

## NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN SỤT ÁP NGẮN HẠN TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI SỬ DỤNG THIẾT BỊ HẠN CHẾ DÒNG NGẮN MẠCH BẰNG VẬT LIỆU SIÊU DẪN KIỂU ĐIỆN TRỞ (R\_SFCL)

A STUDY ON IMPROVEMENT OF VOLTAGE SAGS ON DISTRIBUTION SYSTEM USING RESISTIVE\_SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (R\_SFCL)

Nguyễn Chí Hùng<sup>1</sup>, Nguyễn Tùng Linh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sài Gòn, <sup>2</sup>Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 2/10/2018, Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2018, Phản biện: TS. Phạm Mạnh Hải

### Tóm tắt:

Bài báo đề xuất một chiến lược ứng dụng thiết bị hạn chế dòng ngắn mạch bằng vật liệu siêu dẫn kiểu điện trở (R\_SFCL) vào hệ thống điện phân phối để cải thiện sụt áp ngắn hạn (độ võng điện áp) và phân tích ảnh hưởng của R\_SFCL lên các dạng mạch nhánh khác nhau, bao gồm mạch hình tia và mạch vòng kín, ứng dụng vào phân tích cho lưới điện phân phối 69/11,4 kV. Khi có một sự cố xảy ra tại một điểm dọc theo mạch nhánh hoặc tại Bus số ngắt, kết quả mô phỏng cho thấy khi lắp đặt thiết bị R\_SFCL vào hệ thống phân phối, R\_SFCL sẽ hạn chế dòng ngắn mạch và làm giảm biên độ dòng điện ngắn mạch xấp xỉ 53%. Bên cạnh đó R\_SFCL có thể cải thiện sụt áp ngắn hạn tùy thuộc vào vị trí sự cố. Từ đó, kết quả cải thiện sụt áp ngắn hạn sử dụng đường cong đồ thị Information of Technology Industry Council (ITI Curve) để đánh giá.

### Từ khóa:

R\_SFCL, sụt áp ngắn hạn, độ võng điện áp, chất lượng điện năng, hệ thống điện phân phối.

### Abstract:

This paper proposes the strategies of applying Resistive\_Superconducting Fault Current Limiter (R\_SFCL) to distribution system for voltage sags (voltage dips) performance improvement. And the effectiveness for different feeder types, radial and closed-loop structures, is analyzed for 69/11,4 kV distribution system. When a fault happens to a certain point along the feeder or at the tie breaker, the simulation results show that R\_SFCL can effectively limit the fault current, and the amplitude decrease can be up to approximately 53%. Besides, the voltage sag severity is dependent of fault location. Therefore, the effectiveness of voltage sag improvement is definitely illustrated by the curve of Information of Technology Industry Council (ITIC Curve).

### Keywords:

R\_SFCL, Voltage sags, Voltage dips, Power quality, Distribution system.

### 1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, cùng với sự phát triển của công nghiệp hóa, hiện đại hóa, nhu cầu sử dụng

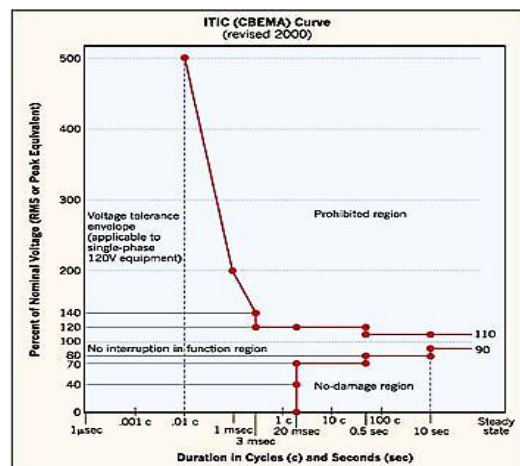
điện của các hộ tiêu thụ ngày càng gia tăng, vì thế kết cấu của các hệ thống điện sẽ trở nên đa dạng và phức tạp hơn. Như

vậy, khi có sự cố ngắn mạch xảy ra, dòng điện sự cố sẽ vượt quá tỷ lệ cho phép của máy cắt, CB. Trong tương lai không xa, dòng điện sự cố sẽ vượt quá tỷ lệ của các thiết bị bảo vệ tại các trạm biến áp, từ đó các thiết bị bảo vệ phải cần được thay thế hoặc bảo trì để đáp ứng nhu cầu gia tăng liên tục của phụ tải. Khi đó sẽ phát sinh nhiều vấn đề về kinh tế (do giá thiết bị cao), kỹ thuật mới cho việc thay thế này. Vì thế, để ổn định hệ thống điện và nâng cao chất lượng điện năng trong hệ thống điện là một giải pháp vô cùng khó khăn và phức tạp. Xuất phát từ nhu cầu đó, Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) “Hạn chế dòng sự cố bằng vật liệu siêu dẫn” là một thiết bị tiên tiến mới đầy tiềm năng để giải quyết vấn đề này. SFCL là một giải pháp tối ưu để gia tăng tính ổn định và nâng cao chất lượng điện năng trong hệ thống điện, thiết bị này có khả năng giới hạn dòng ngắn mạch và nâng cao sụt áp khi có sự cố xảy ra, hiện nay đã có một số loại SFCL được lắp đặt trong hệ thống điện của một số quốc gia [1-3].

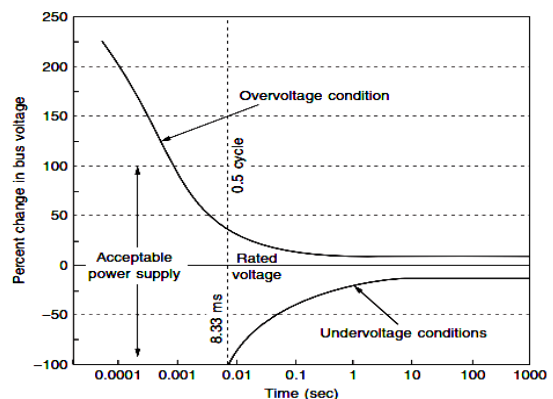
SFCL là một thiết bị tiên tiến dựa trên nguyên lý siêu dẫn. SFCL là thiết bị có khả năng giới hạn dòng điện ngắn mạch nhanh chóng trong một chu kỳ đầu tiên, và không ảnh hưởng đến hệ thống điện trong thời gian làm việc bình thường. Chính vì ưu điểm này, SFCL không chỉ có khả năng hạn chế dòng ngắn mạch mà còn cải thiện chất lượng điện áp mà cụ thể là cải thiện độ võng điện áp khi có sự cố xảy ra [4-5].

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). Tiêu chí này dùng để đánh giá biên độ sụt giảm điện áp trong thời gian ngắn. Hiện nay, trên thế giới có nhiều tiêu chuẩn đánh giá chất lượng điện năng bao gồm các tiêu chuẩn IEC (International Electrotechnical Commission), tiêu chuẩn EN (European Norm/Standard). Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng đồ thị the Informations Technology Industry Council (ITIC), Computer and Business Equipment Manufacture Association (CBEMA). Trong đó đồ thị ITIC được phát triển từ đồ thị CBEMA [6-7] được minh họa trong hình 1 và hình 2.



Hình 1. Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng điện năng theo ITIC đã được hiệu chỉnh năm 2000

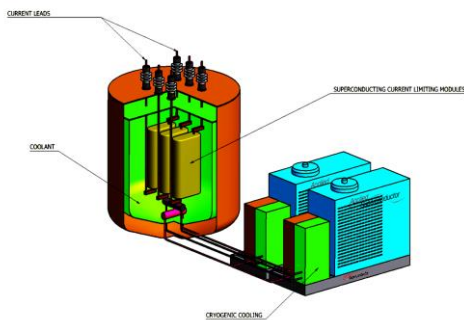


Hình 2. Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng điện năng theo CBEMA [6]

Sụt áp ngắn hạn là một trong những tiêu chí quan trọng để đánh giá chất lượng điện năng trong lưới điện phân phối khi có sự cố xảy ra. Các công trình nghiên cứu ảnh hưởng của SFCL đến chất lượng điện năng trong lưới điện phân phối khi có sự cố ngắn mạch xảy ra còn ít. Chính vì vậy trong nghiên cứu này chúng tôi nghiên cứu ảnh hưởng của SFCL lên sụt áp ngắn hạn trong lưới điện phân phối và sử dụng đồ thị ITIC để đánh giá chất lượng điện áp khi có sự cố ngắn mạch xảy ra. Kết quả mô phỏng cho thấy SFCL đã hạn chế dòng điện ngắn mạch và cải thiện chất lượng điện áp mà cụ thể là độ vồng điện áp (Sag) khi có ngắn mạch xảy ra.

## 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 một số loại mô hình SFCL 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 của Hãng Nexan được trình bày như hình 3 và hình 4 để phục vụ cho việc mô phỏng.



Hình 3. Cấu trúc của R\_SFCL của Hãng Nexan



Hình 4. Thí nghiệm kiểm tra R\_SFCL của Hãng Nexan

Trong nghiên cứu này, chúng tôi xây dựng mô hình R\_SFCL và sử dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng [7-9] và ứng dụng mô hình toán học để thiết kế. 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) [7, 10].

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

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

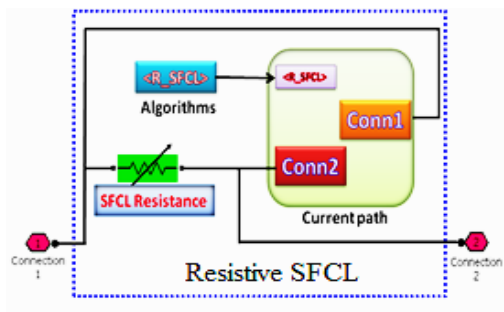
$$R_{SC}(t) = \alpha_1(t-t_1) + \beta_1 \quad (t_1 \leq t < t_2), \quad (3)$$

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

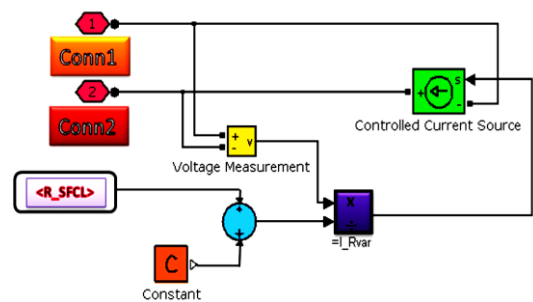
Trong phương trình (1)-(4),  $R_m$  là giá trị điện trở của R\_SFCL và có giá trị là:  $R_m=1$  đến 20 ( $\Omega$ ),  $T_f$  là thời gian chuyển giá trị của điện trở SFCL khi có sự cố xảy ra và có giá trị:  $T_f=0,01(s)$ ;  $t_0$  là thời gian

cắt; hệ số thời gian thay đổi của điện trở tác động  $\alpha_1 = -80 \text{ } \Omega/\text{s}$ ; điện trở phục hồi  $\beta_1 = R_m \text{ } \Omega$ ;  $t_1$  là thời gian phục hồi; hệ số thời gian phục hồi  $\alpha_2 = -160 \text{ } \Omega/\text{s}$ ; hệ số thời gian phục hồi lần thứ hai  $\beta_2 = R_m/2 \text{ } \Omega$ ,  $t_2$  là thời gian kết thúc. Thời gian tác động từ trạng thái bình thường đến thời gian siêu dẫn là  $t_0 = 1 \text{ s}$ . Bốn tham số cơ bản dùng để thiết kế R\_SFCL bao gồm: Thời gian chuyển tiếp = 2 ms, tổng trở nhỏ nhất =  $0,01 \text{ } \Omega$ , tổng trở lớn nhất =  $20 \text{ } \Omega$ , dòng điện ngắt = 550 A, thời gian hồi phục = 10 ms [11-14].

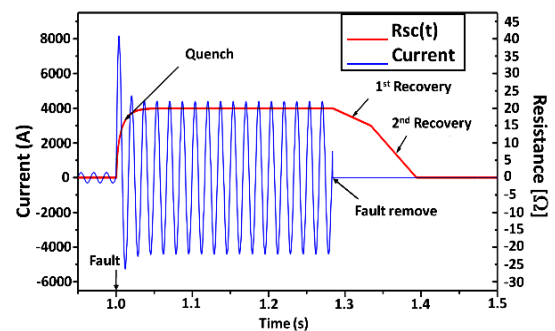
Nếu dòng điện sự cố vượt quá dòng điện cho phép, trong nghiên cứu này là 550 A, thì giá trị điện trở SFCL sẽ đạt giá trị điện trở cực đại, trong nghiên cứu này là  $20 \text{ } \Omega$ . Khi sự cố được khắc phục, dòng điện sự cố nhỏ hơn mức giới hạn dòng điện cho phép 550 A thì SFCL sẽ giảm dần điện trở khi sự cố được loại trừ SFCL và sẽ trở lại trạng thái bình thường. Dòng điện ngắt là dòng điện cho phép trước khi có sự cố xảy ra. Hình 5, hình 6 và hình 7 trình bày các đặc tính của SFCL và mô hình được mô phỏng sử dụng phần mềm. MATLAB/Simulink.



Hình 5. Thuật toán và mô hình Resistive SFCL thiết kế trong simulink

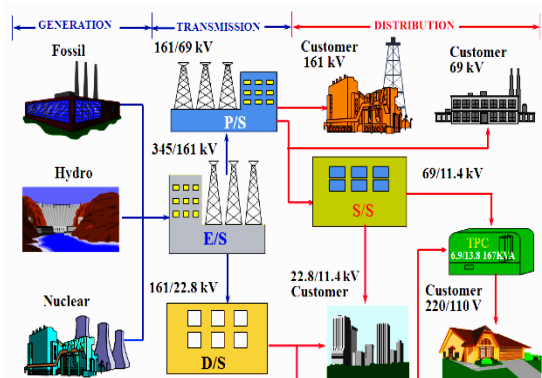


Hình 6. Đặc tính Resistive SFCL thiết kế trong simulink



Hình 7. Dòng điện giới hạn và điện trở SFCL

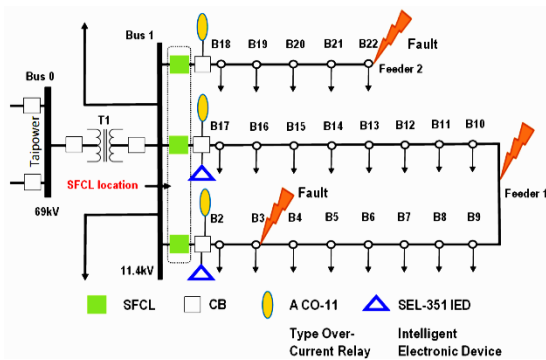
### 3. CẤU HÌNH VÀ SƠ ĐỒ CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI SỬ DỤNG MÔ PHỎNG



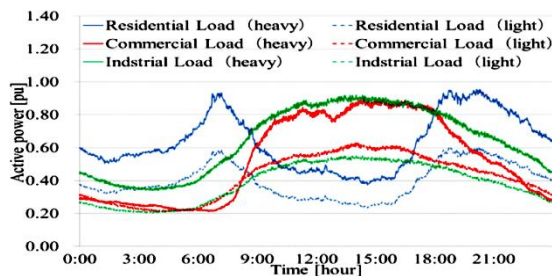
Hình 8. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điện

Một hệ thống phân phối bao gồm một mạch hình tia và một mạch vòng kín trong hệ thống điện 69/11 kV được trình bày trong hình 8 được chọn để nghiên cứu ảnh hưởng của SFCL lên chất lượng điện áp

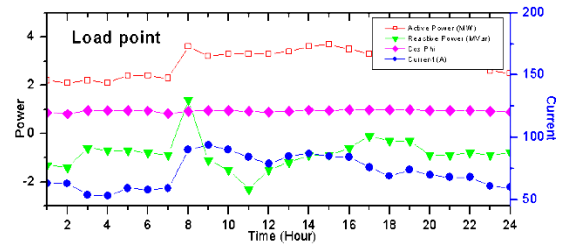
của hệ thống này. Cấu trúc của hệ thống bao gồm một máy biến áp chính, đường dây truyền tải và các thiết bị bảo vệ như CB dùng để bảo vệ hệ thống điện khi có sự cố xảy ra. SFCL được lắp đặt để giảm dòng điện sự cố và cải thiện chất lượng điện áp trong hệ thống được trình bày trong hình 9, sơ đồ phụ tải và nhóm phụ tải được trình bày trong hình 10 và hình 11 và hình ảnh minh họa việc kết nối SFCL trong hệ thống điện phân phối được trình bày trong hình 12. Dung lượng ngắn mạch tại thanh cái 69 kV ở phía thứ cấp máy biến áp chính là 2980 MVA. Máy biến áp phân phối (T1) có dung lượng là 40MVA và tổng trở là 9,67%. Máy biến áp được lắp đặt vào lưới điện phân phối hình tia 69/11,4 kV. Có 16 nhánh phân phối được ký hiệu từ (B2 đến B17) cho hệ thống mạch vòng kín và 5 nhánh mạch hình tia được ký hiệu từ (B18 đến B22).



Hình 9. Sơ đồ đơn tuyến hệ thống điện phân phối 69/11.4 kV kết nối với SFCL được chọn để nghiên cứu



Hình 10. Đồ thị phụ tải



Hình 11. Đồ thị phụ tải hàng ngày



Hình 12. Hình ảnh lắp đặt SFCL

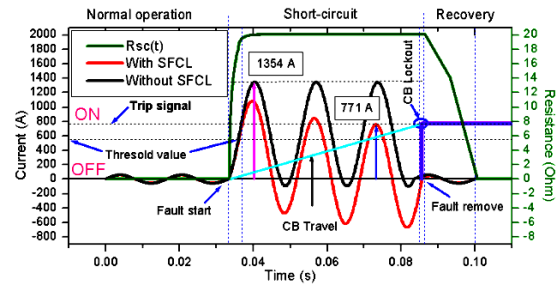
#### 4. CÁC TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU

Để đánh giá ảnh hưởng của SFCL lên độ võng điện áp trong hệ thống điện phân phối nhánh, 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. Ba trường hợp mô phỏng tiêu biểu trong nghiên cứu này được thực hiện như sau:

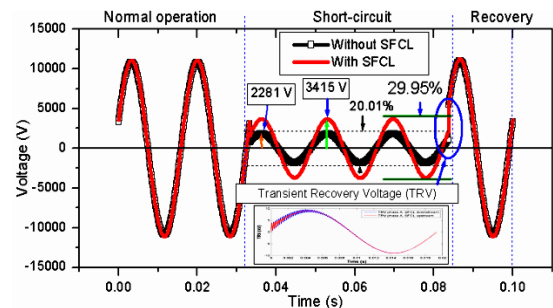
##### 4.1. Trường hợp 1: Sự cố ngắn mạch xảy ra tại các điểm nhánh mạch hình tia của lưới điện có kết nối với SFCL (mạch nhánh “Feeder”)

Mục đích chính của trường hợp nghiên cứu này là thảo luận độ võng điện áp từ Bus số B18 đến Bus số 22, trong trường hợp nghiên cứu này SFCL được lắp đặt tại điểm bắt đầu của nhánh và sự cố ngắn mạch ba pha có thể xảy ra tại các điểm trên mạch nhánh thứ hai (Feeder 2) của hệ thống. Hình 13 minh họa dòng điện tại

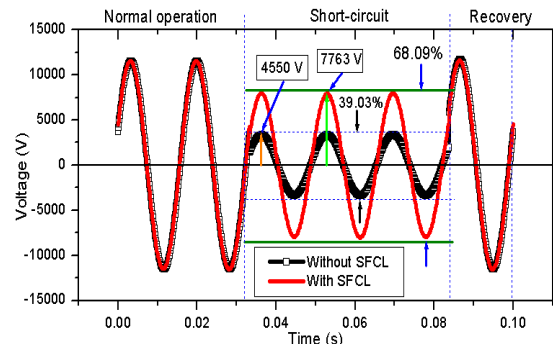
Bus số 22, hình 14 và hình 15 trình bày dạng sóng điện áp tại Bus số 21 và Bus số 20 tương ứng trong hai trường hợp có lắp đặt SFCL và không có lắp đặt SFCL. Trong trường hợp này nếu có một sự cố xảy ra, giả sử thời điểm xảy ra sự cố  $t=0,33$  s tại Bus số 22 (thời gian  $t=0,00$  s là thời gian bắt đầu mô phỏng). Thời gian cài đặt CB cắt được thiết lập sau ba chu kỳ và thời gian sự cố được khắc phục được tạo là 0,083 s. Tổng thời gian mô phỏng là 0,1 s. Trong hình 13 dòng điện sự cố sau khi mô phỏng được quan sát giới hạn giảm đến 771A (56,94%) từ 1354 A tại Bus số 22. Độ võng điện áp trong trường hợp có lắp đặt SFCL tốt hơn trong trường hợp có không có lắp đặt SFCL. Trong trường hợp này, độ võng điện áp được cải thiện từ 20,01% (2281 V) đến 29,95% (3415 V), độ võng tăng từ 39,03% (4450V) đến 68,09% (7763 V) tại Bus số 21 và Bus số 20. Trong mỗi trường hợp dưới áp và quá áp chúng tôi sử dụng đồ thị đường cong ITIC để đánh giá độ võng điện áp trong các trường hợp mô phỏng này. Trong hình 16 khi hệ thống điện không có lắp đặt SFCL thì độ võng điện áp rơi dưới đường giới hạn của tiêu chuẩn ITIC khi có sự cố xảy ra. Nếu hệ thống điện có lắp đặt SFCL, độ võng điện áp được cải thiện khi có sự cố xảy ra, giá trị trung bình khoảng 23%. Độ võng điện áp tại Bus số 18 và Bus số 19 rơi vào trong giới hạn của trạng thái bình thường của đường cong ITIC. Trong hình 17 minh họa độ võng điện áp từ Bus số 19 đến Bus số 22 khi có sự cố xảy ra tại hình tia của hệ thống. Như kết quả mô phỏng ở hình 17 độ võng điện áp được cải thiện xấp xỉ 26% tại Bus số 19 và 29% tại Bus số 20.



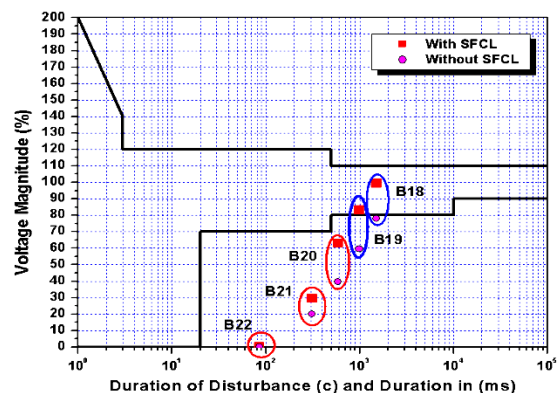
Hình 13. Dòng điện tại Bus số 22



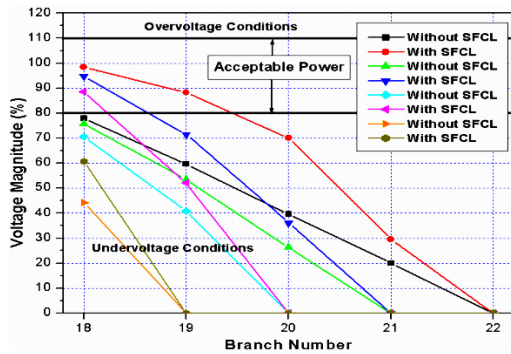
Hình 14. Điện áp tại Bus số 21



Hình 15. Điện áp tại Bus số 20



Hình 16. Đồ thị ITIC của trường hợp 1 (ngắn mạch tại Bus số 22)

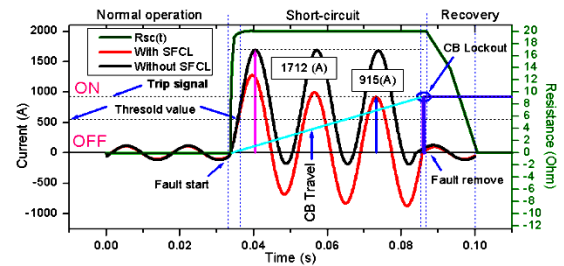


Hình 17. Độ võng điện áp từ Bus số 19 đến Bus số 22 trong trường hợp có lắp SFCL và không lắp SFCL

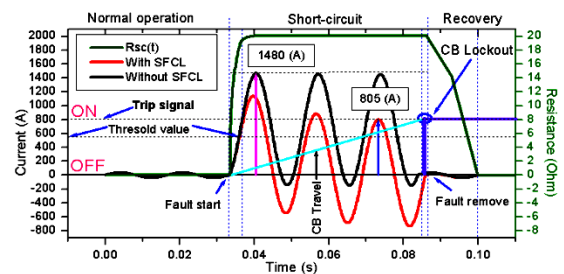
#### 4.2. Trường hợp 2: Sự cố ngắn mạch xảy ra tại mạch vòng kín của lưới điện có kết nối với SFCL

Mục đích nghiên cứu trong trường hợp này là phân tích độ võng điện áp từ Bus số 2 đến Bus số 17, trường hợp này SFCL được lắp đặt tại điểm bắt đầu và điểm kết thúc trong mạch vòng kín của hệ thống điện phân phối và sự cố xảy ra tại Bus số 9, hình 19 trình bày dạng sóng dòng điện tại Bus số 10 trong hai trường hợp có và không có lắp đặt SFCL. Hình 20 thể hiện dạng sóng điện áp tại Bus số 6 trong cả hai trường hợp có lắp đặt và không có lắp đặt thiết bị SFCL. Thời gian xảy ra sự cố là  $t=0,33s$ . Dòng điện sự cố sẽ được giới hạn trong trường hợp này được thực hiện thông qua SFCL và ngắt mạch cho lưới điện thông qua CB. CB sẽ mở sau 3 chu kỳ và thời gian chỉnh định khắc phục sự cố và ngắt mạch tại 0,083 s. Dòng điện sự cố được giới hạn từ 915 A (53,44%) và 805 A (54,39%) từ các giá trị 1712 A và 1480 A tại Bus số 9 và Bus số 10. Độ võng điện áp khi xảy ra sự cố được cải thiện theo các giá trị từ 24,82% (2830 V) đến 50,43% (5750 V) tại Bus số 6 trong

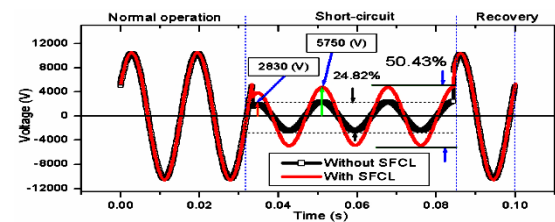
khi có sự cố xảy ra. Hình 21 minh họa các đặc tính sụt giảm điện áp cho trường hợp nghiên cứu thứ 2. Kết quả của hình 21 cho thấy độ võng điện áp khi hệ thống không có kết nối SFCL rơi dưới chỉ tiêu cho phép của đồ thị đánh giá ITIC. Tuy nhiên, với sự lắp đặt SFCL thì độ võng điện áp được cải thiện. Cụ thể là các Bus số điện áp được nằm trong đường đánh giá ITIC là các Bus số 2, 3, 4, 15, 16, 17. Hình 22 thể hiện độ võng điện áp từ Bus số 2 đến Bus số 17 khi có sự cố ngắn mạch xảy ra tại mạch vòng kín của hệ thống. Độ võng điện áp được cải thiện trong trường hợp nghiên cứu này được cải thiện từ 10% đến 30% tùy thuộc vào vị trí sự cố dọc theo chiều dài nhánh.



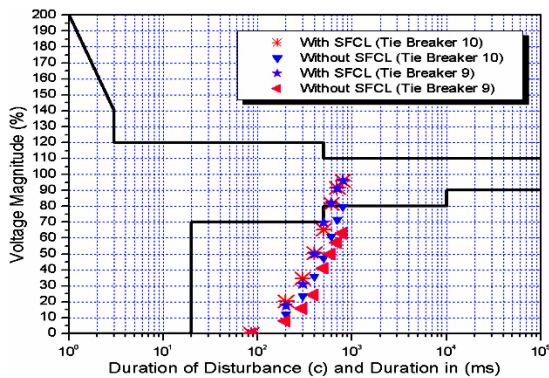
Hình 18. Dòng điện tại Bus số 9



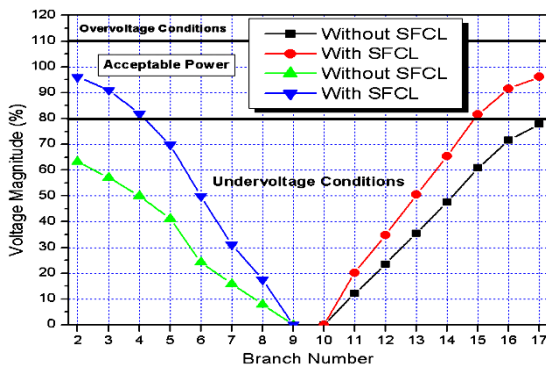
Hình 19. Dòng điện tại Bus số 10



Hình 20. Điện áp tại Bus số 6



Hình 21. Đồ thị ITIC cho trường hợp nghiên cứu thứ 2

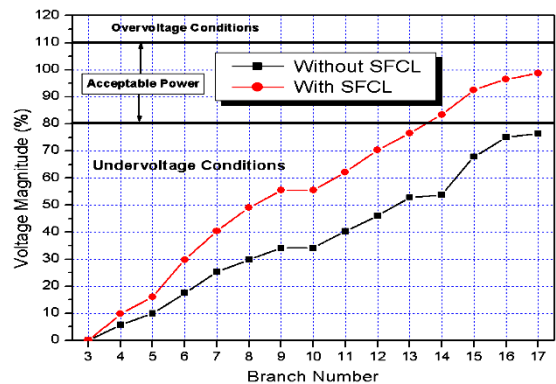


Hình 22. Đồ thị độ võng điện áp từ Bus số 2 đến Bus số 17 trong hai trường hợp có và không có lắp đặt thiết bị SFCL

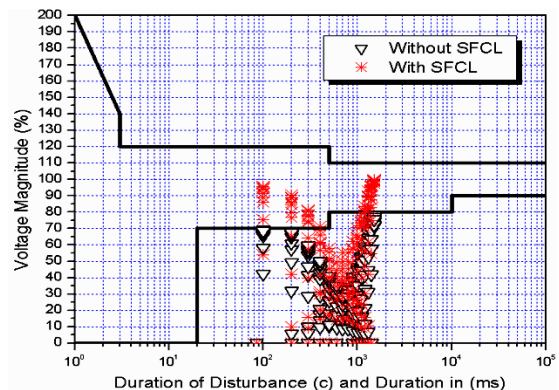
#### 4.3. Trường hợp 3: Sự cố ngắn mạch xảy ra tại các điểm nhánh mạch vòng kín của lưới điện có kết nối với SFCL (“Closed Loop”)

Trường hợp này nghiên cứu độ võng điện áp từ Bus số 3 đến Bus số 17 trong trường hợp này SFCL được lắp đặt từ điểm bắt đầu đến điểm kết thúc trong sơ đồ hệ thống điện phân phối vòng kín và sự cố ngắn mạch xảy ra tại tất cả các điểm nhánh trên nhánh thứ 1. Hình 23 minh họa độ võng điện áp từ Bus số 3 đến Bus số 17, khi có một sự cố xảy ra tại Bus số 3. Sử dụng đường cong ITIC để đánh giá ta thấy minh họa trong hình 24 thể hiện độ võng điện áp khi các sự cố xảy ra tại

tất cả các điểm trong nhánh thứ 1. Từ kết quả quan sát ở hình 24, trường hợp không có lắp đặt SFCL hầu hết các độ võng điện áp rơi dưới tiêu chuẩn theo đường cong ITIC. Khi hệ thống có kết nối SFCL, độ võng điện áp được cải thiện, sự cải thiện này phụ thuộc vào vị trí sự cố. Các giá trị này cải thiện xấp xỉ 30% đối với độ võng điện áp tại Bus số 14.



Hình 23. Đồ thị độ võng điện áp từ Bus số 3 đến Bus số 17 trong hai trường hợp có và không có lắp đặt thiết bị SFCL



Hình 24. Đồ thị ITIC cho trường hợp nghiên cứu 3

#### 5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này chúng tôi đã phân tích và thảo luận ảnh hưởng của SFCL lên sụt giảm điện áp ngắn hạn trong một hệ thống phân phối hình tia 69/11,4 kV

thông qua các trường hợp nghiên cứu. Hiện tượng dưới điện áp trong các trường hợp nghiên cứu thông qua mô phỏng và được đánh giá bởi đồ thị ITIC. Kết quả mô phỏng cho thấy khi không lắp đặt SFCL thì khi có sự cố xảy ra thì tất cả độ võng điện áp rơi vào trong trên trạng thái không cho phép của đồ thị ITIC, khi hệ thống điện có lắp đặt SFCL độ võng điện áp tại pha sự cố được cải thiện, các giá trị

cải thiện này phụ thuộc vào điểm xảy ra sự cố. Từ kết quả mô phỏng cho thấy hiện tượng dưới điện áp trong hệ thống mạch vòng kín lớn hơn mạch hình tia. Từ kết quả này cho thấy hiệu quả của SFCL, khi lắp đặt SFCL vào lưới điện thì độ võng điện áp được cải thiện. Trong nghiên cứu tương lai chúng tôi sẽ phối kết hợp nghiên cứu với bảo vệ rơ le trong hệ thống điện.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. Hayakawa, Y. Maeno and H. Kojima, "Fault Current Limitation Coordination in Electric Power Grid With Superconducting Fault Current Limiters" IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 28, No. 4, Article Sequence Number: 5602304, 2018.
- [2] J. Rusiński, "Impact of superconducting fault current limiter on the distributed energy source work" IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 12, No. 2, pp. 310-317, 2018.
- [3] Y. Kim, H.C. Jo and S. K. Joo, "Analysis of Impacts of Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) Placement on Distributed Generation (DG) Expansion", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 26, No. 4, 2016.
- [4] J.G. Lee, U.A. Khan, H.Y. Lee and B.W. Lee, "Impact of SFCL on Four Types of HDVC Circuit Breakers by Simulation", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 26, No.4, 2016.
- [5] R. Ou, X.Y. Xiao, Z.C. Zou, Y. Zhang and Y. H. Wang, "Cooperative Control of SFCL and Reactive Power for Improving the Transient Voltage Satability of Grid - Connected Wind Farm with DFIGs", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 26, No. 7, 2016.
- [6] A. Kuso and M.T. Thompson, "Power quality in electrical systems", Mc Graw Hill, New York Chicago San Francisco, 2004.
- [7] J.F Moon, S.H. Lim, J. C. Kim, and S.Y. Yun, "Assessment of the Impact of SFCL on Voltage Sags in Power Distribution System", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 21, No. 3. pp. 2161-2164, June 2011.
- [8] T. Kulworawanichpong, "Modeling of Solid-state Circuit Breakers using MATLAB's Power System Blockset", International Journal Of Mathematics And Computers In Simulation Vol. 2, No. 3, 2008.
- [9] L. Dessaint, K. Al-Haddad, H. L. Huy, G. Sybille, P. Brunelle, "A power system tool based on Simulink", IEEE Transactions Industrial Electronic, Vol.6, No. 6. pp. 1252-1254, 1999.
- [10] J. F. Moon and J. S. Kim, "Voltage Sag Analysis in Loop Power Distribution System With SFCL", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 23, No. 3, June 2013.
- [11] U. A. Khan, J. K. Seong, S. H. Lee, S. H. Lim, B. W. Lee, "Feasibility Analysis of the Positioning of Superconducting Fault Current Limiters for the Smart Grid Application Using Simulink

- and SimPowerSystem”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 12, No. 3. pp. 2165–2169, 2011.
- [12] J.S. Hwang, Umer. A. Khan, W. J Shin, J.K. Seong, J.G. Lee, Y.H. Kim and B.W. Lee, “Validity Analysis on the Positioning of Superconducting Fault Current Limiter in Neighboring AC and DC Microgrid” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 3, No. 23, 2013.
- [13] U.A. Khan, W.J. Shin, J.K. Seong, S.H. Oh, S.H. Lee, B.W. Lee, “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, November 2011, Pages 1322-1326
- [14] J.G. Lee, U.A. Umer Amir Khan, Jae Sang Hwang, Jae Kyu Seong, Byung Bae Parl, Bang Wook Lee, “Assessment on the influence of resistive superconducting fault current limiter in VSC – HVDC system”, Physica C: Superconductivity and its Applications Volume 504, Issues 21–22, September 2014, Pages 163-166

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Chí Hùng tốt nghiệp Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh ngành điện khí hóa và cung cấp điện năm 2000; nhận bằng Thạc sĩ năm 2006 ngành thiết bị, mạng và nhà máy điện; nhận bằng Tiến sĩ năm 2015 ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Khoa học ứng dụng Cao Hùng, Đài Loan (Trung Quốc).

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống điện, chất lượng điện năng, ứng dụng SFCL vào hệ thống điện, lưới điện thông minh, lưới điện phân phối, tự động hóa hệ thống điện, khí cụ điện, ứng dụng thành phố thông minh.



Tác giả Nguyễn Tùng Linh tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội ngành hệ thống điện năm 2005; nhận bằng Thạc sĩ năm 2010; bảo vệ luận án Tiến sĩ ngành kỹ thuật điều khiển tự động hóa năm 2018 tại Viện Hàn lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam.

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống điện, ứng dụng AI cho hệ thống điện, lưới điện phân phối, tự động hóa hệ thống điện, lưới điện phân phối.