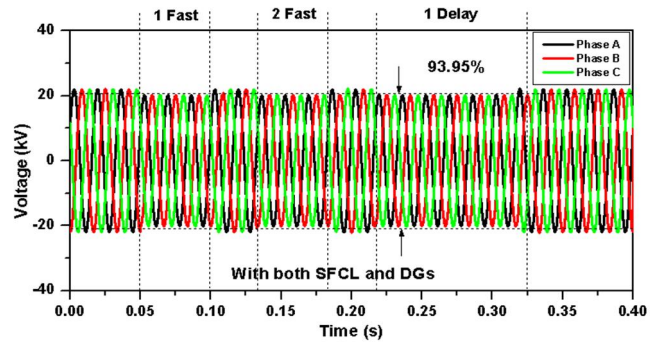
Hình 14 trình bày dòng điện ngắn mạch của trường hợp 3 tại thanh cái, trong điều kiện đường dây bình thường. Giá trị dòng điện sự cố lớn nhất trong trường hợp này là 24,17 kA (theo tài liệu hướng dẫn kỹ thuật và theo Thông tư số 32/2010/TT-BCT thì dòng ngắn mạch trong hệ thống điện phân phối Việt Nam có giá trị lớn nhất là 25 kA khi có sự cố xảy ra). Vậy nếu có một thiết bị SFCL đã được lắp đặt tại điểm bắt đầu của hệ thống điện, thiết bị này sẽ hạn chế dòng ngắn mạch và giá trị đỉnh của dòng ngắn mạch khi có lắp SFCL được giới hạn tới 24,17 kA, giá trị này thấp hơn và nằm trong vùng cho phép của tài liệu hướng dẫn hệ thống điện khi có sự cố của Việt Nam là 25 kA.



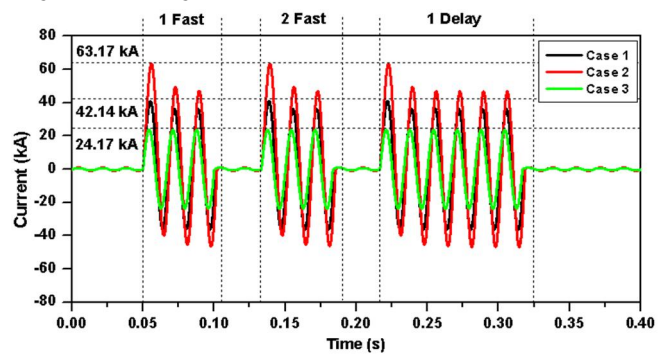
Hình 14. Kết quả mô phỏng dòng điện khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 1, hệ thống điện không có kết nối SFCL và có kết nối với nguồn phân tán tại đường dây ở trạng thái bình thường

Hình 15 trình bày đánh giá trạng thái điện áp khi xảy ra sự cố trên đường dây ở trạng thái bình thường của nhánh

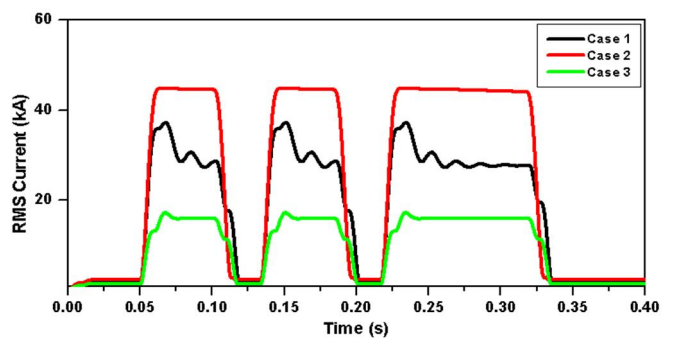
thứ nhất. Với việc lắp đặt SFCL sụt giảm điện áp ngắn hạn tại thanh cái được phục hồi đến hơn 93,95% trong điều kiện bình thường, khi có lắp đặt SFCL trong hệ thống điện.



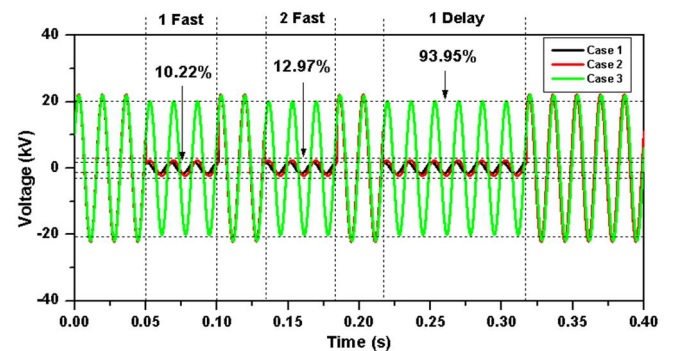
Hình 15. Kết quả mô phỏng điện áp khi xảy ra sự cố ba pha tại nhánh 2, hệ thống điện có kết nối SFCL và có kết nối với nguồn phân tán DGs, tại đường dây ở trạng thái bình thường



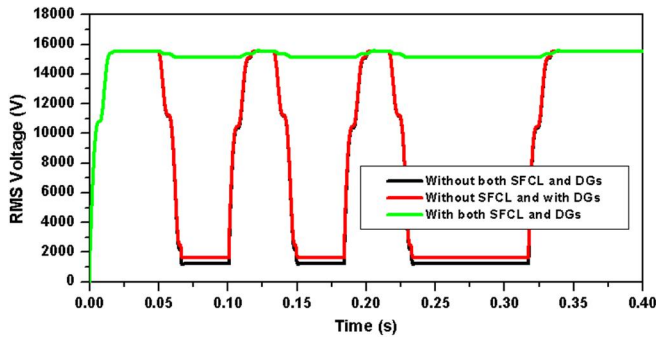
Hình 16. Kết quả mô phỏng dòng điện khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha tại nhánh 1 cho cả ba trường hợp nghiên cứu



Hình 17. Kết quả mô phỏng dòng điện RMS khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha tại nhánh 1 cho cả ba trường hợp nghiên cứu



Hình 18. Kết quả mô phỏng điện áp tại tải khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha tại nhánh 1 cho cả ba trường hợp nghiên cứu



Hình 19. Kết quả mô phỏng điện áp RMS tại tải khi xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha tại nhánh 1 cho cả ba trường hợp nghiên cứu

Hình 16, 17, 18 và 19 mô tả dòng điện sự cố, giá trị hiệu dụng RMS, giá trị hiệu dụng RMS tại nhánh 1 và nhánh 2 tương ứng cho ba trường hợp nghiên cứu. Khi SFCL được lắp đặt tại nhánh thứ nhất, sụt áp ngắn hạn đã được cải thiện đáng kể nhờ điện trở siêu dẫn của SFCL.

5.4. Đánh giá kết quả mô phỏng

Bảng 2 trình bày tóm tắt kết quả mô phỏng của dòng điện và điện áp cho ba trường hợp nghiên cứu như mô tả chi tiết ở trên cho thấy việc kết nối SFCL vào hệ thống điện phân phối trong trường các trường hợp không có DG và có DGs đã hạn chế được dòng ngắn mạch vào vào hệ thống điện.

Bảng 2. Bảng kết tổng hợp các trường hợp nghiên cứu

Trường hợp	Dòng ngắn mạch tại điểm xảy ra sự cố	Dòng ngắn mạch tại thanh cái (Đường dây ở trạng thái bình thường)	Điện áp tại thanh cái (Đường dây ở trạng thái bình thường)	Điện áp tại điểm xảy ra sự cố
1	66,75 kA	42,14 kA	10,22%	Gián đoạn (Interruption)
2	88,15 kA	63,17 kA	12,97%	Gián đoạn (Interruption)
3	39,12 kA	24,17 kA	93,95%	Gián đoạn (Interruption)

6. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã phân tích và thảo luận việc ứng dụng SFCL vào một hệ thống điện phân phối của miền Nam khi có kết nối với nguồn phân tán. Hiệu quả của thiết bị SFCL đã được đánh giá bằng mô phỏng sử dụng phần mềm Matlab/Simulink. Kết quả mô phỏng cho thấy dòng điện sự cố sẽ tăng khi hệ thống có kết nối với nguồn phân tán DGs và dòng điện sự cố được giới hạn (giảm) khi hệ thống điện có kết nối với SFCL. Bên cạnh đó chúng tôi đã ứng dụng lắp đặt SFCL và thực hiện mô phỏng tại một trạm biến áp Tầm Vu 110/22 kV. Kết quả cho thấy dòng điện sự cố đã giảm và sụt áp ngắn hạn được cải thiện. Trong nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ mô phỏng các loại sự cố khác nhau, kết hợp bảo vệ rơ le, kết nối thêm nhiều nguồn phân tán nữa... để kiểm chứng hiệu quả của thiết bị này trong hệ thống điện thông minh (Smart Grid).

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Sài Gòn đã hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu này qua đề tài NCKH cấp Trường năm 2018 mã số: CS2018-60. Số: 883/HĐ-ĐHSG, ngày 26/07/2018; xin cảm ơn các đồng nghiệp, Trường Đại học Sài Gòn, Trường Đại học Điện lực, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung và công ty TNHH Hợp Thiên đã tham gia đóng góp trong quá trình thực hiện đề tài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. J. Vahid-Pakdel, B. Mohammadi-ivatloo, (2018). *Probabilistic assessment of wind turbine impact on distribution networks using linearized power flow formulation*. Electric Power Systems Research, Volume 162, Pages 109-117.
- [2]. S. Khanbabapour, M. E. H. Golshan, (2018). *Synchronous DG Planning to Help High Voltage Systems*. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 33, Issue: 3, pp. 2440 – 2451.
- [3]. Snigdha R. Behera, B. K. PanigrahiD, (2018). *A multi objective approach for placement of multiple DGs in the radial distribution system*. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, Pages 1-15..
- [4]. Shaofei Shen, Da Lin, Huifang Wang, Peijun Hu, Kuan Jiang, Dongyang Lin, Benteng He, (2017). *An Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems With DGs Based on Optimized Thevenin Equivalent Parameters Estimation*. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 32, Issue: 1, Pages: 411 – 419.
- [5]. Abbas Esmaeili, Saeid Esmaeili, Hossein Hojabri, (2016). *Short-circuit level control through a multi-objective feeder reconfiguration using fault current limiters in the presence of distributed generations*. IET Generation, Transmission & Distribution, Volume: 10, Issue: 14, Pages: 3458 - 3469.
- [6]. Sung-Hun Lim, Jin-Seok Kim, (2013). *Study on Correction of Protective Devices for Application of a SFCL in a Power Distribution System With a Dispersed Generation*. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Article Sequence Number: 5603504, Volume: 23, Issue: 3.
- [7]. H. J. Schettino, R. de Andrade Jr, A. Polasek, D. Kottonau, W. T. B. de Sousa, (2018). *A strategy for protection of high voltage systems using resistive superconducting fault current limiters*. Physica C: Superconductivity and its Applications, Volume 544, Pages 40-45.
- [8]. Seung Ryul Lee, Jong-Joo Lee, Jaeyoung Yoon, Yoen-Woog Kang, Jin Hur, (2017). *Protection Scheme of a 154-kV SFCL Test Transmission Line at the KEPCO Power Testing Center*. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Article Sequence Number: 5401305, Volume: 27, Issue: 4.
- [9]. U. A. Khan, W. J. Shin, J. K. Seong, S. H. Oh, S. H. Lee, B. W. Lee, (2011). *Feasibility analysis of the application and positioning of DC HTS FCL in a DC microgrid through modeling and simulation using Simulink and SimPowerSystem*. Physica C: Superconductivity and its Applications, Volume 471, Issues 21–22, Pages 1322-1326.
- [10]. Jong-Fil Moon, Sung-Hun Lim, Jae-Chul Kim, Sang-Yun Yun, (2011). *Assessment of the Impact of SFCL on Voltage Sags in Power Distribution System*. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Volume: 21, Issue: 3, Pages: 2161-2164.