

ẢNH HƯỞNG CỦA NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN LÊN SỰ PHỐI HỢP BẢO VỆ CỦA LƯỚI PHÂN PHỐI

EFFECT OF DISTRIBUTED GENERATION ON PROTECTION COORDINATION OF DISTRIBUTION NETWORK

Nguyễn Hồng Nhung^{1,*},
Nguyễn Chính Nghĩa¹, Nguyễn Ngọc Hoan¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.033>

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, các nguồn điện quy mô nhỏ như các hệ thống điện mặt trời áp mái (Photovoltaic - PV) hoặc các nhà máy phát điện dùng khí sinh học (Biogas power plant) được đầu tư và phát triển mạnh mẽ trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Những nguồn điện này có thể được lắp đặt rải rác trong lưới phân phối và được gọi là các nguồn điện phân tán (Distributed generation - DG). Chính phủ các nước đã đưa ra nhiều chính sách khuyến khích người dân tự đầu tư và lắp đặt các nguồn điện này, điều này khiến cho mức độ thâm nhập của DG trong lưới phân phối ngày càng cao. Tuy nhiên lưới điện phân phối cũ chưa có sự thay đổi phù hợp để theo kịp sự gia tăng nhanh chóng của DG vì vậy việc vận hành lưới phân phối, đặc biệt là phối hợp hệ thống bảo vệ sẽ gặp nhiều khó khăn. Bài báo này tập trung tìm hiểu về sự phối hợp bảo vệ của recloser và cầu chì trong lưới phân phối và tính toán ngưỡng công suất phát tối đa của DG để không gây ảnh hưởng đến sự phối hợp của hệ thống bảo vệ. Việc nghiên cứu được thực hiện trên phần mềm ETAP. Các kết quả được phân tích, đánh giá và cho thấy khả năng ứng dụng của nghiên cứu trong thực tế.

Từ khóa: Cầu chì, phối hợp bảo vệ, năng lượng tái tạo, recloser.

ABSTRACT

In recent years, small-scale power plants such as rooftop solar power systems or biogas power plants have been invested and developed enormously in the world as well as in Vietnam. These energy sources are also called distributed generations (DG) which are connected to the distribution grid and decentralized controlled. Due to many supportive policies from the government, the penetration level of DG in the distribution network is increasing rapidly while the change in the distribution network configuration is still limited. Consequently, the distribution network's operation, especially the protection system coordination, will face many difficulties. This paper focuses on the coordination of recloser and fuse in the distribution network and determines the DG's maximum capacity to connect to the distribution grid. The study is implemented on ETAP software; the results show that this research has practical significance.

Keywords: Fuse, protection combination, renewable energy, recloser.

¹Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: nhung.nguyenhong1@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 23/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2023

1. GIỚI THIỆU

Lưới điện phân phối đang trong quá trình cải tạo, đầu tư và phát triển với mục đích đáp ứng nhu cầu của phụ tải một cách tốt nhất. Tuy nhiên vẫn còn tồn tại nhiều khó khăn như việc vẫn còn nhiều khu vực nằm xa lưới phân phối quốc gia, rồi những vấn đề về bài toán kinh tế... để khắc phục những vấn đề trên giải pháp được đưa ra là tăng công suất nguồn, khả năng tải của đường dây hay sử dụng nhiều nguồn công suất nhỏ kết nối với lưới phân phối [1]. Trong những năm trở lại đây, sự phát triển của những nguồn năng lượng tái tạo như mặt trời, gió, khí sinh học,... cùng với nhu cầu sử dụng điện ngày càng lớn đã làm cho việc lắp đặt những loại nguồn điện này trở nên phổ biến, trong đó có một số lượng lớn là do khách hàng sử dụng điện tự lắp đặt. Nhìn chung, những nguồn điện này thường có kích cỡ nhỏ (dưới 5MW), kết nối với lưới điện phân phối và còn được gọi là các nguồn điện phân tán (Distributed generation - DG) [2]. Việc sử dụng các nguồn năng lượng nhỏ này giúp đáp ứng tốt hơn nhu cầu của khách hàng sử dụng điện, giảm tổn thất điện áp trên lưới truyền tải và phân phối cũng như giảm sự phụ thuộc của khách hàng vào nguồn phát điện truyền thống. Ngoài ra, sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo thay thế dần cho các năng lượng hóa thạch cũng giúp bảo vệ môi trường, giảm thiểu sự ô nhiễm cũng như tối ưu hóa chi phí vận hành [3].

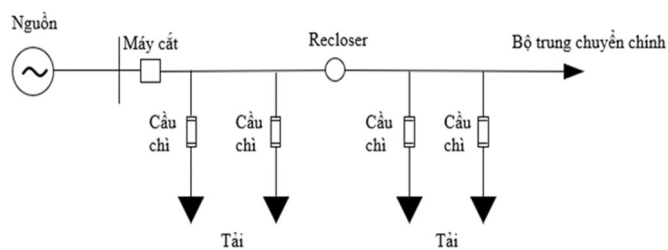
Tuy nhiên, việc lắp đặt DG vào lưới phân phối cũng sẽ làm thay đổi việc truyền tải và phân phối điện năng [4], đặc biệt là trong lưới phân phối. Sự tích hợp DG làm thay đổi cấu trúc lưới phân phối từ cấu trúc hình tia truyền thống với một nguồn duy nhất trở thành cấu trúc nhiều nguồn. Sự xuất hiện của DG có thể làm tăng điện áp tại các nút nếu như tỷ lệ thâm nhập của chúng cao. Nghiên cứu [5] có tìm hiểu về tác động của DG đối với lưới phân phối phụ thuộc vào kích thước và vị trí của chúng. Nghiên cứu này cũng cho thấy rằng hoạt động của DG có thể gây ra các sóng hài trong lưới, từ đó làm giảm chất lượng điện năng. Bên cạnh đó, việc tích hợp DG vào lưới phân phối có thể làm tăng dòng sự cố ngắn mạch gây ảnh hưởng xấu đến lưới điện, gây hư hại cho các thiết bị cũng như làm sai lệch sự phối hợp giữa các thiết bị bảo vệ. Theo nghiên cứu [6], mặc dù việc sử dụng máy phát dựa trên biến tần, chẳng hạn như hệ

thống điện mặt trời (Photovoltaic - PV) hay các nguồn năng lượng tái tạo khác sẽ làm giảm dòng sự cố cho lưới, tuy nhiên khi nhiều nguồn phát DG cùng hoạt động vẫn sẽ khiến tổng dòng sự cố vượt quá giới hạn và có thể làm hỏng các thiết bị bảo vệ. Sự phối hợp sai giữa các thiết bị bảo vệ cũng sẽ ảnh hưởng rất nhiều đến lưới điện, việc không thể phân biệt sự cố thoáng qua hay sự cố vĩnh viễn do thông số bảo vệ bị thay đổi có thể khiến lưới điện bị mất điện diện rộng, ảnh hưởng đến độ tin cậy cung cấp điện cho phụ tải [7, 8].

Mặc dù việc tích hợp DG còn có nhiều tác động tiêu cực lên lưới phân phối nhưng không thể phủ nhận rằng DG khi nối lưới sẽ đem lại, cải thiện nhiều vấn đề theo hướng tích cực cho hệ thống điện. Chính vì vậy việc nghiên cứu, phân tích, thử nghiệm và đưa ra những giải pháp cụ thể nhằm giảm thiểu những tác động tiêu cực trên đều được rất nhiều người quan tâm. Trong đó, một số nghiên cứu đã tập trung vào việc đảm bảo phối hợp giữa recloser và cầu chì nhánh ở lưới phân phối. Các tác giả của [7, 9] đã phân tích và tính toán kích cỡ phù hợp của DG sao cho không làm mất phối hợp giữa recloser và cầu chì. Nghiên cứu [10] lại đánh giá ảnh hưởng của DG lên sự phối hợp bảo vệ trong lưới thử nghiệm 13 nút của IEEE. Sự ảnh hưởng của mức độ thâm nhập cũng như vị trí của DG lên dòng ngắn mạch cũng được khảo sát. Tiếp nối theo đó, trong bài báo này, nhóm tác giả tìm hiểu sự tác động của DG đối với sự phối hợp của recloser và cầu chì trong một lưới điện thực tế tại Việt Nam, đồng thời tính toán ngưỡng lắp đặt phù hợp của DG trong lưới này. Việc nghiên cứu được thực hiện trên phần mềm ETAP. Các kết quả được phân tích, đánh giá và cho thấy khả năng ứng dụng của nghiên cứu trong thực tiễn.

2. HOẠT ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ BẢO VỆ

2.1. Chức năng của các thiết bị bảo vệ



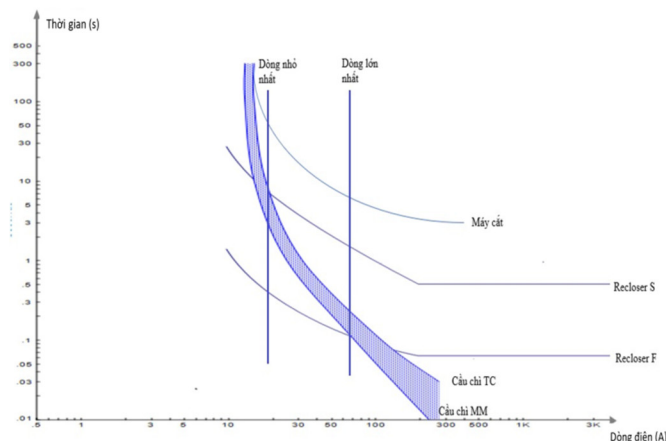
Hình 1. Lưới điện có sử dụng cầu chì và recloser

Thông thường, lưới điện phân phối có dạng điển hình là sơ đồ hình tia, với sơ đồ này dòng công suất chạy theo một chiều nhất định. Việc thiết kế hệ thống bảo vệ của lưới phân phối vì thế cũng rất đơn giản. Xét một lưới điện điển hình như ở hình 1 với được bảo vệ với máy cắt (CB), đầu đường dây trục chính, recloser (REC) được đặt giữa đường dây trục chính trong khi cầu chì được dùng để bảo vệ cho các đường dây rẽ nhánh. Cầu chì có chức năng chịu trách nhiệm về các sự cố vĩnh viễn xảy ra ở các nhánh tương ứng của hệ thống. Recloser đảm nhận trách nhiệm về các sự cố thoáng qua xảy ra ở mạch phía sau recloser, đồng thời recloser đóng vai trò là thiết bị bảo vệ dự phòng cho mạch phía sau recloser khi cầu chì không hoạt

động. Máy cắt chịu trách nhiệm về các sự cố xảy ra trước recloser, đồng thời là thiết bị bảo vệ dự phòng cho toàn bộ mạch điện khi recloser và cầu chì không hoạt động [7, 8]. Nghiên cứu này sẽ tập trung để cập tới phối hợp bảo vệ giữa recloser và cầu chì.

2.2. Hoạt động phối hợp bảo vệ trước khi lắp đặt DG

Như thống kê, trong số các sự cố xảy ra trên đường dây phân phối thì có tới 70% - 80% là sự cố thoáng qua [8]. Những hư hỏng thoáng qua như vậy thường xảy ra do sự bị phóng điện bề mặt, do sét đánh hoặc do gió mạnh làm dây dẫn chạm nhau hoặc chạm phải các vật bên cạnh. Ngoài ra còn có loại hư hỏng bán duy trì do vật lạ như cây cối, rắn, dây điều... vắt qua đường dây gây ra ngắn mạch và sẽ được loại trừ sau khi tia lửa điện (hồ quang) đốt cháy vật lạ. Vì vậy, để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện cho đường dây, người ta thường sử dụng recloser để cắt điện trong một khoảng thời gian đủ để cho môi trường chỗ hư hỏng khôi phục lại tính chất cách điện rồi sau đấy đóng trở lại thì đường dây có thể tiếp tục làm việc bình thường. Ví dụ đối với lưới điện như ở hình 1, giả sử có sự cố xảy ra trên một đường dây rẽ nhánh và trong phạm vi bảo vệ của recloser thì ngay lập tức recloser sẽ cắt theo đường đặc tính tác động nhanh để giải trừ sự cố trước khi cầu chì nhánh kịp tác động. Điều này giúp ngăn chặn việc mất điện lâu dài trên đường dây nhánh chỉ vì một sự cố thoáng qua. Sau khi recloser đóng trở lại, nếu như sự cố vẫn còn tồn tại (sự cố vĩnh cửu) thì cầu chì sẽ tác động giải trừ sự cố. Lúc này, đường đặc tính tác động chậm của recloser sẽ đóng vai trò dự phòng cho cầu chì. Để đảm bảo phối hợp giữa recloser và cầu chì thì dòng điện sự cố cần nằm trong khoảng giới hạn như ở trong hình 2 [7,8].



Hình 2. Phối hợp bảo vệ giữa Recloser và cầu chì

Việc DG tham gia vào lưới phân phối sẽ làm thay đổi dòng sự cố chảy qua các thiết bị bảo vệ, mức độ thay đổi tùy thuộc vào vị trí, kích cỡ và chủng loại của DG. Điều này dẫn đến sự thay đổi thời gian tác động của mỗi loại bảo vệ, và khiến cho các thiết bị bảo vệ có thể bị mất trình tự đã được cài đặt phối hợp trước đó [7, 8, 11]. Về nguyên tắc khi có sự cố xảy ra thì DG phải ngừng kết nối ngay lập tức. Nếu điều này được áp dụng hiệu quả thì các trường hợp hoạt động không tuân tự của các thiết bị bảo vệ không cần được

quan tâm. Tuy nhiên, trên thực tế thì không thể đảm bảo rằng thời gian DG ngắt kết nối nhanh hơn thời gian cầu chì bị nổ. Chính vì vậy, DG vẫn có khả năng cao ảnh hưởng tới cài đặt phối hợp bảo vệ của hệ thống. Để khắc phục những ảnh hưởng đó thì đã có những đề xuất để đối phó với sự cố như thay thế các thiết bị bảo vệ hoặc thiết lập một hệ thống bảo vệ mới. Tuy nhiên, đặc điểm của DG là có nguồn năng lượng sơ cấp không ổn định, công suất phát ra có thể thay đổi nhiều lần trong ngày và thậm chí có thể ngừng phát điện. Giả sử ta thay thế hoặc cài đặt lại thiết bị bảo vệ để đảm bảo phối hợp tác động khi DG phát với công suất cực đại thì rất có thể lại bị mất phối hợp khi DG phát công suất cực tiểu hoặc cắt ra khỏi lưới. Vì vậy mà một đề xuất khác được nghĩ tới mà đáp ứng được cả về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế đó chính là giới hạn dòng sự cố của DG và tính toán ngưỡng công suất của DG mà không làm mất cài đặt hệ thống phối hợp bảo vệ cũ [8].

3. MÔ HÌNH TOÁN

Xét một lưới điện điển hình như ở hình 1.

3.1. Phương trình các đường đặc tính

Recloser được trang bị rơ le quá dòng với đặc tính thời gian phụ thuộc nên đường đặc tính của recloser có thể được thể hiện qua phương trình (1) [12]:

$$t(I) = \frac{A}{M^{m-1}} T_D + B \tag{1}$$

Trong đó:

t: Thời gian tác động của recloser.

M: Tỷ lệ I/I_p , I_p là dòng điện cài đặt của rơ le, với $I_p = OLF \cdot I_{dm}$, OLF là hệ số quá tải phụ thuộc vào thiết bị được bảo vệ

I: Dòng sự cố qua recloser.

T_D : Hằng số thời gian, được tính toán để phối hợp với thiết bị bảo vệ.

A, B, m: Hằng số của các đường đặc tính chọn từ bảng 1.

Bảng 1. Mô tả đặc tính phụ thuộc của bảo vệ quá dòng [12]

Mô tả đặc tính	Tiêu chuẩn	m	A	B
Đặc tính dốc vừa	IEEE	0,02	0,0515	0,114
Đặc tính rất dốc	IEEE	2	19,61	0,491
Đặc tính cực dốc	IEEE	2	28,2	0,1217
Đặc tính có độ dốc tiêu chuẩn	IEC	0,02	0,14	0
Đặc tính rất dốc	IEC	1	13,5	0
Đặc tính cực dốc	IEC	2	80	0

Cầu chì thường có hai đường đặc tính giới hạn vùng làm việc của cầu chì, trong đó đặc tính Thời gian chảy nhỏ nhất (Minimum-melting time - MM) biểu diễn thời gian để dây chảy bắt đầu chảy. Đặc tính Thời gian chảy hoàn toàn (Total-clearing time - TC) biểu diễn tổng thời gian để dây chì đứt, có nghĩa là sự cố được loại trừ hoàn toàn. Theo [8], đoạn đặc tính MM của cầu chì có thể xấp xỉ bằng một đường thẳng logarit có phương trình như sau:

$$\text{Log}(t) = a \cdot \text{log}(I) + b \tag{2}$$

Trong đó:

t: Thời gian hoạt động của cầu chì.

I: Dòng điện sự cố qua cầu chì.

a, b: Các hệ số được tính toán từ đường cong đặc tính của cầu chì.

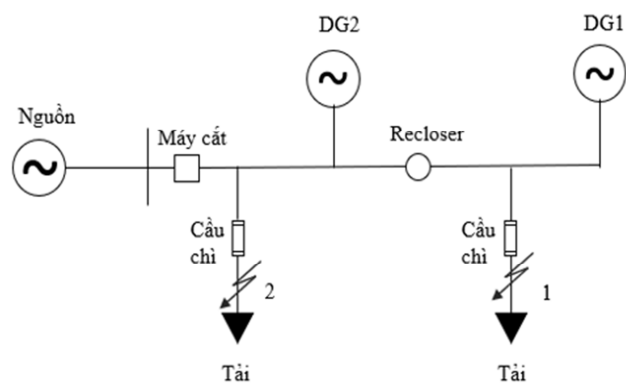
Sự phối hợp giữa recloser và cầu chì phải theo hai nguyên tắc sau (hình 2):

- Thời gian chảy nhỏ nhất của cầu chì phải lớn hơn thời gian ứng với đường cong tác động nhanh của recloser với mục đích để tránh việc cầu chì tác động trong trường hợp sự cố thoáng qua làm cho sự cố thoáng qua trở thành sự cố vĩnh cửu.

- Thời gian lớn nhất loại trừ sự cố của cầu chì phải nhỏ hơn đường tác động chậm của recloser để đảm bảo rằng, khi có sự cố duy trì trên đường dây nhánh, nếu cầu chì bị lỗi không tác động thì recloser sẽ tác động để loại trừ sự cố.

3.2. Các trường hợp có thể xảy ra sự cố khi có thêm DG và tính toán phối hợp bảo vệ

Giả thiết rằng DG được lắp đặt vào một trong hai vị trí như trong hình 3.



Hình 3. Lưới điện phân phối lắp đặt DG

Từ hình 3, giả sử chỉ có một DG được kết nối với lưới điện, có bốn trường hợp được thể hiện trong bảng 2. Trong đó, I_R và I_F được kí hiệu là dòng sự cố chạy qua recloser và cầu chì, I_S và I_{DG} là dòng điện sự cố chạy từ hệ thống điện và nguồn DG tương ứng.

Bảng 2. Dòng điện sự cố chạy qua recloser và cầu chì

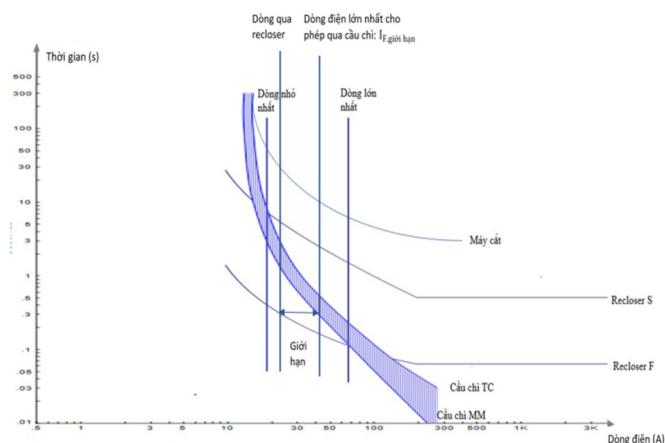
Trường hợp	Nguồn DG	Vị trí sự cố	Mô tả
TH1	DG1	1	$I_R = I_S$ và $I_F = I_S + I_{DG}$
TH2	DG1	2	$I_R = I_{DG}$ và $I_F = I_S + I_{DG}$
TH3	DG2	1	$I_R = I_F = I_S + I_{DG}$
TH4	DG2	2	Không có dòng qua I_R và $I_F = I_S + I_{DG}$

Trong TH1, dòng điện sự cố chạy qua recloser là dòng điện từ hệ thống điện, còn dòng sự cố chạy qua cầu chì là tổng dòng sự cố từ hệ thống điện và DG1. Do dòng sự cố đi

qua recloser và cầu chì khác với lưới điện truyền thống nên chắc chắn sẽ bị mất phối hợp giữa hai bảo vệ này. Ở TH2, việc phối hợp giữa recloser và cầu chì là không cần thiết vì ngay cả khi recloser kịp tác động trước cầu chì thì cầu chì vẫn tiếp tục tác động do còn dòng sự cố từ hệ thống. Trong trường hợp này việc cần làm là phối hợp giữa máy cắt đầu đường dây và cầu chì nhánh, khi đó bài toán quay trở về TH1. Đối với TH3, dòng sự cố chạy qua cầu chì bằng dòng sự cố chạy qua recloser, tuy nhiên do dòng này bằng tổng dòng sự cố từ hệ thống và từ DG và có thể vượt qua biên độ dòng sự cố giới hạn dẫn đến gây mất phối hợp bảo vệ. Ngược lại, TH4 không có sự phối hợp bảo vệ giữa các thiết bị bảo vệ vì không có dòng qua recloser. Như vậy có thể thấy rằng, TH1 và TH3 là hai trường hợp mà hệ thống bảo vệ có thể bị mất phối hợp.

• TH1: DG ở cuối đường dây, điểm sự cố ở giữa recloser và DG

Nguyên tắc của phối hợp bảo vệ trong TH1 là recloser ở chế độ tác động nhanh phải cắt trước cầu chì bắt đầu chảy theo đặc tính MM (hình 4). Chính vì vậy mà sau khi lắp đặt thêm DG, tổng dòng sự cố qua cầu chì cần phải nhỏ hơn giá trị giới hạn $I_{F.giới hạn}$.



Hình 4. Khoảng giới hạn phối hợp bảo vệ giữa Recloser và cầu chì Theo [8, 9] ta có:

$$I_S + I_{DG} < I_{F.giới hạn} \tag{3}$$

Trong đó:

I_S : Dòng sự cố từ hệ thống điện

I_{DG} : Dòng sự cố từ DG

$I_{F.giới hạn}$: Dòng sự cố tối đa được phép qua cầu chì mà không làm mất phối hợp bảo vệ.

Từ hình 4 và kết hợp với (1) và (2), dòng sự cố giới hạn $I_{F.giới hạn}$ có thể được tính toán từ thời gian cắt nhanh của recloser như sau:

$$I_{F.giới hạn} = 10^{\frac{(\log(t_{rec.nhanh})-b)}{a}} \tag{4}$$

Với $t_{rec.nhanh}$ được tính như sau:

$$t_{rec.nhanh} = \frac{A}{\left(\frac{I_S}{I_p}\right)^m - 1} T_D + B \tag{5}$$

Kết hợp (3) và (4) ta có:

$$I_{DG.giới hạn} < 10^{\frac{(\log(t_{rec.nhanh})-b)}{a}} - I_S \tag{6}$$

• TH3: DG ở trước recloser và điểm sự cố ở sau recloser

Trong trường hợp này, dòng ngắn mạch qua recloser và cầu chì là như nhau và bằng $I_S + I_{DG}$.

Điều kiện để cho recloser có thể tác động nhanh trước khi cầu chì kịp tác động là dòng ngắn mạch qua cầu chì không được vượt giá trị I_{max} được xác định từ hệ phương trình tìm giao điểm của đường đặc tính tác động nhanh của recloser và đường đặc tính Thời gian chảy nhỏ nhất của cầu chì:

$$\begin{cases} t_{rec.nhanh} = \frac{A}{\left(\frac{I_{max}}{I_p}\right)^m - 1} T_D + t_0 \\ \log(t_{rec.nhanh}) = a \cdot \log(I_{max}) + b \end{cases} \tag{7}$$

Giá trị dòng sự cố lớn nhất do DG gây ra:

$$I_{DG.giới hạn} < I_{max} - I_S \tag{8}$$

3.3. Xác định ngưỡng công suất của DG

Bảng 3 cho thấy tỉ lệ giữa dòng sự cố và dòng định mức tùy theo loại hình DG. Dựa vào tỉ lệ này có thể tính được dòng định mức và công suất định mức tối đa của DG được phép kết nối vào lưới và không làm mất phối hợp bảo vệ.

Bảng 3. Độ lớn dòng sự cố so với dòng định mức của các loại DG [13]

Loại máy phát	Tỉ lệ phần trăm giữa dòng sự cố và dòng định mức
Máy phát đồng bộ với nguồn kích từ riêng biệt	500% - 1000% cho vài chu kì đầu tiên và giảm xuống 200% - 400% cho các chu kì tiếp
Máy phát điện cảm ứng hoặc máy phát điện đồng bộ tự kích từ	500% - 1000% cho chu kì đầu tiên và giảm xuống một lượng không đáng kể sau 5 đến 10 chu kì
Sử dụng Inverter	100% - 200% dòng định mức của bộ inverter, dòng sự cố kéo dài trong khoảng thời gian từ nửa chu kì đến vài chu kì điện tùy theo phương pháp điều khiển

Từ bảng 3 có thể xác định sơ bộ dòng định mức lớn nhất cho phép của DG:

$$I_{dmDG} = \frac{I_{DG.giới hạn}}{f} \tag{9}$$

Với f là tỉ lệ giữa dòng sự cố và dòng định mức của DG.

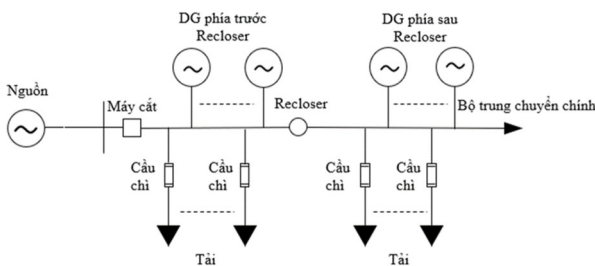
Từ (6) và (9), đồng thời giả thiết điện áp định mức là V_{DG} thì công suất định mức của DG trong TH1 được tính như sau:

$$\begin{aligned} S_{dmDG} &= \sqrt{3} \times V_{DG} \times I_{dmDG} \\ &< \sqrt{3} \times V_{DG} \times \frac{10^{\frac{(\log(t_{rec.nhanh})-b)}{a}} - I_S}{f} \end{aligned} \tag{10}$$

Tương tự như vậy, công suất định mức trong TH3 cũng có thể tính từ biểu thức (8) và (9).

$$S_{dmDG} < \sqrt{3} \times V_{DG} \times \frac{I_{max} - I_S}{f} \tag{11}$$

3.4. Trường hợp có nhiều DG



Hình 5. Lưới phân phối lắp đặt nhiều DG

Trong phần này sẽ tính toán phối hợp bảo vệ khi có nhiều DG. Phân tích ở phần B cho thấy chỉ cần quan tâm đến phối hợp giữa recloser và cầu chì khi có sự cố ở trên đường dây nhánh phía sau recloser. Các sự cố trên đường dây nhánh trước recloser sẽ được xét để phối hợp tác động giữa máy cắt đầu đường dây và cầu chì, việc này được thực hiện tương tự như phối hợp giữa recloser và cầu chì.

Dựa vào (4)-(11), tổng dòng giới hạn của các DG có thể tính theo biểu thức sau:

$$\sum \frac{S_{DGd}}{V_{DGd}} + \sum \frac{S_{DGu}}{V_{DGu}} < \sqrt{3} \cdot \frac{10 \cdot \frac{(\log(t_{rec.nhanh})-b)}{a} - I_s}{f} \quad (12)$$

Trong đó, thời gian tác động nhanh của recloser được tính như sau:

$$t_{rec.nhanh} = \frac{A}{\left(\frac{I_s + \sum S_{DGu}/\sqrt{3} \cdot V_{DGu}}{I_p}\right)^m} T_D + B \quad (13)$$

Trong đó: DG_d là các DG ở phía trước recloser

DG_u là các DG ở phía sau recloser

Mặc dù hai biểu thức (12) và (13) không cho thấy rõ giới hạn của từng DG nhưng lại cho thấy được mối liên hệ giữa tổng công suất các DG với đặc tính tác động của recloser và cầu chì, từ đó hỗ trợ cho bài toán phối hợp bảo vệ trên đường dây phân phối khi lắp đặt thêm DG.

4. PHẦN MỀM ETAP

4.1. Giới thiệu

ETAP là phần mềm phân tích và tính toán lưới điện với quy mô số lượng nút không giới hạn. ETAP gồm hai mảng: thiết kế lưới điện, tính toán các thông số một lưới điện tĩnh và quản lý lưới điện trong thời gian thực (Real-time) với khả năng điều khiển, kiểm soát và dự báo lưới điện ngay trong vận hành. ETAP, là lựa chọn hàng đầu của nhiều Công ty điện lực cũng như các Nhà máy có hệ thống điện phức tạp trên toàn thế giới; một công cụ mạnh có nhiều ưu điểm, không ngừng phát triển và cập nhật nhiều tính năng mới để giải quyết nhiều vấn đề trong hệ thống điện, đáp ứng được những đòi hỏi khắt khe nhất.

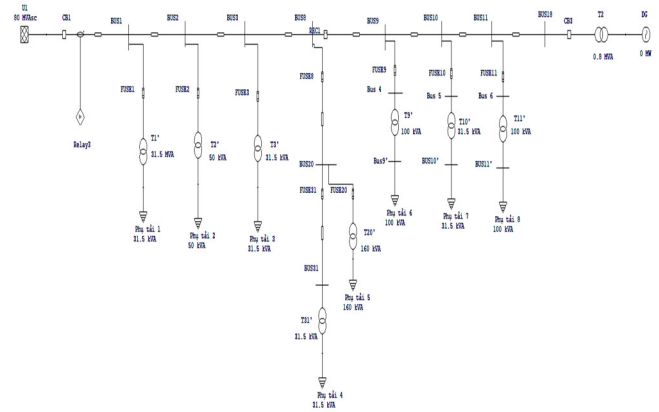
4.2. Các chức năng của ETAP

ETAP được sử dụng trong các tính toán liên quan tới các bài toán hệ thống điện sau: Phối hợp các thiết bị bảo vệ, cân bằng công suất, phân bố công suất tải không cân bằng, ngắn mạch, khởi động động cơ, phân tích sóng hài, phân tích ổn định quá độ, phân bố công suất tối ưu, độ tin cậy

trên lưới điện, đặt tụ bù tối ưu, tính lưới nối đất, tính toán cấp ngầm thiết kế mạch điều khiển. Ngoài ra, ETAP có thể trao đổi dữ liệu với nhiều phần mềm khác với các định dạng file khác nhau. Thư viện của ETAP gồm các thiết bị như cáp, dây dẫn, dây chống sét, thiết bị đóng cắt, relay... thư viện này cho phép người dùng thay đổi và mở rộng không giới hạn.

5. TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG TRÊN PHẦN MỀM ETAP

Từ cơ sở lý thuyết cũng như mô hình toán trên, áp dụng tính toán và mô phỏng sử dụng phần mềm ETAP cho lưới điện phân phối trung áp 22kV có sơ đồ như hình 6 với các thông số đường dây sẽ được trình bày trong phụ lục A. Giả thiết có một DG lắp đặt ở cuối đường dây. Với vị trí này, bài toán rơi vào TH1 đã được trình bày trong phần trước.



Hình 6. Sơ đồ lưới điện phân phối trung áp

Trên sơ đồ, Recloser được lắp đặt trên tuyến dây chính phía sau Bus 8. Trên các đường dây nhánh hoặc các trạm biến áp phân phối đều được đặt cầu chì bảo vệ. Trong phạm vi của bài báo, chỉ tính toán, lựa chọn recloser và cầu chì 9 bảo vệ cho trạm biến áp T9' và phụ tải 6. Với các cầu chì khác ở sau recloser trên đường dây, việc lựa chọn hoàn toàn tương tự cầu chì 9. Đối với bảo vệ đầu đường dây và các cầu chì trước recloser, việc lựa chọn và kiểm tra phối hợp hoàn toàn giống việc lựa chọn recloser và cầu chì 9.

Trong bài báo này hai bài toán được đưa ra. Với bài toán thứ nhất, khi chưa có sự tham gia của DG phía cuối đường dây, phải lựa chọn và phối hợp cầu chì và recloser cho lưới, sau đó mô phỏng và tính toán trên ETAP tìm ra được dòng sự cố giới hạn cũng như ngưỡng công suất tối đa mà DG có thể được lắp đặt mà không làm mất sự phối hợp bảo vệ ban đầu. Còn với bài toán thứ hai thì ngược lại, DG được giả thiết có công suất vượt ngưỡng tối đa đã tính toán trước đó, lúc này, phần mềm ETAP sẽ được sử dụng để kiểm tra sự tác động của DG lên sự phối hợp bảo vệ.

5.1. Bài toán thứ nhất

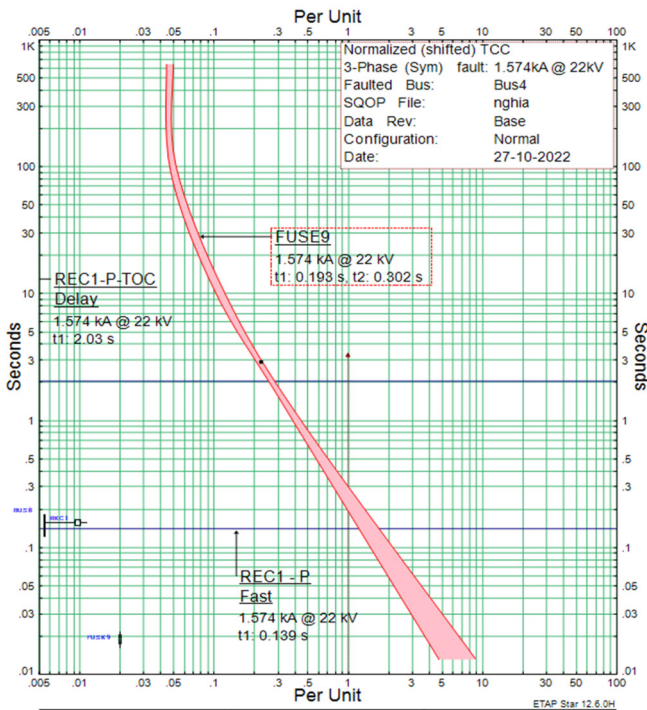
Trước tiên, phần mềm ETAP 12.6.0 được sử dụng để tính dòng công suất và tính dòng ngắn mạch trong trường hợp chưa lắp đặt DG, từ đó tiến hành lựa chọn đặc tính tác động của recloser và cầu chì. Với sự cố ngắn mạch 3 pha tại bus 4 ở ngay sau cầu chì 9 thì dòng ngắn mạch 3 pha tại đây là $I_s = 1,574kA$.

Đường đặc tính tác động nhanh của recloser được lựa chọn như sau:

- Dạng đường đặc tính: IEC - độ dốc tiêu chuẩn
- Dòng khởi động: $I_{kd} = 20A$

Với dòng ngắn mạch là 1,574kA thì thời gian tác động được tính toán trên ETAP là 0,139s.

Cầu chì 9 được lựa chọn theo dòng điện làm việc đi qua nó trong chế độ phụ tải cực đại kết hợp với điều kiện phối hợp với recloser khi có ngắn mạch ở phía sau cầu chì, từ đó ta lựa chọn cầu chì dùng cho cầu chì 9 ở trong thư viện thiết bị của ETAP 12.6.0 là cầu chì Kearney 30A, type T (Fit-All), slow có thời gian tác động với dòng ngắn mạch 1,574kA là 0,193s.



Hình 7. Phối hợp đặc tính bảo vệ giữa recloser và cầu chì Kearney 30A, type T (Fit-All), slow khi không có DG

Đặc tính Thời gian chảy nhỏ nhất của cầu chì loại Kearney 30A type T (Fit -All) trên được xấp xỉ bằng đường thẳng logarit có phương trình như sau:

$$\text{Log}(t) = -1,8 \times \text{Log}(I) + 4,82 \quad (14)$$

Từ các thông số cài đặt và tính toán trên, thay vào công thức (4) ta có được dòng sự cố giới hạn đi qua cầu chì để không làm mất phối hợp là $I_{F, \text{giới hạn}} = 1,879kA$.

Tiếp tục thay các giá trị vào công thức (6) ta có được dòng sự cố giới hạn của DG có thể lắp đặt là $I_{DG \text{ giới hạn}} < 305A$.

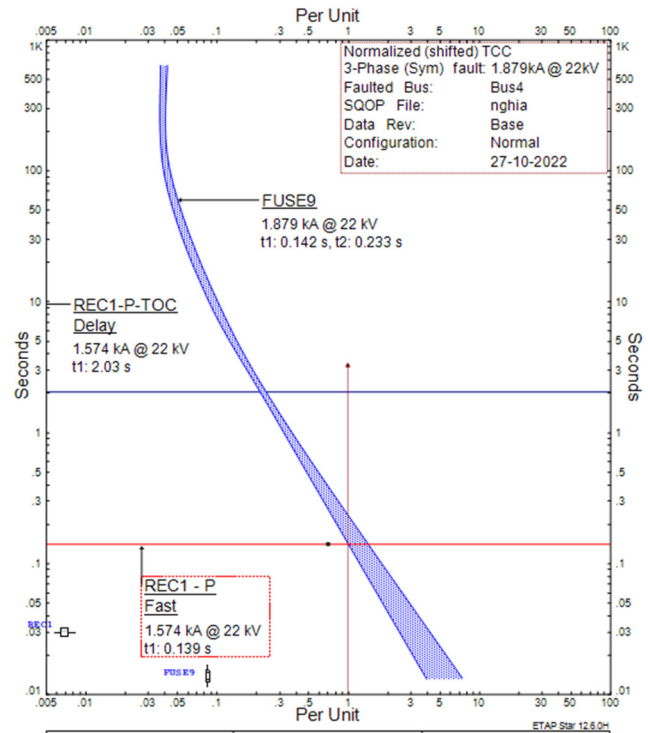
Tiếp theo, hệ số tỉ lệ giữa dòng sự cố và dòng định mức của DG được lựa chọn. Thông số này có thể được cung cấp từ các nhà sản xuất DG hoặc có thể lấy sơ bộ từ bảng 3. Trong bài báo này, loại hình DG có thể là hệ thống PV với dòng sự cố được hạn chế nhờ inverter, cũng có thể là các nguồn điện sử dụng rác thải hoặc khí sinh học với máy phát

điện đồng bộ. Do đó, hệ số tỉ lệ được chọn là 400%, đây là giá trị thường thấy với máy phát điện đồng bộ. Khi đó, dòng định mức giới hạn của DG là $I_{DG \text{ định mức}} < 76,25A$.

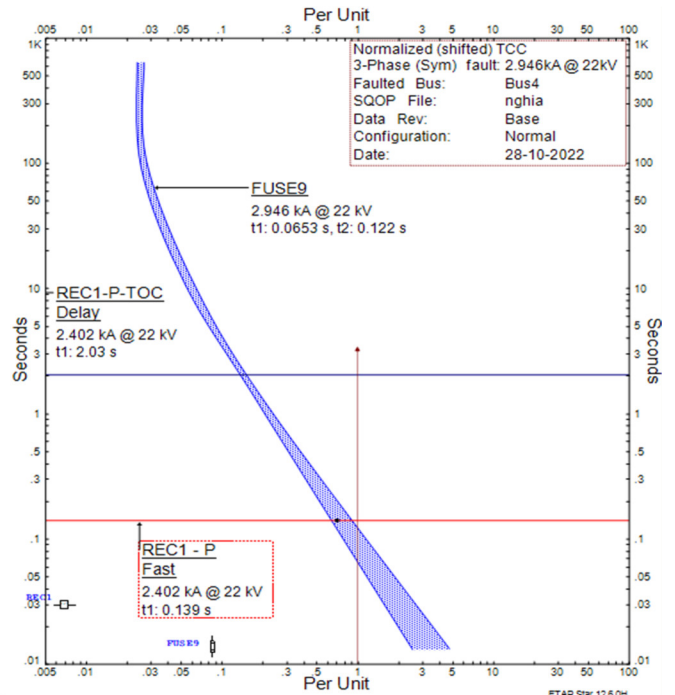
Từ đó, công suất lớn nhất cho phép của DG:

$$S_{DG \text{ định mức}} < \sqrt{3} \times 76,25 \times 22 = 2,9 \text{ MVA}$$

5.2. Bài toán thứ hai



Hình 8. Phối hợp đặc tính bảo vệ giữa recloser và cầu chì Kearney 30A, type T (Fit-All), slow khi DG phát công suất cực đại 2,9MVA



Hình 9. Phối hợp đặc tính bảo vệ giữa recloser và cầu chì Kearney 30A, type T (Fit-All), slow khi DG phát công suất vượt ngưỡng giới hạn 3,5MVA

Ở trong phần này, mô hình lưới được thử nghiệm với công suất DG là 2,9MVA và kiểm tra lại sự phối hợp bảo vệ. Kết quả mô phỏng được biểu diễn trong hình 8 cho thấy với ngưỡng công suất này, thời gian tác động nhanh của recloser là 0,139s nhỏ hơn không đáng kể so với thời gian chảy nhỏ nhất của cầu chì là 0,142s. Điều này có nghĩa là giữa recloser và cầu chì đã có nguy cơ bị mất phối hợp. Khi công suất DG tăng lên 3,5MVA, cầu chì tác động hoàn toàn để giải trừ sự cố chỉ sau 0,122s, trước khi recloser kịp tác động theo đặc tính tác động nhanh (hình 9). Từ đó có thể thấy khi công suất của DG vượt quá ngưỡng là 2,9MVA sẽ làm cầu chì tác động trước gây ra sự mất phối hợp giữa recloser và cầu chì trong lưới điện. Điều này giúp khẳng định lại ý nghĩa của kết quả tính toán trong phần trước.

6. KẾT LUẬN

Với việc phụ tải xuất hiện ngày càng nhiều, việc tăng công suất phát bằng những nguồn điện phân tán lắp đặt trong lưới phân phối ngày càng phổ biến. Điều này làm thay đổi dòng công suất cũng như dòng sự cố trên đường dây phân phối. Bởi vậy việc tính toán, thiết kế, đảm bảo phối hợp cho hệ thống rơle bảo vệ rất quan trọng. Thông qua việc tính toán cho một lưới cụ thể, có thể xác định được công suất DG tối đa được phép đấu nối vào lưới mà không làm mất phối hợp của hệ thống bảo vệ đã có sẵn trên đường dây. Với phương pháp đã trình bày ở trên, hoàn toàn có thể tạo ra các chương trình tính toán dựa trên bộ số liệu về các loại recloser và cầu chì, rất thuận tiện cho việc thiết kế.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) qua đề tài mã số T2022-PC-010

Phụ lục A

Các thông số cài đặt trên lưới điện:

- + Lưới phân phối trung áp 22kV
- + Cấp nhôm tiết diện 158mm²
- + Máy biến áp ở các nhánh có cấp điện áp 22/0,4kV
- + Máy biến áp của DG có cấp điện áp 6/22kV
- + Công suất các phụ tải từ 1-8 lần lượt là: 31,5kVA; 50kVA; 31,5kVA; 31,5kVA; 160kVA, 100kVA, 31,5kVA; 100kVA.
- + Công suất máy phát đồng bộ của hai lần mô phỏng lần lượt là 2,9MVA và 3,5MVA
- + Recloser: ABB OVR-3(R375x)
- + Cầu chì Kearney 30A, type T (Fit-All), slow

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. W. El-Khattam, M. M. A. Salama, 2004. *Distributed generation technologies, definitions and benefits*. Electr. Power Syst. Res., vol. 71, no. 2, pp. 119–128, doi: 10.1016/j.epr.2004.01.006.
- [2]. IRENA, 2015. *Renewable Power Generation Costs in 2014*.

[3]. J. Liu, J. Ye, J. Xue, S. Shi, S. Liu, H. Liu, 2015. *Analysis on operation and maintenance modes of distributed generation based on economic benefits*. IET Conf. Publ., vol. 2015, no. CP679, doi: 10.1049/cp.2015.0548.

[4]. A. T. Davda, B. R. Parekh, 2012. *Table I Details of Connected Load*.

[5]. J. A. Sa'ed, M. Quraan, Q. Samara, S. Favuzza, G. Zizzo, 2017. *Impact of integrating photovoltaic based DG on distribution network harmonics*. Conf. Proc. - 2017 17th IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2017 1st IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. EEEIC / I CPS Eur. 2017, pp. 1–5, 2017, doi: 10.1109/EEEIC.2017.7977786.

[6]. K. Kasar, P. C. Tapre, 2018. *A new fast detection module for short-circuit current detection in PV grid system*. Proc. 2nd Int. Conf. Inven. Syst. Control. ICISC 2018, no. Icisc, pp. 468–472, 2018, doi: 10.1109/ICISC.2018.8399116.

[7]. S. Chaitusaney, A. Yokoyama, 2005. *Impact of protection coordination on sizes of several distributed generation sources*. IPEC 2005, Power Eng. Conf., pp. 1–6, 2005.

[8]. S. Chaitusaney, A. Yokoyama, 2008. *Prevention of reliability degradation from recloser-fuse miscoordination due to distributed generation*. IEEE Trans. Power Deliv., vol. 23, no. 4, pp. 2545–2554, doi: 10.1109/TPWRD.2007.915899.

[9]. S. Chaitusaney, A. Yokoyama, 2006. *Reliability analysis of distribution system with distributed generation considering loss of protection coordination*. 2006 9th Int. Conf. Probabilistic Methods Appl. to Power Syst. PMAPS, doi: 10.1109/PMAPS.2006.360428.

[10]. D. Alcala-Gonzalez, E. M. G. Del Toro, M. I. Más-López, S. Pindado, 2021. *Effect of Distributed Photovoltaic Generation on Short-Circuit Currents and Fault Detection in Distribution Networks: A Practical Case Study*. Appl. Sci. 2021, Vol. 11, Page 405, vol. 11, no. 1, p. 405, doi: 10.3390/APP11010405.

[11]. K. Kauhaniemi, L. Kumpulainen, 2004. *Impact of distributed generation on the protection of distribution networks*. IEE Conf. Publ., vol. 1, no. Mv, pp. 315–318, doi: 10.1049/cp:20040126.

[12]. J. M. Gers, E. J. Holmes, 2011. *Protection of electricity distribution networks, 3rd edition*. The Institution of Engineering and Technology.

[13]. M. Meskin, A. Domijan, I. Grinberg, 2020. *Impact of distributed generation on the protection systems of distribution networks: analysis and remedies - review paper*. IET Gener. Transm. Distrib., vol. 14, no. 24, pp. 5944–5960, doi: 10.1049/IET-GTD.2019.1652.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Hong Nhung, Nguyen Chinh Nghia, Nguyen Ngoc Hoan

School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology