

HỆ CHUYÊN GIA HỖ TRỢ RA QUYẾT ĐỊNH CHO BẢO VỆ DỰ PHÒNG CÁC ĐƯỜNG DÂY TRUYỀN TẢI ĐIỆN VÀ THANH CÁI CÁC TRẠM BIẾN ÁP

Trương Việt Anh
Võ Thanh Cường

ABSTRACT

This paper describes and analyzes the operation of Backup – Protection – Expert – System (BPES) which uses to supply an optimal clearance the faults at anywhere on the transmission networks (it ensures the optimum selection and speed-up in the operation of back-up relay system). The experts proposed some model of BPES but with this rule's base they only solved the faults happening on the transmission lines. This subject suggests modifying the rule's base in order to solve the faults even at bus bar in transmission substations. Some specific faults of a part of Southern Vietnam 220kV transmission network are also analyzed by BPES and proposed solutions in order to make you to understand clearly the effect of BPES.

TÓM TẮT

Bài viết này mô tả, phân tích hoạt động của một Hệ Chuyên Gia Bảo Vệ Dự Phòng (gọi tắt là BPES: Backup – Protection – Expert – System) để cung cấp việc cắt tối ưu các sự cố xảy ra ở một vị trí bất kỳ trên lưới điện (đảm bảo tối đa tính chọn lọc và tăng tốc cho các bảo vệ dự phòng). Một số tác giả đã đề xuất các mô hình BPES nhưng với cơ sở luật chỉ giải quyết được các trường hợp khi sự cố xảy ra trên các đường dây. Bài viết sẽ đề xuất bổ sung cơ sở luật để có thể giải quyết cả trong trường hợp sự cố xảy ra trên thanh cái các trạm truyền tải. Một số tình huống sự cố cụ thể trên lưới điện 220KV của một phần lưới điện truyền tải Miền Nam Việt Nam cũng được phân tích để thấy rõ hoạt động và hiệu quả của BPES đề xuất.

I. GIỚI THIỆU

Hệ thống bảo vệ chính của lưới điện nếu làm việc chính xác, sẽ đảm bảo cắt chọn lọc phần tử sự cố. Tuy nhiên, vì nhiều lý do các bảo vệ chính bị hư hỏng hay cô lập do chưa kịp sửa chữa, thay thế... thì bảo vệ dự phòng làm việc và đôi khi chúng cắt cả các phần tử không bị sự cố, dẫn đến rã lưới. BPES có thể ngăn ngừa khả năng này. Chúng có thể cung cấp các lệnh cắt với thời gian trì hoãn tối ưu đối với tất cả các sự cố trên lưới điện được bảo vệ khi sơ đồ bảo vệ chính bị hỏng hóc hoặc hoạt động không đúng. Muốn vậy, BPES cần có sơ đồ vận hành của lưới điện, thông tin cần thiết khác của các role bảo vệ trong nội bộ trạm và ở các trạm lân cận, như: tín hiệu làm việc của role bảo vệ, vùng tác động của role

khoảng cách, các lệnh cắt... Để đảm bảo thời gian trì hoãn là thích hợp, quá trình suy diễn và ra quyết định của trong BPES chỉ dựa trên một số ít các luật.

Bài báo này phân tích, đề xuất bổ sung một số biện pháp, luật... nhằm hoàn thiện thêm ý tưởng thực hiện các BPES của các tác giả như J.C.Tan, P.A.Crossley, P F Gale, I. Hall, J. Farrell [1..4]. Nó giúp cho các BPES có thể phát hiện sự cố đã xuất hiện trên lưới truyền tải - kể cả khi sự cố xảy ra trên thanh cái của trạm biến áp, đánh giá đường dây hoặc thanh cái đang có sự cố và nếu cần, sau một khoảng thời gian trì hoãn thích hợp sẽ đưa ra lệnh cắt máy cắt cần tác động để xoá sự cố. Các nghiên cứu tập trung vào phân tích hoạt động của BPES trong vài trường hợp sự cố có thể xảy ra trên một phần lưới điện

220KV cụ thể ở khu vực Truyền tải phía nam Việt Nam.

II. SƠ LƯỢC VỀ BPES

Một số trạm truyền tải quan trọng ở nước ta hiện đã được trang bị hệ thống bảo vệ và điều khiển bằng máy tính, các trạm khác cũng đang được cải tạo theo xu hướng sử dụng các hệ thống này và đường truyền thông tin bằng cáp quang cũng đã liên kết hầu hết các trạm. Cấu trúc tiêu chuẩn của các trạm sử dụng hệ thống này và các giao thức thông tin giữa các phần tử trong nội bộ trạm hay giữa các trạm với nhau là rất phù hợp để thực hiện BPES.

Khi áp dụng cho một vùng của mạng truyền tải, các BPES được lắp đặt ở nhiều nơi, thường là một BPES cho 1 trạm. Mỗi hệ thống gồm một máy trạm (Workstation) và một hay nhiều bộ thu thập dữ liệu điều khiển từ xa tốc độ cao (RTU's – Remote Terminal Unit's). Thông tin giữa các Workstation và RTU's trong cùng một trạm dùng mạng LAN (Local Area Network) và với các BPES ở trạm lân cận sẽ bằng mạng WAN. Thông tin cho các BPES được lấy từ các thông số của chính trạm mà nó bảo vệ và các trạm lân cận trực tiếp (lân cận cấp 1), đôi khi được lấy từ các trạm lân cận cấp 2 (trạm lân cận trực tiếp với cấp 1).

Quá trình suy diễn trong BPES cho quyết định ở hai mức. Quyết định mức 1, BPES sẽ chỉ ra đúng phần tử sự cố trên lưới điện. Nếu phần tử sự cố là đường dây, BPES tại chỗ sẽ ra lệnh cắt máy cắt trên đường dây đó và gửi lệnh cắt tới BPES của trạm đầu kia của đường dây. Nếu thông tin không đủ để BPES ra được quyết định mức 1, sau khoảng thời gian trễ cần thiết, BPES sẽ khởi động quyết định mức 2, khi đó máy suy diễn sẽ dự đoán sự cố nằm trong một vùng nhỏ của mạng truyền tải gọi là FAR (Fault Affected Region). Sau đó, máy suy diễn sẽ sử dụng các hệ số tác động AF (Action Factor) được cài đặt sẵn trong BPES để cực tiểu kích thước FAR và ra lệnh cắt các máy cắt có liên quan để tách vùng FAR ra

khỏi lưới. Kết quả lý tưởng của FAR là chỉ chứa duy nhất 1 phần tử sự cố.

III. AF VÀ CÁC LUẬT CỦA BPES

1. AF của các phần tử bảo vệ hệ thống điện

AF có giá trị số và không có đơn vị, nó là mức góp phần của một phần tử hoạt động đơn lẻ hoặc một phần gồm nhiều phần tử hoạt động đối với quá trình định vị sự cố.

AF của một phần tử bảo vệ không hoạt động được đặt là zero (AF=0). AF của một phần tử bảo vệ chỉ thị sự cố theo hướng thuận và định vị trên một phần tử đơn được đặt là +1.

AF đối với một phần tử trong role bảo vệ chỉ thị sự cố ở hướng ngược (không định vị trên phần tử mà role này bảo vệ) có giá trị là -1, nếu phần tử nhìn ngược vùng 4 không bù của một role khoảng cách tác động, AF của phần tử vùng 4 này sẽ được đặt là -1.

AF đối với một phần tử hướng thuận trong role bảo vệ có vùng vận hành bao gồm nhiều phần tử được đặt trong khoảng từ 0 đến +1. Các AF dùng cho role khoảng cách là: +1/2 với vùng 2, +1/3 đối với phần tử vùng 3 có đặc tuyến không bù (phụ lục).

2. Các quyết định mức 1

Quyết định mức 1 xác định sự cố bên trong và chỉ dùng thông tin có sẵn từ phần chứa sự cố. Quyết định mức 1 xác định cụ thể và chính xác phần tử bị sự cố trên lưới điện. Quá trình suy diễn chủ yếu dựa vào 3 luật được định nghĩa ở mức 1 là:

Luật 1: NẾU $AF_{\text{scheme}(i)} \geq 1,0$ THÌ sự cố xuất hiện trên đường dây. $i \in [1,2,(3)]$: là số sơ đồ bảo vệ trong đường dây.

Luật 2: NẾU $AF_{\text{terminal}(i)} \geq 1/3, \forall i \in [1,2,(3)]$ cho tất cả các đầu đường dây THÌ sự cố xuất hiện trên đường dây (i : số đầu số trên đường dây).

Luật 3: NẾU $AF_{\text{terminal}(i)} < 0, \forall i \in [1,2,3,\dots]$ cho tất cả các ngăn lộ nối vào

thanh cái THÌ sự cố xuất hiện trên thanh cái (i: là số ngăn lộ nối vào thanh cái).

Luật 1 này phát biểu rằng nếu hệ số tác động của bất kỳ một trong các sơ đồ bảo vệ chính của đường dây là $\geq 1,0$, thì một sự cố được định vị trên đường dây.

Luật 2 cho thấy nếu tất cả các đầu của một đường dây đều có một phần tử hướng thuận tác động, tức là các hệ số tác động $\geq 1/3$, thì một sự cố được định vị trên đường dây.

Luật 3 dùng như một luật để dự phòng cho bảo vệ chính của thanh cái tại các trạm trong trường hợp sự cố xảy ra đúng trên thanh cái. Để áp dụng luật này, tất cả các phần tử nối vào thanh cái của một trạm (kể cả máy cắt kết gài thanh cái và các ngăn máy biến áp) đều phải được trang bị phần tử phát hiện sự cố hướng ngược Z4 không bù. Khi tất cả các ngăn lộ nối vào một thanh cái trạm đều có một phần tử hướng nghịch, không bù tác động và không có bảo vệ toàn phần hoặc cấp 1 của phần tử nào tác động, tức là các hệ số tác động của mọi phần tử đều có giá trị âm, thì một sự cố được định vị trên thanh cái đó.

3. Các quyết định mức 2

Quyết định mức 2 tạo ra vùng FAR là vùng bao phủ của các đường dây có role bảo vệ hoạt động, được thực hiện khi BPES không đưa ra được quyết định mức 1. Máy suy diễn trong BPES sẽ tìm mọi cơ hội để giảm kích thước vùng này. Quá trình suy diễn để ra quyết định mức 2 dựa vào 3 luật và chiến lược cắt tuần tự để cực tiểu kích thước FAR.

Luật 4: Một đường dây có giá trị AF âm sẽ được di chuyển khỏi vùng FAR.

Luật 5: Nếu 1 đường dây ở ngoài phạm vi của bất kỳ một phần tử vùng 2 hoạt động, thì đường dây đó là không bao gồm ở trong vùng sự cố.

Luật 6: Nếu có hơn 1 đường dây còn lại trong FAR và những đường dây này nối với nhau tại một trạm bởi một máy cắt phân đoạn thì máy cắt này sẽ được ra lệnh

cắt trước, các đường dây có role trở về (AF giảm về không) sẽ được di chuyển khỏi FAR.

Chiến lược cắt tuần tự: Một phần tử bị sự cố thường có nhiều role hoạt động hơn các phần tử khác vì vậy hệ số AF tổng của phần tử đó thường có giá trị lớn hơn nên phần tử trong FAR có AF lớn nhất sẽ bị cắt đầu tiên và quá trình lặp lại cho đến khi sự cố được xóa.

Khi có phần tử có AF giống nhau, có thể áp dụng chiến lược này bằng cách chọn ngẫu nhiên phần tử nào đó để cắt trước và theo dõi phản ứng (trở về) của hệ thống bảo vệ của các phần tử còn lại.

IV. CÁC TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU

Phạm vi nghiên cứu là một vùng lưới điện 220kV của Mạng truyền tải phía Nam trong khu vực 07 trạm: Phú Mỹ, Cát Lái, Thủ Đức, Long Bình, Hóc Môn, Bình Hòa và Phú Lâm như hình 2. Bảo vệ so lệch dọc (87L) hầu hết chưa đưa vào vận hành. Bảo vệ chính chủ yếu dựa trên một sơ đồ bảo vệ khoảng cách 21 (không dùng sơ đồ khóa). Dù không dùng vùng 4 hướng ngược cho sơ đồ khóa nhưng vẫn có thể sử dụng thông tin của vùng này để đưa vào BPES trong việc đánh giá sự cố.

Ở đây, chỉ xét đến ảnh hưởng của sơ đồ bảo vệ khoảng cách với các tiêu chí bảo vệ thống nhất như sau: Vùng 1 được cài đặt để bảo vệ 80% đường dây bảo vệ, vùng 2 là 120% đường dây bảo vệ, vùng 3 là cả đường dây bảo vệ cộng với 120% đường dây kế cận dài nhất. Vùng 4 là một phần tử hướng ngược được thiết kế để có thể nhìn thấy xa hơn phần tử vùng 3 hướng thuận của role ở phía đối diện của đường dây. Đặc tính của các phần tử vùng 3, vùng 4 đều không bù.

1. Trường hợp 1

Giả sử một sự cố xuất hiện trên đường dây 220KV Cát Lái - Thủ Đức mạch 1 tại gần đầu trạm Thủ Đức và toàn bộ các bảo vệ của MC 275 trạm Thủ Đức bị hư hỏng. Các role bảo vệ khoảng cách đã tác động

và hệ số tác động liên quan của chúng được liệt kê trong bảng 1.

Quá trình giải quyết vấn đề trong BPES:

- Không ra được quyết định mức 1 do luật 1, luật 2 và luật 3 đều không thỏa.

- Quyết định mức 2 khởi động với vùng FAR ban đầu là tất cả các đường dây trong phạm vi nghiên cứu. Trong đó, chỉ có AF của đường dây 220KV Cát Lái - Thủ Đức mạch 1 có giá trị +5/6, tất cả các đường dây còn lại đều có AF mang các giá trị âm.

- Việc giảm FAR sử dụng các phân tử có AF mang giá trị âm sẽ di chuyển tất cả các đường dây khác ra khỏi FAR, ngoại trừ đường dây 220KV Cát Lái - Thủ Đức mạch 1 \Rightarrow FAR = TĐ - CL1.

- Kết luận của BPES:

+Đường dây sự cố là: TĐ - CL1.

+Các máy cắt cần được cắt là: 273CL và 275TĐ.

+Các bảo vệ hỏng là: Toàn bộ các bảo vệ của ngăn 275 trạm 220KV Thủ Đức.

Bảng 1

<i>Đường dây</i>	<i>Ngăn lộ thứ 1</i>	<i>Ngăn lộ thứ 2</i>	<i>AF</i>
PM-CL1	274PM:Z3(1/3)	271CL:Z4(-1)	-2/3
PM-CL2	275PM:Z3(1/3)	272CL:Z4(-1)	-2/3
CL-TĐ1	273CL:Z2(1/2) Z3 (1/3)	275TĐ:(0)	5/6
CL-TĐ2	274CL:Z2(1/2) Z3(1/3)	276TĐ:Z4(-1)	-1/6
TĐ-HM1	271TĐ:Z4(-1)	274HM:Z2(1/2) Z3 (1/3)	-1/6
TĐ-HM2	272TĐ:Z4(-1)	275HM:Z2(1/2) Z3 (1/3)	-1/6
TĐ-LB1	273TĐ:Z4(-1)	271LB:Z2 (1/2) Z3 (1/3)	-1/6
TĐ-LB2	274TĐ:Z4(-1)	272LB:Z2 (1/2) Z3 (1/3)	-1/6
HM-PL1	271HM:Z4 (-1)	271PL:Z3(1/3)	-2/3
HM-PL2	276HM:Z4 (-1)	272PL:Z3(1/3)	-2/3
HM-BH1	272HM:Z4 (-1)	272BH:Z3(1/3)	-2/3
HM-BH2	273HM:Z4 (-1)	271BH:Z3(1/3)	-2/3

Bảng 2

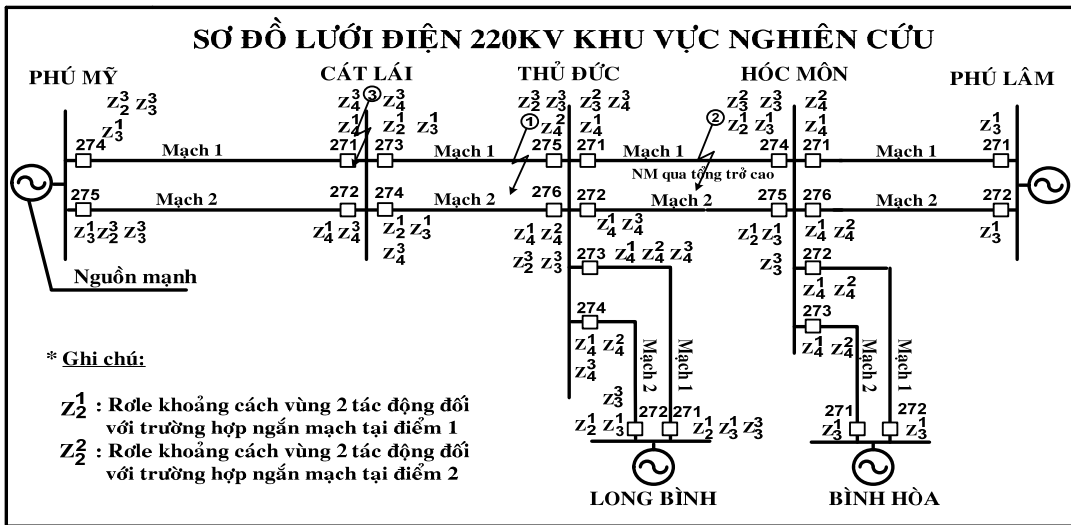
<i>Đường dây</i>	<i>Ngăn lộ thứ 1</i>	<i>Ngăn lộ thứ 2</i>	<i>AF</i>
CL-TĐ1	273CL:(0)	275TĐ:Z4(-1)	-1
CL-TĐ2	274CL:(0)	276TĐ:Z4(-1)	-1
TĐ-HM1	271TĐ:Z3(1/3)	274HM:Z3(1/3)	2/3
TĐ-HM2	272TĐ:(0)	275HM:(0)	0
TĐ-LB1	273TĐ:Z4(-1)	271LB:(0)	-1
TĐ-LB2	274TĐ:Z4(-1)	272LB:(0)	-1
HM-PL1	271HM:Z4(-1)	271PL:(0)	-1
HM-PL2	276HM:Z4(-1)	272PL:(0)	-1
HM-BH1	272HM:Z4(-1)	272BH:(0)	-1
HM-BH2	273HM:Z4(-1)	271BH:(0)	-1

Các trường hợp bất lợi khác do có thêm các phần tử đã hư hỏng trước có thể xảy ra:

- Nếu phần tử vùng 4 của một trong các lộ 271, 272 Cát Lái, 271, 272, 273, 276 Hóc Môn không tác động, điều này sẽ dẫn đến một giá trị AF dương (+1/3) đối với đường dây này. Tuy nhiên, do không nằm trong tầm của bất kỳ phần tử vùng 2 hoạt động nào nên nó sẽ được di chuyển khỏi FAR nhờ Luật 5 và FAR cuối cùng cũng

chỉ bao gồm đường dây Cát Lái – Thủ Đức 1.

- Nếu phần tử vùng 4 của một trong các lộ 271, 272, 273, 274, 276 Thủ Đức không tác động nên AF đường dây liên quan của ngăn lộ này là +5/6. FAR lúc này sẽ gồm 02 đường dây. Chiến lược cắt máy cắt liên lạc thanh cái (luật 6) và cắt tuần tự có thể giúp các bảo vệ của đường dây này trở về nếu chúng không cùng nằm trên một thanh cái với đường dây Cát Lái – Thủ Đức 1.



2. Trường hợp 2

Giả sử một sự cố qua tổng trở cao xuất hiện trên đường dây Thủ Đức – Hóc Môn mạch 1. Vì tổng trở sự cố, chỉ các phần tử vùng 3 và vùng 4 có khả năng phát hiện sự cố. Các role bảo vệ tác động và hệ số tác động của chúng được liệt kê trong bảng 2.

Vì 2 phần tử vùng 3 riêng biệt cùng phát hiện sự cố trên đường dây Thủ Đức – Hóc Môn 1 và các phần tử vùng 3 này đặt trên 2 đầu của một đường dây (2 thanh cái khác nhau), Luật 2 cháy đã chỉ ra một sự cố bên trong xuất hiện trên đường dây Thủ Đức - Hóc Môn 1. BPES kết luận rằng các máy cắt 271 Thủ Đức và 274 Hóc Môn phải được cắt.

3. Trường hợp 3

Giả sử một sự cố xuất hiện trên thanh cái Trạm Cát Lái. Toàn bộ các phần tử vùng 4 của các ngăn lộ liên quan đến thanh cái Trạm Cát Lái đều tác động làm

cho hệ số tác động của tất cả các ngăn lộ liên quan đến thanh cái này đều có giá trị âm (-1). Luật 3 cháy đã chỉ ra một sự cố bên trong xuất hiện trên thanh cái. Phần tử định hướng trên máy cắt liên lạc sẽ giúp xác định thanh cái bị sự cố và chỉ cắt MC liên lạc cùng các tuyến đường dây nối vào thanh cái đó.

➤ Nhận xét và thảo luận

- Bảo vệ dự phòng thanh cái chỉ tác động khi không có bất kỳ bảo vệ chính của phần tử nào tác động và tất cả các phần tử nối vào thanh cái đều có phần tử hướng ngược tác động. Điều này nhằm giảm thiểu khả năng tác động sai của bảo vệ dự phòng thanh cái. Thận trọng hơn, có thể bổ sung một thời gian trì hoãn nhỏ khi áp dụng quyết định mức 1 trong luật 3 hoặc bổ sung cơ cấu AND với tác động của role kiểm tra (check zone) của bảo vệ chính thanh cái (87BUS).

• Nếu có một ngăn lộ bất kỳ trên thanh cái trạm Cát Lái có bảo vệ chính tác động, AF của ngăn lộ này sẽ ≥ 0 , luật 3 sẽ không thỏa, trong khi luật 1 thỏa sẽ cắt đường dây liên quan. Nếu sự cố vẫn tồn tại sau khi cắt đường dây này, luật 3 sẽ thỏa và tiếp tục tác động ở mức 1 để cô lập thanh cái.

• Nếu chỉ sử dụng các luật 1, 2, khi có sự cố tại thanh cái các trạm, AF của hầu hết các đường dây đều có giá trị âm, nên BPES không thể chỉ ra phần tử sự cố. Việc bổ sung luật 3 là rất cần thiết để BPES có thể phát hiện sự cố tại một điểm bất kỳ trên mạng điện - kể cả trên các thanh cái trạm. Bổ sung bảo vệ dự phòng cho bảo vệ thanh cái (87BUS) các trạm truyền tải của lưới điện Việt Nam là rất cần thiết vì:

+ Sự cố trên các thanh cái trạm nếu không được cô lập sớm sẽ gây ra tác hại rất lớn và lan rộng trong tình hình vận hành hiện nay.

+ Các trạm hiện đang trong giai đoạn cải tạo, mở rộng, các bảo vệ chính thanh cái thường cô lập để cải tạo, kiểm tra, theo dõi... nên rất cần có bảo vệ dự phòng.

V. KẾT LUẬN

BPES hỗ trợ cho bảo vệ dự phòng các đường dây truyền tải và thanh cái các trạm biến áp đã được bổ sung hoàn chỉnh và giới thiệu trong bài viết này. Nó cung cấp việc cắt tối ưu tương ứng với các dạng sự cố trong mạng bảo vệ khi các bảo vệ chính bị hỏng hóc.

Thông thường, BPES định vị sự cố trên một phần tử đơn lẻ, cắt các máy cắt liên quan tới nó và không can thiệp vào hoạt động của hệ thống các bảo vệ chính, chỉ giúp cho hệ thống bảo vệ dự phòng có được cái nhìn tổng quát hơn đối với một sự cố cụ thể trên lưới điện, từ đó tạo được các quyết định tối ưu hơn cho Hệ thống bảo vệ dự phòng.

Khi các trạm truyền tải đã hoàn chỉnh việc cải tạo, sử dụng hệ thống điều khiển, bảo vệ bằng máy tính, việc thiết lập một

BPES không tốn nhiều chi phí nhưng đem lại hiệu quả rất lớn cho hệ thống điện, đặc biệt là trong tình hình và các yêu cầu rất cao của lưới điện Việt Nam hiện nay.

PHỤ LỤC HỆ SỐ AF CỦA CÁC ROLE

PHẦN TỬ	AF
Bảo vệ toàn phần (so lệch dọc)	1.0
Bảo vệ khoảng cách, Vùng 1	1.0
Vùng 2	1/2
Vùng 3 không bù	1/3
Vùng 3 có bù	1/15
Vùng 4	-1.0
Vùng 4 có bù	-2/3
Vùng 4 có bù và không kích hoạt vùng 2	-1/3
Role quá dòng có hướng (thuận)	1/2
Quá dòng chạm đất có hướng (thuận)	1/2
Role quá dòng có hướng (nghịch)	-1.0
Quá dòng chạm đất có hướng (nghịch)	-1.0
Role quá dòng chạm đất	1/10
Role quá dòng	1/15

BIỂU THỨC TÍNH HỆ SỐ AF CỦA CÁC ROLE, SƠ ĐỒ, NGĂN LỘ VÀ ĐƯỜNG DÂY

$$AF_{\text{Relay}} = \sum_{i=1}^n AF_{\text{element}(i)} \quad (1)$$

với n là số phần tử hoạt động trong role.

$$AF_{\text{Scheme}} = \sum_{i=1}^l AF_{\text{Relay}(i)} \quad (2)$$

với l là số role trong sơ đồ.

$$AF_{\text{terminal}} = \sum_{i=1}^k AF_{\text{Relay}(i)} \quad (3)$$

với k là số role có liên quan đến một đầu nối của đường dây truyền tải, bao gồm cả các bảo vệ chính và bảo vệ dự phòng.

$$AF_{feeder} = \sum_{i=1}^n AF_{terminal(i)} \quad (4)$$

$$\text{và } AF_{feeder} = \sum_{i=1}^m AF_{Scheme(i)} \quad (5)$$

Thông số n và m ở (4) và (5) lần lượt là số ngăn lộ liên quan đến đường dây và số sơ đồ bảo vệ liên quan đến đường dây, kể cả bảo vệ dự phòng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J C Tan, P. A. Crossley, D. Kirschen, J. Goody, and J. A. Downes, "An Expert systems for the back-up protection of a transmission network," IEEE Transactions on Power Delivery, vol.15, no.2, April, 2000.

[2] J C Tan, P A Crossley, P G McLaren, P.F.Gale, I.Hall, J.Ferrall: "Application of a Wide Area Back-up Protection Expert System to Prevent Cascading Outages". IEEE Transactions on Power Delivery, April, 2002.

[3] J C Tan, P A Crossley, P G McLaren, P.F.Gale, I.Hall, J.Ferrall: "Design and Evaluation of a Wide Area Based Back-up Protection Expert System". Power Systems and Communications Infrastructures for the future, Beijing, September, 2002.

[4] J C Tan, P A Crossley, P G McLaren, I.Hall, J.Ferrall, P.Gale: "Sequential Tripping Strategy for a Transmission Network Back-up Protection Expert System". IEEE Transactions on Power Delivery, January, 2002.