

A. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ MÁY PHÁT ĐIỆN

Máy phát điện (MFĐ) là một phần tử rất quan trọng trong hệ thống điện (HTĐ), sự làm việc tin cậy của các MFĐ có ảnh hưởng quyết định đến độ tin cậy của HTĐ. Vì vậy, đối với MFĐ đặc biệt là các máy có công suất lớn, người ta đặt nhiều loại bảo vệ khác nhau để chống tất cả các loại sự cố và các chế độ làm việc không bình thường xảy ra bên trong các cuộn dây cũng như bên ngoài MFĐ. Để thiết kế tính toán các bảo vệ cần thiết cho máy phát, chúng ta phải biết các dạng hư hỏng và các tình trạng làm việc không bình thường của MFĐ.

I. Các dạng hư hỏng và tình trạng làm việc không bình thường của MFĐ

I.1. Các dạng hư hỏng:

- Ngắn mạch nhiều pha trong cuộn stator. (1)
- Chạm chập giữa các vòng dây trong cùng 1 pha (đối với các MFĐ có cuộn dây kép). (2)
- Chạm đất 1 pha trong cuộn dây stator. (3)
- Chạm đất một điểm hoặc hai điểm mạch kích từ. (4)

I.2. Các tình trạng làm việc không bình thường của MFĐ:

- Dòng điện tăng cao do ngắn mạch ngoài hoặc quá tải. (5)
 - Điện áp đầu cực máy phát tăng cao do mất tải đột ngột hoặc khi cắt ngắn mạch ngoài. (6)
- Ngoài ra còn có các tình trạng làm việc không bình thường khác như: Tải không đối xứng, mất kích từ, mất đồng bộ, tần số thấp, máy phát làm việc ở chế độ động cơ, ...

II. Các bảo vệ thường dùng cho MFĐ

Tùy theo chủng loại của máy phát (thủy điện, nhiệt điện, turbine khí, thủy điện tích năng...), công suất của máy phát, vai trò của máy phát và sơ đồ nối dây của nhà máy điện với các phần tử khác trong hệ thống mà người ta lựa chọn phương thức bảo vệ thích hợp. Hiện nay không có phương thức bảo vệ tiêu chuẩn đối với MFĐ cũng như đối với các thiết bị điện khác. Tùy theo quan điểm của người sử dụng đối với các yêu cầu về độ tin cậy, mức độ dự phòng, độ nhạy... mà chúng ta lựa chọn số lượng và chủng loại role trong hệ thống bảo vệ. Đối với các MFĐ công suất lớn, xu thế hiện nay là lắp đặt hai hệ thống bảo vệ độc lập nhau với nguồn điện thao tác riêng, mỗi hệ thống bao gồm một bảo vệ chính và một số bảo vệ dự phòng có thể thực hiện đầy đủ các chức năng bảo vệ cho máy phát.

Để bảo vệ cho MFĐ chống lại các dạng sự cố nêu ở phần I, người ta thường dùng các loại bảo vệ sau:

- Bảo vệ so lệch dọc để phát hiện và xử lý khi xảy ra sự cố (1).
- Bảo vệ so lệch ngang cho sự cố (2).
- Bảo vệ chống chạm đất một điểm cuộn dây stator cho sự cố (3).
- Bảo vệ chống chạm đất mạch kích từ cho sự cố (4).
- Bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải cho sự cố (5).
- Bảo vệ chống điện áp đầu cực máy phát tăng cao cho sự cố (6).

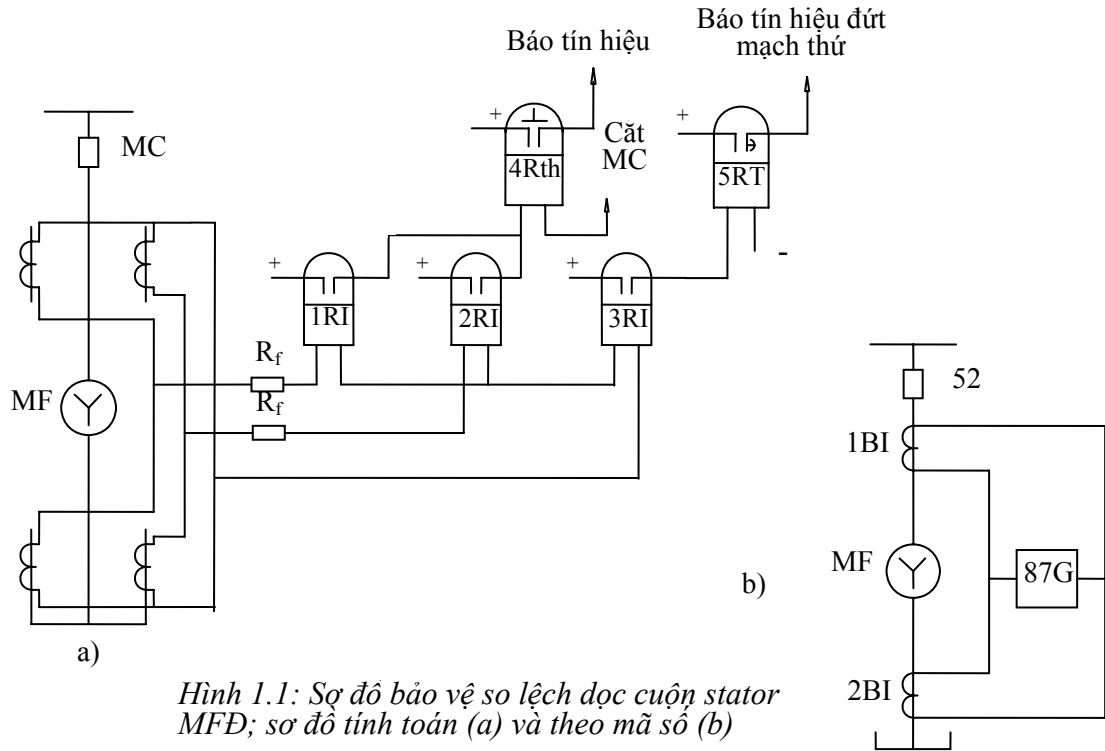
Ngoài ra có thể dùng: Bảo vệ khoảng cách làm bảo vệ dự phòng cho bảo vệ so lệch, bảo vệ chống quá nhiệt rotor do dòng máy phát không cân bằng, bảo vệ chống mất đồng bộ, ...

B. CÁC BẢO VỆ ROLE CHO MÁY PHÁT ĐIỆN

I. Bảo vệ số lệch dọc (87G)

I.1. Nhiệm vụ và sơ đồ nguyên lý:

Bảo vệ số lệch dọc (BVSLD) có nhiệm vụ chống ngắn mạch nhiều pha trong cuộn dây stator máy phát. Sơ đồ thực hiện bảo vệ như hình 1.1.



Hình 1.1: Sơ đồ bảo vệ số lệch dọc cuộn stator MFĐ; sơ đồ tính toán (a) và theo mã số (b)

Trong đó:

- R_f : dùng để hạn chế dòng điện không cân bằng (I_{KCB}), nhằm nâng cao độ nhạy của bảo vệ.
 - 1RI, 2RI, 4Rth: phát hiện sự cố và đưa tín hiệu đi cắt máy cắt đầu cực máy phát không thời gian (thực tế thường $t \approx 0,1$ sec).
 - 3RI, 5RT: báo tín hiệu khi xảy ra đứt mạch thứ sau một thời gian cần thiết (thông qua 5RT) để tránh hiện tượng báo nhầm khi ngắn mạch ngoài mà tưởng đứt mạch thứ.
- Vùng tác động của bảo vệ là vùng giới hạn giữa các BI nối vào mạch số lệch. Cụ thể ở đây là các cuộn dây stator của MFĐ, đoạn thanh dẫn từ đầu cực MFĐ đến máy cắt.

I.2. Nguyên lý làm việc:

BVSLD hoạt động theo nguyên tắc so sánh độ lệch dòng điện giữa hai đầu cuộn dây stator, dòng vào role là dòng số lệch:

$$I_R = I_{1T} - I_{2T} = I_{SL} \quad (1-1)$$

Với I_{1T} , I_{2T} là dòng điện thứ cấp của các BI ở hai đầu cuộn dây.

Bình thường hoặc ngắn mạch ngoài, dòng vào role 1RI, 2RI là dòng không cân bằng I_{KCB} :

$$I_{SL} = I_{1T} - I_{2T} = I_{KCB} < I_{KDR} \text{ (dòng khởi động role)} \quad (1-2)$$

nên bảo vệ không tác động (hình 1.2a).

Khi xảy ra chạm chập giữa các pha trong cuộn dây stator (hình 1.2b), dòng điện vào các role 1RI, 2RI:

$$I_{SL} = I_{1T} - I_{2T} = \frac{I_N}{n_1} > I_{KDR} \quad (1-3)$$

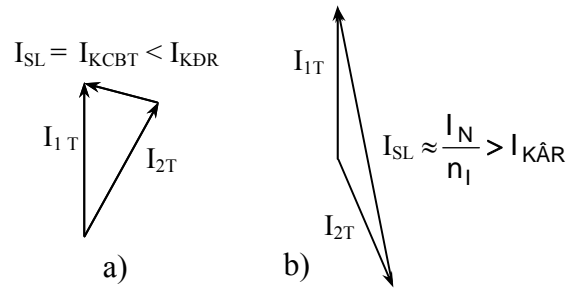
Trong đó:

- I_N : dòng điện ngắn mạch.
- n_1 : tỉ số biến dòng của BI

Bảo vệ tác động đi cắt 1MC đồng thời đưa tín hiệu đi đến bộ phận tự động diệt từ (TDT).

Trường hợp đứt mạch thứ của BI, dòng vào role là:

$$I_R = \frac{I_F}{n_1} \quad (1-4)$$



Hình 1.2: Đồ thị vectơ của dòng điện trong mạch BVSLD

- a) Bình thường và khi ngắn mạch ngoài
- b) Khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ

Dòng điện này có thể làm cho bảo vệ tác động nhầm, lúc đó chỉ có 3RI khởi động báo đứt mạch thứ với thời gian chậm trễ, để tránh hiện tượng báo nhầm trong quá trình quá độ khi ngắn mạch ngoài có xung động lớn.

Ở sơ đồ hình 1.1, các BI nội theo sơ đồ sao khuyết nên bảo vệ so lệch dọc sẽ không tác động khi xảy ra ngắn mạch một pha ở pha không đặt BI. Tuy nhiên các bảo vệ khác sẽ tác động.

1.3. Tính các tham số và chọn Role:

1.3.1. Tính chọn 1RI và 2RI:

Dòng điện khởi động của role 1RI, 2RI được chọn phải thỏa mãn hai điều kiện sau:

□ Điều kiện 1: Bảo vệ không tác động đối với dòng không cân bằng cực đại I_{KCBmax} khi ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ.

$$I_{KDB} \geq K_{at} \cdot I_{KCBtt} \quad (1-5)$$

$$I_{KCBtt} = K_{dn} \cdot K_{KCK} \cdot f_i \cdot I_{Nngmax} \quad (1-6)$$

Trong đó:

- K_{at} : hệ số an toàn tính đến sai số của role và dự trữ cần thiết. K_{at} có thể lấy bằng 1,3.
- K_{KCK} : hệ số tính đến sự có mặt của thành phần không chu kỳ của dòng ngắn mạch, K_{KCK} có thể lấy từ 1 đến 2 tùy theo biện pháp được sử dụng để nâng cao độ nhạy của bảo vệ.
- K_{dn} : hệ số tính đến sự đồng nhất của các BI ($K_{dn} = 0,5 \div 1$).
- f_i : sai số tương đối của BI, f_i có thể lấy bằng 0,1 (có kể đến dự trữ, vì các máy biến dòng chọn theo đường cong sai số 10%).
- I_{Nngmax} : thành phần chu kỳ của dòng điện chạy qua BI tại thời điểm đầu khi ngắn mạch ngoài trực tiếp 3 pha ở đầu cực máy phát.

□ Điều kiện 2: Bảo vệ không được tác động khi đứt mạch thứ BI.

Lúc đó dòng vào role 1RI, 2RI: (giả sử MF đang làm việc ở chế độ định mức)

$$I_{SL} = \frac{I_{âmF}}{n_1} \quad (1-7)$$

Dòng khởi động của bảo vệ:

$$I_{KDB} = \frac{K_{at}}{n_1} I_{âmF} \quad (1-8)$$

Như vậy, điều kiện để chọn dòng khởi động cho 1RI, 2RI:

$$I_{KDB} = \max \{ K_{at} \cdot I_{KCBtt}; K_{at} \cdot I_{dmF} \} \quad (1-9)$$

Dòng điện khởi động của role:

$$I_{KDR} = \frac{K^{(3)} \cdot I_{KAB}}{n_1} \quad (1-10)$$

Với $K^{(3)}$ là hệ số sơ đồ. Sau khi tính được I_{KDR} ta sẽ chọn được loại role cần thiết.

Kiểm tra độ nhạy K_n của bảo vệ:

$$K_n = \frac{I_{Nmin}}{I_{KAB}} \quad (1-11)$$

Với I_{Nmin} : dòng điện ngắn mạch 2 pha ở đầu cực máy phát khi máy phát làm việc riêng lẻ.
 Vì bảo vệ có tính chọn lọc tuyệt đối nên yêu cầu $K_n > 2$.

I.3.2. Tính chọn Role 3RI:

Dòng khởi động sơ cấp của role 3RI phải lớn hơn dòng không cân bằng cực đại khi ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ. Nhưng trong tính toán thì điều kiện ổn định nhiệt của role là quyết định. Theo kinh nghiệm có thể chọn dòng khởi động cho 3RI:

$$I_{KDS(3RI)} = 0,2 \cdot I_{dmf} \quad (1-12)$$

Ta tính được I_{KDR} của 3RI và chọn được loại role tương ứng.

I.3.3. Thời gian làm việc của 5RT:

Khi xảy ra ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ, có thể xuất hiện những xung dòng lớn thoáng qua làm cho bảo vệ tác động nhầm do vậy phải chọn thời gian tác động của 5RT thỏa mãn điều kiện:

$$t_{5RT} > t_{cát\ Ng\ oài} \quad (1-13)$$

$$t_{5RT} = t_{cát\ Ng} + \Delta t \quad (1-14)$$

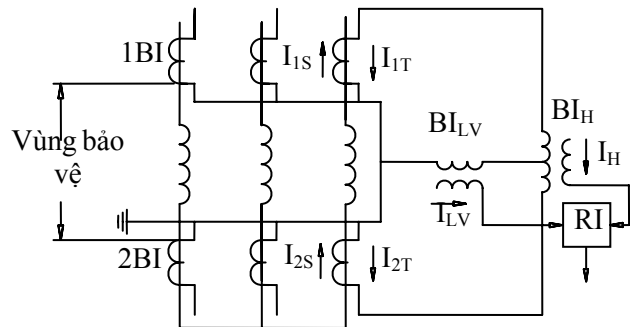
Trong đó:

- $t_{cát\ Ng}$: thời gian lớn nhất của các bảo vệ nối vào thanh góp điện áp máy phát.
- Δt : bậc chọn lọc thời gian, thường $\Delta t = (0,25 \div 0,5)$ sec.

□ Nhận xét:

- Bảo vệ sẽ tác động khi ngắn mạch nhiều pha trong cuộn dây stator máy phát.
- Bảo vệ không tác động khi chạm chập giữa các vòng dây trong cùng 1 pha hoặc khi xảy ra chạm đất 1 điểm trong cuộn dây phân tĩnh.

Để tăng độ nhạy của bảo vệ so lệch người ta có thể sử dụng role so lệch có hãm.



Hình 1.3: Bảo vệ so lệch dòng điện có hãm cuộn dây stator MFD

I.4. Bảo vệ so lệch có hãm:

Sơ đồ bảo vệ như hình 1.3. Role gồm có hai cuộn dây: Cuộn hãm và cuộn làm việc. Role làm việc trên nguyên tắc so sánh dòng điện giữa I_{LV} và I_H .

- Dòng điện vào cuộn làm việc I_{LV} :

$$I_{LV} = |I_{1T} - I_{2T}| = I_{SL} \quad (1-15)$$

- Dòng điện hãm vào cuộn hãm I_H :

$$I_H = |I_{1T} + I_{2T}| \quad (1-16)$$

Khi làm việc bình thường hay ngắn mạch ngoài vùng bảo vệ: Dòng điện I_{1T} cùng chiều với dòng I_{2T} : $|I_{1T}| \approx |I_{2T}|$

$$I_{SL} = I_{LV} = |I_{1T} - I_{2T}| = I_{KCB} \quad (1-17)$$

$$I_H = |I_{1T} + I_{2T}| \approx 2 \cdot |I_{1T}| > I_{LV} \quad (1-18)$$

nên bảo vệ không tác động.

Khi xảy ra ngắn mạch trong vùng bảo vệ: Dòng điện I_{1T} ngược pha với I_{2T} :

$$\begin{aligned} |I_{1T}| &= |-I_{2T}| \\ I_H &= |I_{1T} - I_{2T}| \approx 0 \\ I_{LV} &= |I_{1T} + I_{2T}| \approx 2 \cdot |I_{1T}| > I_H \end{aligned} \quad (1-19)$$

bảo vệ sẽ tác động.

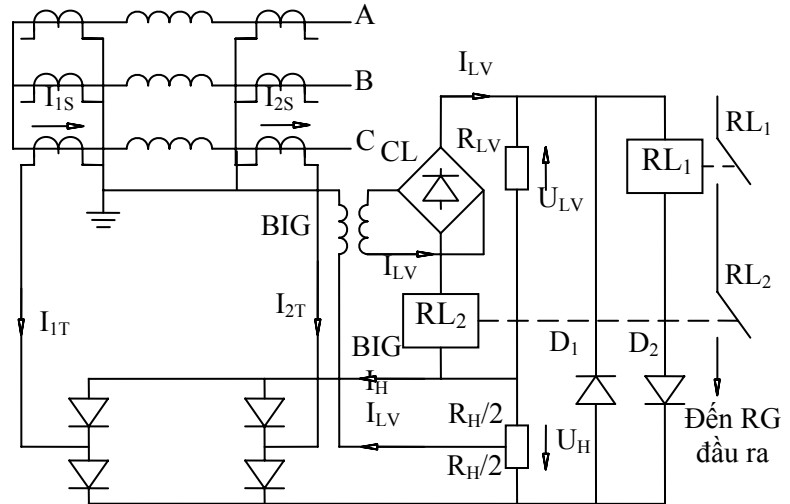
□ **Nhận xét:**
□

- Bảo vệ hoạt động theo nguyên tắc so sánh dòng điện giữa I_{LV} và I_H , nện độ nhạy của bảo vệ rất cao và khi xảy ra ngắn mạch thì bảo vệ tác động một cách chắc chắn với thời gian tác động thường $t = (15 \div 20)$ msec.

- Bảo vệ so lệch dọc dùng rơle có hãm có thể ngăn chặn bảo vệ tác động nhầm do ảnh hưởng bão hoà của BI.

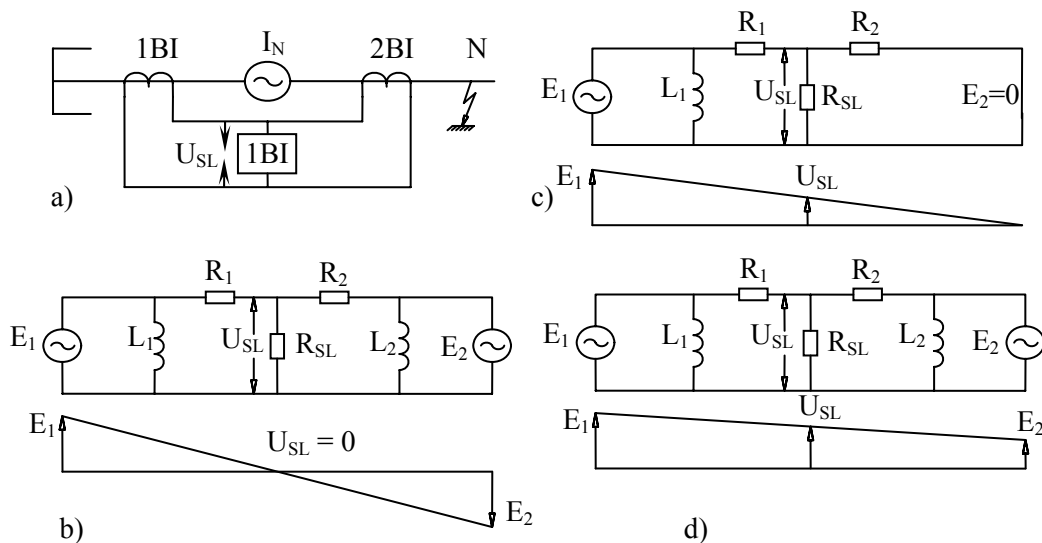
- Đối với các máy phát điện có công suất lớn có thể sử dụng sơ đồ bảo vệ so lệch hãm tác động nhanh (hình 1.4).

Ở chế độ làm việc bình thường, dòng điện thứ cấp I_{1T} và I_{2T} của các nhóm biến dòng 1BI, 2BI chạy qua điện trở hãm R_H , tạo nên điện áp hãm U_H , còn hiệu dòng thứ cấp (dòng so lệch) I_{SL} chạy qua biến dòng trung gian BIG, cầu chỉnh lưu CL và điện trở làm việc R_{LV} tạo nên điện áp làm việc U_{LV} . Giá trị điện áp $U_H > U_{LV}$, bảo vệ không tác động.



Hình 1.4: Bảo vệ so lệch có hãm tác động nhanh cho MFD công suất lớn

Khi ngắn mạch trong vùng bảo vệ, điện áp $U_{LV} \gg U_H$, dòng điện chạy qua rơle RL_1 làm rơle này tác động đóng tiếp điểm RL_1 lại. Dòng điện làm việc sau khi nắn chạy qua rơle RL_2 , RL_2 đóng tiếp điểm lại, rơle cắt đầu ra sẽ được cấp nguồn thao tác qua hai tiếp điểm nối tiếp RL_1 và RL_2 đi cắt máy cắt đầu cực máy phát. Ngoài ra, người ta còn dùng rơle so lệch tổng trở cao để bảo vệ so lệch máy phát điện (hình 1.5). Rơle so lệch RU trong sơ đồ có tổng trở khá lớn sẽ tác động theo điện áp so lệch U_{SL} , ở chế độ làm việc bình thường và khi ngắn mạch ngoài, các biến dòng 1BI, 2BI (được chọn giống nhau) có cùng dòng điện máy phát đi qua do đó các sức điện động E_1 và E_2 bằng nhau và ngược pha nhau, $L_1 = L_2$, phân bố điện áp trong mạch như hình 1.5b.



Hình 1.5: Bảo vệ so lệch dùng rơle tổng trở cao cho MFD

a) Sơ đồ nguyên lý b) Mạch điện đẳng trị và phân bố điện áp trong chế độ làm việc bình thường c) nhóm 2BI bị bão hoà khi ngắn mạch ngoài và hoàn toàn d) khi có ngắn mạch trong.

Trị số điện áp đặt lên role so lệch RU phụ thuộc vào quan hệ giữa các điện trở R_1 và R_2 . Điện trở R_1, R_2 gồm điện trở cuộn dây thứ cấp và dây dẫn phụ nối giữa hai nhóm biến dòng 1BI và 2BI, với $R_1 = R_2 \Rightarrow U_{SL} = 0$

Khi xảy ra ngắn mạch trong vùng bảo vệ:

* **Trường hợp máy phát làm việc biệt lập với hệ thống:** Dòng điện qua 1BI là dòng của máy phát. Dòng điện qua 2BI bằng không $E_2 = 0$. Điện áp đặt lên role so lệch RU hình 1.5c:

$$U_{SL1} = \frac{I_N'' \cdot (R_1 + R_2)}{n_1} \quad (\text{vì } R_{SL} \gg R_2) \quad (1-20)$$

Trong đó:

- I_N'' : trị hiệu dụng của dòng siêu quá độ khi ngắn mạch trên đầu cực máy phát.
- $I_N'' = I_{Nngmax}^{(3)} = I_{Nđầu cực MF}^{(3)}$

với:

- n_1 : tỷ số biến dòng của BI.
- R_{SL} : điện trở mạch so lệch (gồm role và dây nối).
-

* **Trường hợp máy phát nối với hệ thống:** Khi đó tại điểm ngắn mạch, ngoài dòng điện do bản thân máy phát cung cấp I_{NF}'' còn có thêm thành phần dòng điện do hệ thống đổ về I_{NH}'' . Mạch điện đẳng trị và phân bố điện áp như hình 1.5d. Giá trị điện áp đặt lên role so lệch RU:

$$U_{SL2} = \frac{(I_{NF}'' + I_{NH}'') \cdot (R_1 + R_2)}{n_1} \quad (1-21)$$

Để đảm bảo tính chọn lọc, điện áp khởi động của role so lệch RU phải chọn lớn hơn $\min\{U_{SL1}; U_{SL2}\}$, nghĩa là:

$$U_{KĐR} = K_{at} \cdot U_{SL1} = \frac{K_{at} \cdot I_N'' \cdot (R_1 + R_2)}{n_1} \quad (1-22)$$

Với $K_{at} = (1,15 \div 1,2)$ là hệ số an toàn.

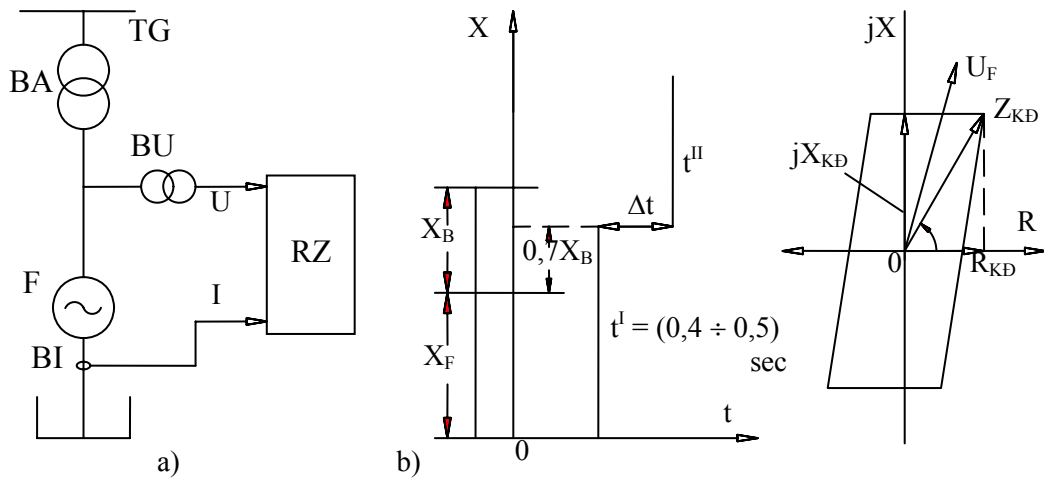
Thời gian tác động của bảo vệ thường: $t = (15 \div 20)$ msec

□ **Nhận xét:**

- Đối với các MFĐ có công suất lớn, hằng số thời gian tắt dần của thành phần một chiều trong dòng điện ngắn mạch có thể đạt đến hàng trăm msec, gây bão hòa mạch từ của các máy biến dòng và làm chậm tác động của bảo vệ khi có ngắn mạch trong vùng bảo vệ. Vì vậy cần phải sử dụng sơ đồ bảo vệ tác động nhanh trước khi xảy ra bão hòa mạch từ của máy biến dòng, tức là: $t_{bh} > t_{bv}$, với t_{bv} là thời gian cắt ngắn mạch của bảo vệ; t_{bh} thời gian bão hòa mạch từ của BI.

I.5. Bảo vệ khoảng cách (21):

Đối với các MFD công suất lớn người ta thường sử dụng bảo vệ khoảng cách làm bảo vệ dự phòng cho BVSL (hình 1.6a).



Hình 1.6: Sơ đồ nguyên lý (a); đặc tính thời gian (b) và đặc tuyến khởi động (c) của bảo vệ khoảng cách cho MFD

Vi khoảng cách từ MBA đến máy cắt cao áp khá ngắn, để tránh tác động nhầm khi ngắn mạch ngoài MBA, vùng thứ nhất của bảo vệ khoảng cách được chọn bao gồm điện kháng của MFD và khoảng 70% điện kháng của MBA tăng áp (để bảo vệ hoàn toàn cuộn hạ của MBA), nghĩa là:

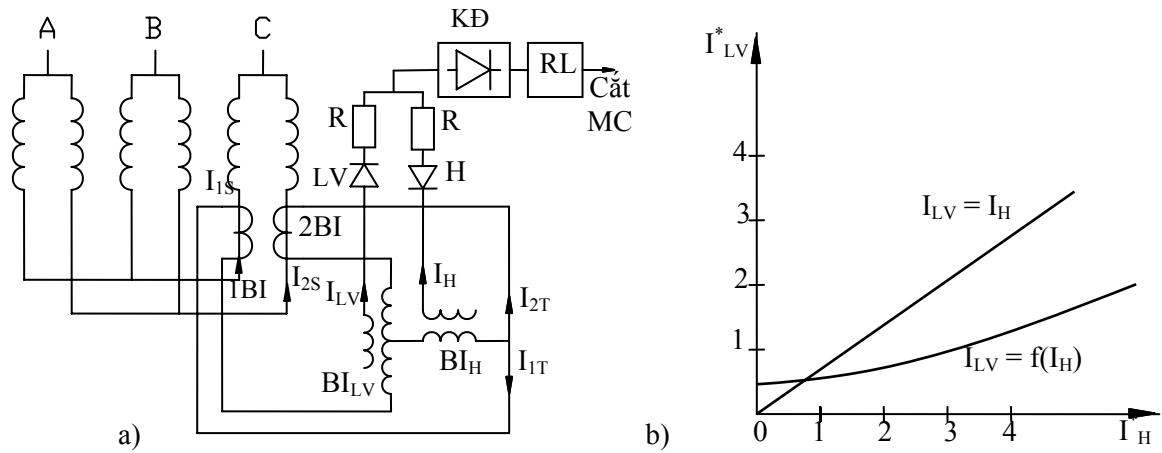
$$Z_{kd}^I = Z_F + 0,7.Z_B \quad (1-23)$$

Thời gian làm việc của vùng thứ nhất thường chọn $t^I = (0,4 \div 0,5)$ sec (hình 1.6b).

Vùng thứ hai thường bao gồm phần còn lại của cuộn dây MBA, thanh dẫn và đường dây truyền tải nối với thanh góp liên kế. Đặc tuyến khởi động của rơle khoảng cách có thể có dạng vòng tròn với tâm ở góc tọa độ hoặc hình bình hành với độ nghiêng của cạnh bên bằng độ nghiêng của véctor điện áp U_F hình 1.6c.

II. Bảo vệ so lệch ngang (87G)

Các vòng dây của MFD chập nhau thường do nguyên nhân hư hỏng cách điện của dây quấn. Có thể xảy ra chập chập giữa các vòng dây trong cùng một nhánh (cuộn dây đơn) hoặc giữa các vòng dây thuộc hai nhánh khác nhau trong cùng một pha, dòng điện trong các vòng dây bị chập chập có thể đạt đến trị số rất lớn. Đối với máy phát điện mà cuộn dây stator là cuộn dây kép, khi có một số vòng dây chập nhau sức điện động cảm ứng trong hai nhánh sẽ khác nhau tạo nên dòng điện cân bằng chạy quanh trong các mạch vòng sự cô và đốt nóng cuộn dây có thể gây ra hư hỏng nghiêm trọng. Trong nhiều trường hợp khi xảy ra chập chập giữa các vòng dây trong cùng một pha nhưng BVSLD không thể phát hiện được, vì vậy cần phải đặt bảo vệ so lệch ngang để chống dạng sự cô này.



Hình 1.7: Bảo vệ so lệch ngang có hãm (a) và đặc tính khởi động (b)

Đối với MFĐ công suất vừa và nhỏ chỉ có cuộn dây đơn, lúc đó chạm chập giữa các vòng dây trong cùng một pha thường kèm theo chạm vỏ, nên bảo vệ chống chạm đất tác động (trường hợp này không cần đặt bảo vệ so lệch ngang).

Với MFĐ công suất lớn, cuộn dây stator làm bằng thanh dẫn và được quấn kép, đầu ra các nhánh đưa ra ngoài nên việc bảo vệ so lệch ngang tương đối dễ dàng. Người ta có thể dùng sơ đồ bảo vệ riêng hoặc chung cho các pha.

II.1. Sơ đồ bảo vệ riêng cho từng pha: (hình 1.7, 1.8)

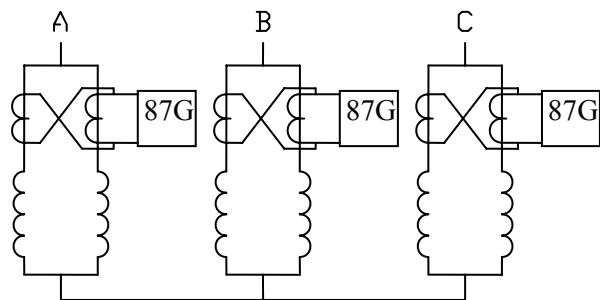
Trong chế độ làm việc bình thường hoặc ngắn mạch ngoài, sức điện động trong các nhánh cuộn dây stator bằng nhau nên $I_{1T} = I_{2T}$. Khi đó:

$$|I_H| = |I_{1T} + I_{2T}| = 2.I_{1T} \quad (1-24)$$

$$|I_{SL}| = |I_{LV}| = |I_{1T} - I_{2T}| = I_{KCB} \quad (1-25)$$

$\Rightarrow I_H > I_{LV}$ nên bảo vệ không tác động

Khi xảy ra chạm chập giữa các vòng dây của hai nhánh khác nhau cùng một pha, giả thiết ở chế độ máy phát chưa mang tải, ta có: $I_{1T} = -I_{2T}$

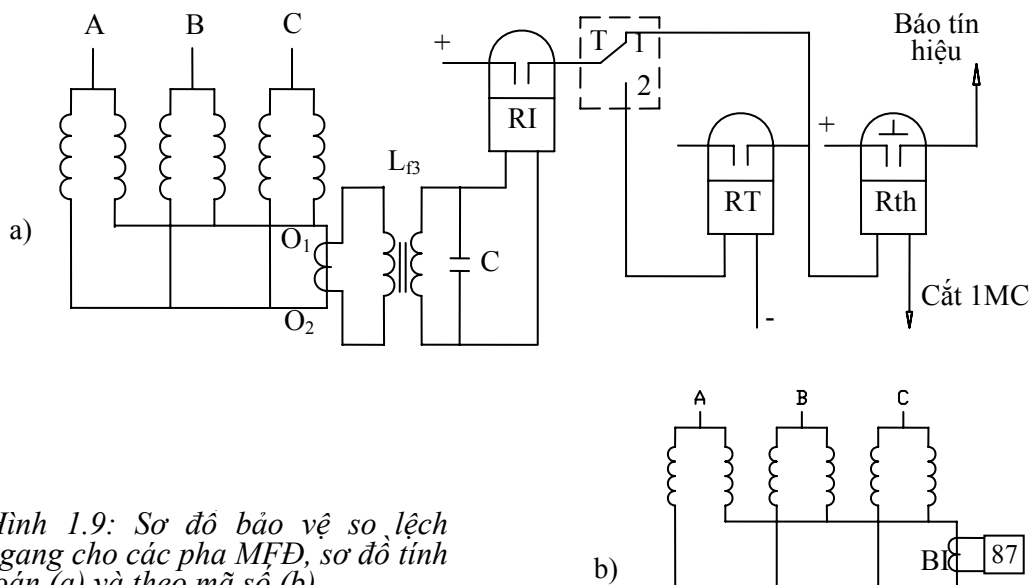


Hình 1.8: Sơ đồ bảo vệ so lệch ngang theo mã số

$$\begin{aligned} |I_H| &= |I_{1T} - I_{2T}| = I_{KCB} \\ |I_{LV}| &= |I_{1T} + I_{2T}| = 2.I_{1T} \\ \Rightarrow I_{LV} &> I_H \text{ nên role tác động cắt máy cắt đầu cực máy phát.} \end{aligned} \quad (1-26)$$

II.2. Sơ đồ bảo vệ chung cho các pha: (hình 1.9)

Trong sơ đồ BI được đặt ở giữa hai điểm nối trung tính của 2 nhóm nhánh của cuộn dây stator, thứ cấp của BI nối qua bộ lọc sóng hài bậc ba L_{3f} dùng để giảm dòng không cân bằng đi vào role.



Hình 1.9: Sơ đồ bảo vệ so lệch ngang cho các pha MFD, sơ đồ tính toán (a) và theo mã số (b)

CN: cầu nối, bình thường CN ở vị trí 1 và bảo vệ tác động không thời gian. Khi máy phát đã chạm đất 1 điểm mạch kích từ (không nguy hiểm), CN được chuyển sang vị trí 2 lúc đó bảo vệ sẽ tác động có thời gian để tránh tác động nhầm khi chạm đất thoáng qua điểm thứ 2 mạch kích từ.

II.2.1. Nguyên lý hoạt động:

Bảo vệ hoạt động trên nguyên lý so sánh thế V_1 và V_2 của trung điểm O_1 và O_2 giữa 2 nhánh song song của cuộn dây.

* Ở chế độ bình thường hoặc ngắn mạch ngoài:

$$U_{12} = V_1 - V_2 \approx 0 \quad (1-27)$$

nên không có dòng qua BI do đó bảo vệ không tác động (cầu nối ở vị trí 1).

* Khi xảy ra chạm chập 1 điểm mạch kích từ, máy phát vẫn được duy trì vận hành nhưng phải chuyển cầu nối sang vị trí 2 để tránh trường hợp bảo vệ tác động nhầm khi ngắn mạch thoáng qua điểm thứ 2 mạch kích từ.

* Khi sự cố (chạm chập giữa các vòng dây):

$$U_{12} = V_1 - V_2 \neq 0 \quad (1-28)$$

nên có dòng qua BI bảo vệ tác động cắt máy cắt.

II.2.2. Dòng khởi động của role:

Dòng điện khởi động của bảo vệ được xác định theo công thức:

$$I_{KDB} \geq K_{at} \cdot I_{KCBtt} \quad (1-29)$$

Thực tế việc xác định dòng không cân bằng tính toán I_{KCBtt} tương đối khó, nên thường xác định theo công thức kinh nghiệm:

$$I_{KDB} = (0,05 \div 0,1) \cdot I_{dmf} \quad (1-30)$$

$$\Rightarrow I_{KDR} = \frac{I_{KAB}}{n_1} \quad (1-31)$$

từ đó có thể chọn được loại role cần thiết.

II.2.3. Thời gian tác động của bảo vệ:

Bình thường bảo vệ tác động không thời gian (cầu nối CN ở vị trí 1). Khi chạm đất điểm thứ nhất mạch kích từ thì cầu nối CN được chuyển sang vị trí 2. Thời gian tác động của role RT được xác định như sau:

$$t_{RT} = t_{BV \text{ 2 điểm từ}} + \Delta t \quad (1-32)$$

Trong đó:

- $t_{BV \text{ 2 điểm từ}}$: thời gian tác động của bảo vệ chống chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ.
- Δt : bậc chọn thời gian, thường lấy $\Delta t = 0,5 \text{ sec}$.

□ **Nhận xét:**

- Bảo vệ so lệch ngang cũng có thể làm việc khi ngắn mạch nhiều pha trong cuộn dây stator. Tuy nhiên nó không thể thay thế hoàn toàn cho BVSLD được vì khi ngắn mạch trên đầu cực máy phát bảo vệ so lệch ngang không làm việc.
- Bảo vệ tác động khi chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ (nếu bảo vệ chống chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ không tác động) do sự không đối xứng của từ trường làm cho $V_1 \neq V_2$.

III. Bảo vệ chống chạm đất trong cuộn dây stator (50/51n)

Mạng điện áp máy phát thường làm việc với trung tính cách điện với đất hoặc nối đất qua cuộn dập hồ quang nên dòng chạm đất không lớn lắm. Tuy vậy, sự cô một điểm cuộn dây stator chạm lỗi từ lại thường xảy ra, dẫn đến đốt cháy cách điện cuộn dây và lan rộng ra các cuộn dây bên cạnh gây ngắn mạch nhiều pha. Vì vậy, cần phải đặt bảo vệ chống chạm đất một điểm cuộn dây stator.

Dòng điện tại chỗ chạm đất khi trung điểm của cuộn dây máy phát không nối đất là:

$$I_{\hat{A}\alpha}^{(1)} = \frac{\alpha \cdot U_p}{\sqrt{r_{qđ}^2 + X_{C_{0\Sigma}}^2}} \quad (1-33)$$

Trong đó:

- α : số phần trăm cuộn dây tính từ trung điểm đến vị trí chạm đất ($\alpha \leq 1$).
- U_p : điện áp pha của máy phát.
- $r_{qđ}$: điện trở quá độ tại chỗ sự cố.
- $X_{C_{0\Sigma}}$: dung kháng 3 pha đẳng trị của tất cả các phần tử trong mạng điện áp

máy phát. $X_{C_{0\Sigma}} = \frac{1}{3 \cdot j \cdot \omega \cdot C_{0\Sigma}}$

Nếu bỏ qua điện trở quá độ tại chỗ sự cố ($r_{qđ} = 0$), dòng chạm đất bằng:

$$I_{\hat{A}\alpha}^{(1)} = 3 \cdot \alpha \cdot \omega \cdot C_{0\Sigma} \cdot U_p \quad (1-34)$$

Khi chạm đất xảy ra tại đầu cực máy phát ($\alpha = 1$) dòng chạm đất đạt trị số lớn nhất:

$$I_{\hat{A}\alpha \max}^{(1)} = 3 \cdot \omega \cdot C_{0\Sigma} \cdot U_p \quad (1-35)$$

Nếu dòng chạm đất lớn cần phải đặt cuộn dập hồ quang (CDHQ), theo quy định của một số nước, CDHQ cần phải đặt khi:

$$I_{\hat{A}\max}^{(1)} \geq 30 \text{ A đối với mạng có } U = 6 \text{ kV}$$

$$I_{\hat{A}\max}^{(1)} \geq 20 \text{ A đối với mạng có } U = 10 \text{ kV}$$

$$I_{\hat{A}\max}^{(1)} \geq 15 \text{ A đối với mạng có } U = (15 \div 20) \text{ kV}$$

$$I_{\hat{A}\max}^{(1)} \geq 10 \text{ A đối với mạng có } U = 35 \text{ kV}$$

Kinh nghiệm cho thấy rằng dòng điện chạm đất $I_{\hat{A}}^{(1)} \geq 5 \text{ A}$ có khả năng duy trì tia lửa điện tại chỗ chạm đất làm hỏng cuộn dây và lõi thép tại chỗ sự cố, vì vậy bảo vệ cần phải tác động cắt máy phát. Phần lớn sự cố cuộn dây stator là chạm đất một pha vì các cuộn dây cách điện nằm trong các rãnh lõi thép. Để giới hạn dòng chạm đất trung tính máy phát thường nối đất qua một tổng trở. Các phương pháp nối đất trung tính được trình bày trong hình 1.10.

Nếu tổng trở trung tính đủ lớn dòng chạm đất có thể giới hạn nhỏ hơn dòng điện định mức máy phát. Không có công thức tổng quát nào cho giá trị tối ưu của tổng trở giới hạn dòng. Nếu tổng trở trung tính quá cao, dòng chạm đất bé làm cho role không tác động. Ngoài ra điện trở quá lớn sẽ xuất hiện hiện tượng cộng hưởng quá độ giữa các cuộn dây với đất và đường dây kết nối. Để tránh hiện tượng này khi tính chọn điện trở trung tính cực đại

dựa vào dung dẫn giữa 3 cuộn dây stator máy phát, thường yêu cầu: $R \leq \frac{1}{3\omega C}$ (Ω)
(1-36)

với C là điện dung của mỗi cuộn dây stator máy phát.

Nếu điện trở trung tính thấp, dòng điện chạm đất sẽ cao và sẽ gây nguy hiểm cho máy phát. Khi điện trở trung tính giảm độ nhạy của role chống chạm đất giảm do điện thế thứ tự không nhỏ. Role chống chạm đất sẽ cảm nhận điện thế giáng trên điện trở nối đất do vậy giá trị điện thế này phải đủ lớn để đảm bảo độ nhạy của role.

Hình 1.10 giới thiệu một số phương án áp dụng nối đất trung tính máy phát.

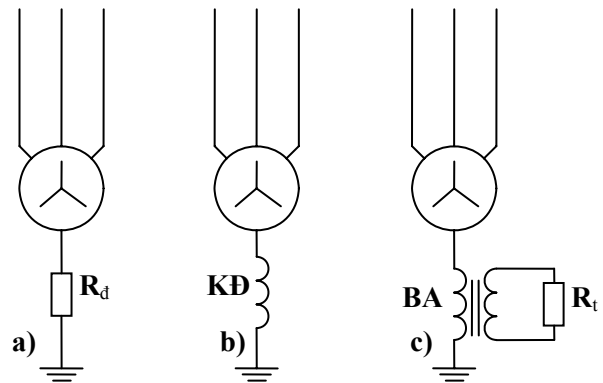
□ **Phương án a:** Trung tính nối đất qua điện trở cao R_t (hình 1.10a) để giới hạn dòng chạm đất nhỏ hơn 25A. Một phương án khác cũng nối đất qua điện trở thấp cho phép dòng chạm đất có thể đạt đến 1500A.

□ **Phương án b:** Trung tính nối đất qua điện kháng có kháng trở bé (hình 1.10b), với phương án này cho phép dòng chạm đất lớn hơn khi dùng *phương án a*, giá trị dòng chạm đất khoảng (25÷100)% dòng ngắn mạch 3 pha.

□ **Phương án c:** Trung tính nối đất qua máy biến áp BA hình 1.10c, điện áp của cuộn sơ MBA bằng điện áp máy phát, điện áp của cuộn thứ MBA khoảng 120V hay 240V.

- Đối với sơ đồ có thanh góp cấp điện áp máy phát khi $I_{d\alpha} > 5$ (A) cần phải cắt máy phát.

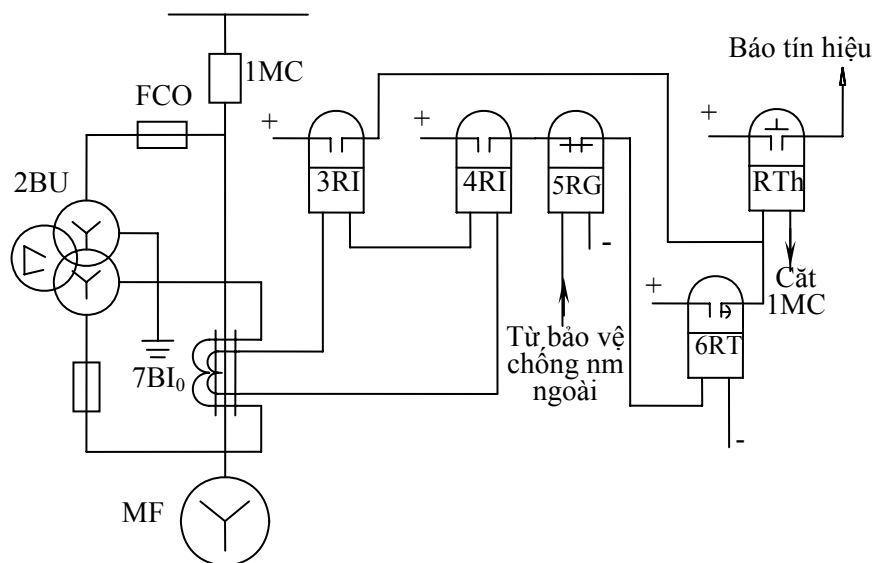
- Đối với sơ đồ nối bộ MF-MBA thường $I_{d\alpha} < 5$ (A) chỉ cần đặt bảo vệ đơn giản hơn để báo tín hiệu chạm đất stator mà không cần cắt máy phát.



Hình 1.10: Các phương án nối đất trung tính MFD

III.1. Đối với sơ đồ thanh góp điện áp máy phát:

Sơ đồ hình 1.11 được dùng để bảo vệ cuộn dây stator máy phát khi xảy ra chạm đất. Bảo vệ làm việc theo dòng thứ tự không qua biên dòng thứ tự không $7BI_0$ có kích từ phụ từ nguồn xoay chiều lấy từ 2BU.



Hình 1.11: Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất 1 điêm cuộn stator MFD

- 3RI: role chống chạm đất 2 pha tại hai điểm khi dùng bảo vệ so lệch dọc đặt ở 2 pha (sơ đồ sao khuyết).
- 4RI: role chống chạm đất 1 pha cuộn dây stator.
- 5RG: khoá bảo vệ khi ngắt mạch ngoài.
- 6RT: tạo thời gian làm việc cần thiết để bảo vệ không tác động đối với những giá trị quá độ của dòng điện dung đi qua máy phát khi chạm đất 1 pha trong mạng điện áp máy phát.
- Rth: role báo tín hiệu.

III.1.1. Nguyên lý hoạt động:

Tình trạng làm việc bình thường, dòng điện qua role 3RI, 4RI:

$$I_R = \frac{1}{n_l} (I_A + I_B + I_C) = \frac{1}{n_l} I_{KCBtt} \quad (1-37)$$

Dòng điện không cân bằng do các pha phía sơ cấp của 7BI₀ đặt không đối xứng với cuộn thứ cấp và do thành phần kích từ phụ gây nên. Dòng điện khởi động của role cần phải chọn lớn hơn dòng điện không cân bằng trong tình trạng bình thường này:

$$I_{KĐR} > I_{KCBtt}$$

Khi xảy ra chạm đất 1 pha trong vùng bảo vệ:

Dòng qua chỗ chạm đất bằng:

$$I_D = (3 \cdot \alpha \cdot \omega \cdot C_{OHT} + 3 \cdot \alpha \cdot \omega \cdot C_{OF}) \cdot U_{pF} \quad (1-38)$$

Trong đó:

- α : phần số vòng dây bị chọc thủng kể từ điểm trung tính cuộn dây stator.
- C_{OF} , C_{OHT} : điện dung pha đối với đất của máy phát và hệ thống.
- U_{pF} : điện áp pha của máy phát.

Dòng điện vào role bằng:

$$I'_D = 3 \cdot \omega \cdot \alpha \cdot C_{OHT} \cdot U_{pF} \quad (1-39)$$

để bảo vệ có thể tác động được cần thực hiện điều kiện:

$$I_{KĐB} \leq I'_{D\alpha} - I_{KCBtt} \quad (1-40)$$

để đơn giản, ta giả thiết dòng chạm đất đi qua bảo vệ và dòng không cân bằng tính toán ngược pha nhau.

Khi số vòng chạm α bé, dòng điện chạm đất $I'_{D\alpha}$ nhỏ và bảo vệ có thể có vùng chết ở gần trung tính máy phát.

Khi chạm đất một pha ngoài vùng bảo vệ, dòng điện đi qua bảo vệ:

$$I''_{D\alpha} = 3 \cdot \omega \cdot \alpha \cdot C_{OF} \cdot U_{pF} \quad (1-41)$$

để bảo vệ không tác động trong trường hợp này, dòng khởi động của bảo vệ phải được chọn:

$$I_{K\Delta B} > I''_{D\alpha q\Delta} + I_{KCBtt} \quad (1-42)$$

Ở đây chúng ta chọn điều kiện nặng nề nhất là khi dòng điện chạm đất qua bảo vệ và dòng không cân bằng có chiều trùng nhau, đồng thời phải chọn giá trị của dòng điện chạm đất bằng giá trị quá độ lớn nhất vì chạm đất thường là không ổn định.

Khi xảy ra chạm đất 2 pha tại hai điểm, trong đó có một điểm nằm trong vùng bảo vệ. Bảo vệ sẽ tác động cắt máy phát nhờ role 3RI. Trong trường hợp này role 4RI cũng khởi động nhưng tín hiệu từ 4RI bị trễ do 6RT.

III.1.2. Tính chọn Role:

* **Dòng khởi động của role 3RI:** Việc xác định dòng không cân bằng đi qua bảo vệ khi ngắt mạch ngoài vùng bảo vệ rất phức tạp vì thế người ta thường chỉnh định với một độ dự trữ khá lớn, theo kinh nghiệm vận hành thường chọn:

$$I_{KĐB3RI} = (100 \div 200) \text{ (A)} \quad (\text{phía sơ cấp}) \quad (1-43)$$

* **Dòng khởi động của role 4RI:** Dòng khởi động của 4RI được chọn theo 2 điều kiện:

- Bảo vệ không được tác động khi ngắt mạch ngoài vùng bảo vệ, khi đó:

$$I_{K\Delta B 4RI} = \frac{K_{at}}{K_{tv}} (3\omega C_0 k_{q\Delta} U_{pF} + I_{KCBtt \max}) \text{ (A)} \quad (\text{phía sơ cấp}) \quad (1-44)$$

□ Theo giá trị dòng điện sơ cấp bé nhất tương ứng với dòng điện khởi động cực tiểu của 4RI (giá trị này phụ thuộc vào cấu tạo và độ nhạy của role 4RI). Đối với các role thường gặp giá trị này khoảng:

$$I_{KDB4RI} = (2 \div 3) \text{ (A) (phía sơ cấp)} \quad (1-45)$$

Từ hai điều kiện trên chúng ta sẽ chọn được dòng điện lớn hơn làm dòng điện tính toán.

* **Thời gian làm việc của role 6RT:** Để loại trừ ảnh hưởng của những giá trị quá độ của dòng điện dung khi chạm đất một pha trong mạng điện áp máy phát, người ta thường chọn:

$$t_{6RT} = (1 \div 2) \text{ sec} \quad (1-46)$$

III.2. Đối với sơ đồ nối bộ MF-MBA:

Với sơ đồ nối bộ, khi xảy ra chạm đất một điểm cuộn dây stator dòng chạm đất bé vì vậy bảo vệ chỉ cần báo tín hiệu, ở đây chỉ cần dùng sơ đồ bảo vệ đơn giản, làm việc theo điện áp thứ tự không như hình 1.12.

Giá trị khởi động của RU (U_{KDRU}) thường chọn theo hai điều kiện sau:

- Điều kiện 1: $U_{KDRU} > U_{KCBmax}$
- Điều kiện 2: U_{KDRU} chọn theo điều kiện ổn định nhiệt của role và thường lấy bằng 15V.

Thường chọn theo điều kiện 2 là đã thỏa điều kiện 1.

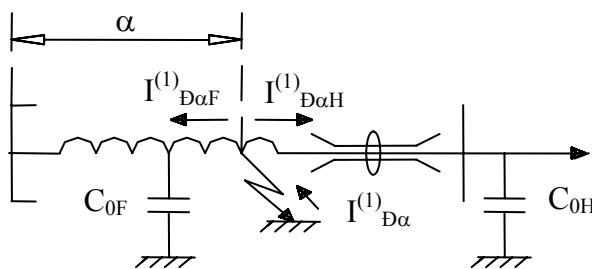
Role thời gian dùng để tạo thời gian trễ tránh trường hợp bảo vệ tác động nhầm do quá độ sự cố bên ngoài.

$$t_{RT} = t_{max} \text{ (BV của phần tử kế cận)} + \Delta t. \quad (1-47)$$

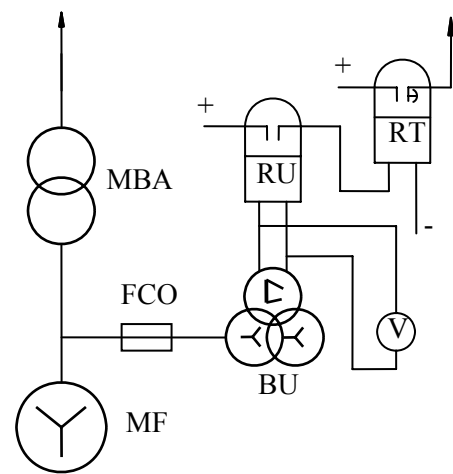
III.3. Một số sơ đồ khác:

MFĐ nối với thanh góp điện áp thường có công suất bé và sơ đồ bảo vệ thường dựa trên nguyên lý làm việc theo biên độ hoặc hướng dòng điện chạm đất.

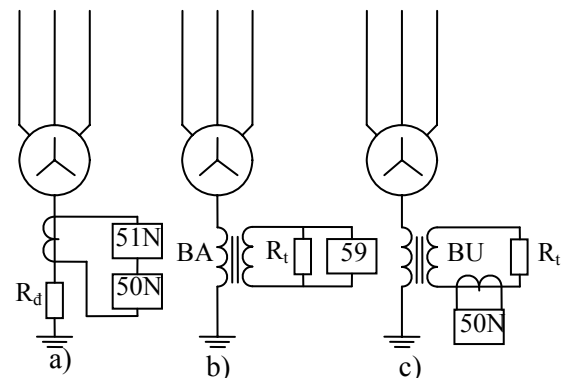
III.3.1. Phương pháp biên độ:



Hình 1.13: Chạm đất trong cuộn dây stator MFĐ



Hình 1.12: Sơ đồ bảo vệ chạm đất một điểm cuộn stator bộ MF-MBA



Hình 1.14: Bảo vệ chạm đất dây quấn stator

Phương pháp biên độ thường được sử dụng khi thành phần dòng điện chạm đất từ phía điện dung hệ thống $I_{d\alpha H}^{(1)}$ lớn hơn nhiều so với thành phần chạm đất từ phía điện dung máy phát $I_{d\alpha F}^{(1)}$ nghĩa là:

$$I_{d\alpha H}^{(1)} \gg I_{d\alpha F}^{(1)} \text{ với } I_{d\alpha F} = 3 \cdot j \cdot \omega \cdot C \cdot U \alpha$$

Vì dòng chạm đất $I(1)_{đđ}$ (hình 1.13) phụ thuộc vào vị trí α của điểm chạm đất, nên nếu xảy ra chạm đất gần trung tính ($\alpha \rightarrow 0$) bảo vệ sẽ không đủ độ nhạy, vì vậy phương pháp này chỉ bảo vệ được khoảng 70% cuộn dây stator máy phát kể từ đầu cực máy phát.

Ngoài sơ đồ nêu ở phần III.1, sau đây chúng ta sẽ xét thêm một số sơ đồ bảo vệ theo phương pháp biên độ khác sau:

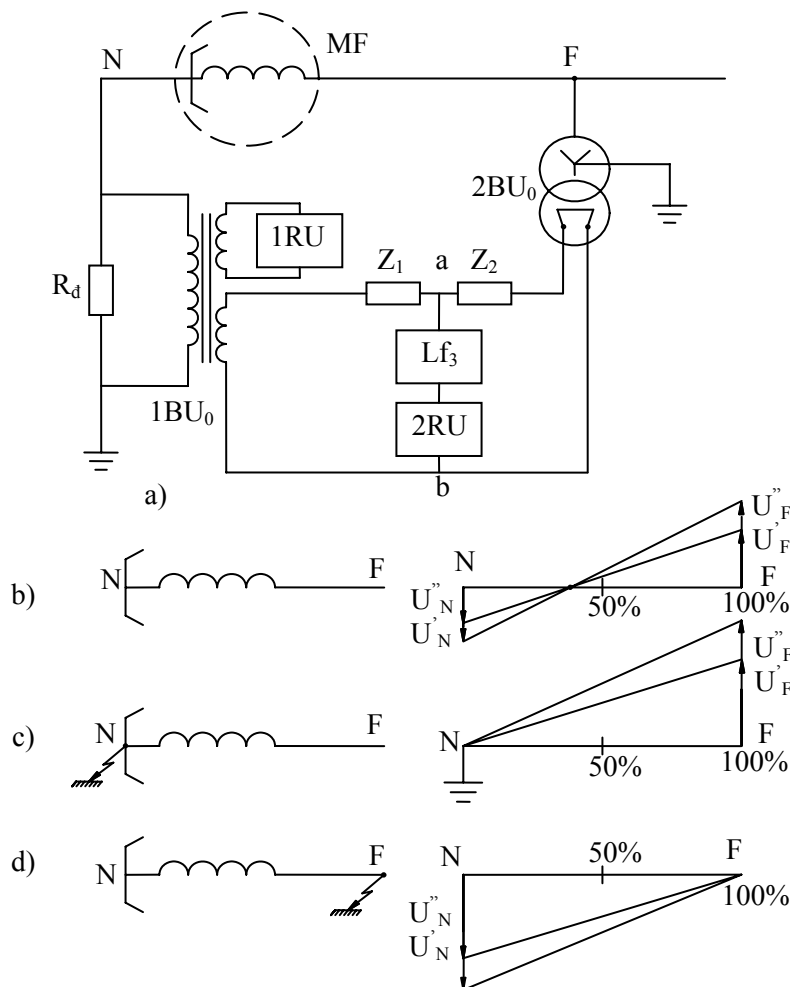
□ **Trung tính máy phát nối đất qua điện trở cao R_d :** (hình 1.14a)

Máy biến dòng đặt ở dây nối trung tính MFD qua điện trở nối đất R_d , cuộn thứ cấp nối vào role dòng cắt nhanh (có mã số 50N). Trị số dòng điện đặt của role lấy bằng 10% giá trị dòng điện chạm đất cực đại ở cấp điện áp máy phát. Đây là trị số đặt nhỏ nhất có tính đến độ an toàn khi thành phần dòng điện thứ tự không từ hệ thống cao áp truyền qua điện dung cuộn dây MBA tới máy phát. Để nâng cao hiệu quả của bảo vệ người ta có thể đặt thêm bảo vệ dòng cực đại (51N) có đặc tính thời gian phụ thuộc có trị số dòng điện đặt khoảng 5% giá trị dòng chạm đất cực đại $I_{đmax}$ ở cấp điện áp máy phát.

□ **Máy phát nối đất trung tính qua MBA:** (hình 1.14b)

MBA nối đất đặt ở trung tính máy phát điện, vừa có chức năng như một kháng điện nối đất của máy phát vừa cung cấp nguồn cho bảo vệ. Cuộn thứ cấp của MBA được nối với role quá điện áp (59) song song với tải trở R_t nhằm ổn định sự làm việc cho MBA và tạo giá trị điện áp đặt lên role quá điện áp. Trị số điện áp đặt khoảng (5,4 ÷ 20) V. Sơ đồ chỉ có thể bảo vệ được khoảng 90% cuộn stator tính từ đầu cực máy phát. Người ta cũng có thể sử dụng phương án hình 1.14c để bảo vệ chống chạm đất cuộn stator máy phát. Cuộn thứ cấp của MBA được mắc thêm tải trở R_t , điện trở này làm tăng thành phần tác dụng chạm đất lên khoảng 10A và trên mạch thứ cấp này đặt biên dòng nối vào role dòng cực đại (50N). Giá trị đặt của role này khoảng 5% giá trị dòng điện chạm đất cực đại ở cấp điện áp máy phát. Dòng điện thứ cấp của BI chọn 1A còn dòng điện phía sơ cấp của BI chọn bằng hoặc nhỏ hơn dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của MBA nối đất.

□ **Sơ đồ sử dụng điện áp sóng hài bậc 3:** (hình 1.15)



Hình 1.15: Sơ đồ bảo vệ chạm đất 100% cuộn stator theo điện áp hài bậc 3 (a); đồ thị véctor trong chế độ vận hành bình thường (b); khi chạm đất ở trung tính (c) và khi chạm đất ở đầu cực điểm máy phát

Các sơ đồ bảo vệ mô tả trên không bảo vệ được hoàn toàn cuộn stator máy phát khi xảy ra chạm đất một pha. Với các máy phát công suất lớn hiện đại, yêu cầu phải bảo vệ 100% cuộn dây stator khi xảy ra sự cố trên, nghĩa là bảo vệ phải tác động khi xảy ra chạm đất một pha bất kỳ vị trí nào cuộn dây stator máy phát. Một trong những phương pháp lựa chọn ở đây là sử dụng điện áp sóng hài bậc ba.

Do tính phi tuyến của mạch từ máy phát nên điện áp cuộn dây stator luôn chứa thành phần sóng hài bậc ba, giá trị của thành phần điện áp này phụ thuộc vào trị số điện kháng của thiết bị nối với trung tính máy phát, điện dung với đất của cuộn stator, điện dung nối đất của các dây dẫn, thanh dẫn mạch máy phát và điện dung cuộn dây MBA nối với máy phát điện.

Trong điều kiện vận hành bình thường, nếu đo điện áp sóng hài bậc ba với đất ở các điểm khác nhau trên cuộn dây stator ta có phân bố điện áp như trên hình 1.15b. Ở đây kí hiệu U_N, U_F là điện áp hài bậc ba khi máy phát không tải và $U_{N'}, U_{F'}$ khi máy phát đầy tải.

Khi xảy ra chạm đất ở đầu cực hoặc ở trung tính máy phát, điện áp sóng hài ở đầu cực không chạm đất tăng lên gần gấp hai lần so với chế độ tương ứng trước khi chạm đất (hình 1.15c,d).

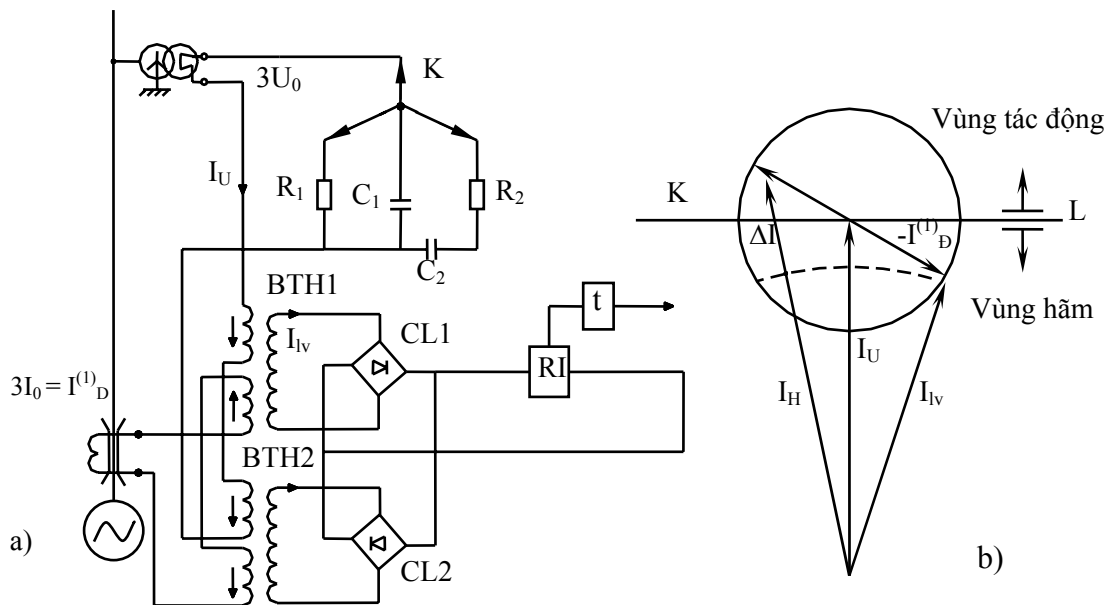
Nguyên lý làm việc của sơ đồ bảo vệ là so sánh trị số điện áp hài bậc ba ở trung tính máy phát và trị số điện áp hài bậc ba lấy ở cuộn tam giác hở của 2BU. Role le điện áp 2RU nối qua bộ lọc tần số hài bậc ba L_{f3} và sẽ tác động khi có chạm đất trong cuộn dây stator.

Như đã phân tích ở phần trước, role điện áp 1RU chỉ bảo vệ được khoảng 90% cuộn stator tính từ đầu cực máy phát, ở đây role 2RU cũng bảo vệ được khoảng (70 ÷ 80) % cuộn stator tính từ điểm trung tính. Như vậy sự phối hợp làm việc giữa 1RU và 2RU có thể bảo vệ được toàn bộ cuộn stator máy phát khi xảy ra chạm đất một pha.

Các tổng trở Z_1, Z_2 được chọn sao cho ở chế độ làm việc bình thường điện áp đặt lên 2RU bằng không, khi xảy ra chạm đất cuộn stator điện áp đặt lên role sẽ lớn hơn nhiều so với điện áp đặt của 2RU.

III.3.2. Phương pháp hướng dòng điện chạm đất: (hình1.16)

Phương pháp hướng dòng điện chạm đất có thể mở rộng vùng bảo vệ chống chạm đất khoảng 90% cuộn dây kể từ đầu cực máy phát.



HÌNH 1.16 : bảo vệ có hướng chống chạm đất cuộn dây stator thanh góp điện áp mfd

Rolle so sánh tương quan giữa dòng điện làm việc I_{LV} và dòng điện hãm I_H theo quan hệ :

$$\Delta I = I_H - I_{LV} \quad (1-48)$$

Trong đó:

$$I_H = I_U + I_D^1 \quad (1-49a)$$

$$I_{LV} = I_U - I_D^1 \quad (1-49b)$$

Với I_U là dòng điện lấy từ nguồn điện áp U_0 ; I_D^1 lấy từ bộ lọc dòng thứ tự không.

Từ đồ thị vectơ hình 1.16b ta có thể thấy rằng, điều kiện làm việc của bảo vệ được xác định theo dấu của ΔI , bảo vệ sẽ tác động cắt MC khi $\Delta I > 0$, nghĩa là $I_H > I_{LV}$ điều này được thoả mãn nếu chạm đất xảy ra trong vùng bảo vệ. Đường K-L trên đồ thị vectơ hình 1.16b là ranh giới giữa miền tác động và miền hãm của bảo vệ.

Nếu chuyển mạch khoá K (hình 1.16a) đầu vào điện áp U_0 qua điện trở R_1 thay cho tụ điện C_1 thì sơ đồ có thể sử dụng để bảo vệ cho các máy phát có trung tính nối đất qua điện trở lớn. Khi ấy thành phần tác dụng của dòng điện tác dụng sẽ được so sánh với thành phần phản kháng của dòng điện khi trung điểm cuộn dây máy phát không nối đất.

Nếu thành phần tác dụng và thành phần phản kháng của dòng điện chạm đất gần bằng nhau, người ta sử dụng sơ đồ có tên gọi là sơ đồ 45^0 khi ấy khoá K sẽ chuyển sang mạch R_2, C_2 với thông số được lựa chọn thích hợp.

Một phương án khác để thực hiện bảo vệ chống chạm đất cuộn dây stator máy phát có trung tính không nối đất hoặc nối đất qua điện trở lớn làm việc trực tiếp với thanh góp điện áp máy phát trình bày trên hình 1.17.

Trong phương án này người ta sử dụng thiết bị tạo thêm tải thứ tự không. Tải này được đưa vào làm việc khi phát hiện có chạm đất và làm tăng thành phần tác dụng của dòng điện sự cố lên khoảng 10A, tạo điều kiện thuận lợi cho việc xác định hướng dòng điện. Thiết bị tạo thêm tải bao gồm BI_{0N} đầu vào trung tính của máy phát, tải R của BI này được đóng mở bằng tiếp điểm của role điện áp RU_0 . Khi có chạm đất, điện áp U_0 xuất hiện, RU_0 đóng tức thời tiếp điểm của mình và duy trì một khoảng thời gian t_2 đủ cho sơ đồ làm việc chắc chắn.

Tỉ số biến đổi của BIG trong mạch thiết bị tạo thêm tải được chọn sao cho thành phần tác dụng của dòng điện đưa vào bộ so sánh pha α đủ để xác định đúng hướng sự cố. Hình 1.17b,c trình bày sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ để xác định hướng sự cố khi chạm đất xảy ra bên trong (hình 1.17b) và bên ngoài (hình 1.17c) cuộn dây stator máy phát.

Khi chạm đất ngoài vùng bảo vệ, dòng điện tổng I_Σ đưa vào bộ so sánh pha:

$$I_\Sigma = I_A - I_D^{(1)} \quad (1-50)$$

Trong đó:

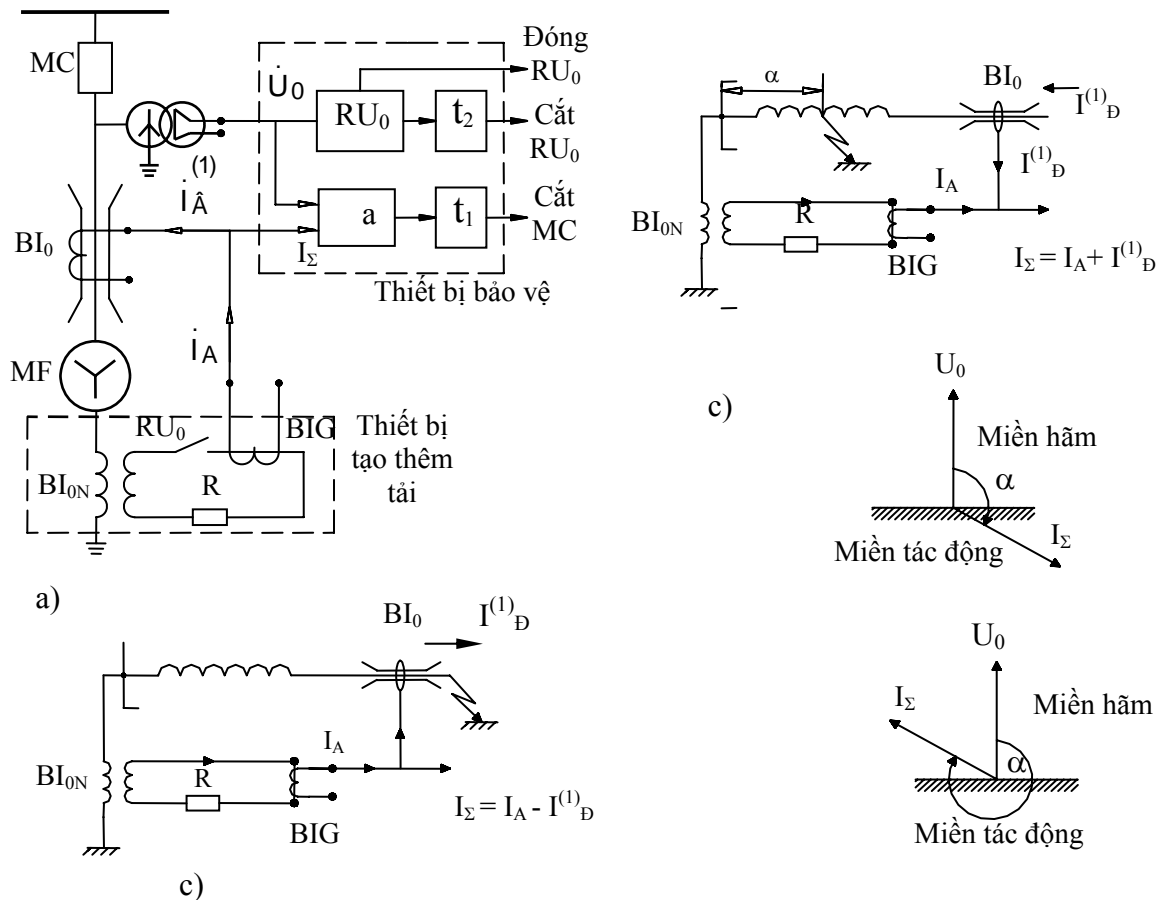
- I_A dòng điện được tạo nên bởi thiết bị tạo thêm tải.
- $I_D^{(1)}$ dòng điện chạm đất chạy qua bảo vệ.

Trong trường hợp này góc pha α giữa điện áp thứ tự không U_0 và dòng điện tổng I_Σ vượt qua trị số góc làm việc giới hạn nên sẽ không có tín hiệu cắt.

Khi chạm đất trong cuộn dây stator MFĐ ta có:

$$I_\Sigma = I_A + I_D^{(1)}$$

và góc pha α giữa điện áp thứ tự không U_0 và dòng điện tổng I_Σ nằm trong miền tác động của bảo vệ. Role tác động cắt với thời gian t_1 .



Hình 1.17 : Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất cuộn dây stator MFD có thiết bị tạo thêm tải (a) đồ thị vectơ khi có chạm đất ngoài (b) và trong (c) vùng bảo vệ.

Sơ đồ ở hình 1.17 có thể bảo vệ được 90% cuộn dây. Khi chạm đất trong vùng 10% còn lại (gần trung điểm) bảo vệ không đủ độ nhạy. Tuy nhiên, do điện áp ở phần này của cuộn dây không lớn (không vượt quá 10% U_p) nên xác suất xảy ra hỏng hóc về điện (chẳng hạn do cách điện bị đánh thủng) rất thấp nên ở các máy phát công suất bé người ta thường không đòi hỏi bảo vệ toàn bộ cuộn dây.

Đối với các MFD nối bộ với MBA, thông thường cuộn dây MBA phía máy phát đấu tam giác nên chạm đất ở phía cáo áp dòng thứ tự không không ảnh hưởng đến MFD.

Với các điểm chạm đất xảy ra trong mạng cấp điện áp máy phát có thể phát hiện bằng sự xuất hiện U_0 ở đầu cực tam giác hồ của BU đặt ở đầu cực MFD, hoặc đầu ra của MBA đấu với trung điểm của MFD.

Với các MFD công suất lớn, người ta yêu cầu phải bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất để ngăn ngừa khả năng chạm đất ở vùng gần trung điểm của cuộn dây do các nguyên nhân cơ học.

Ngày nay để bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất, người ta thường dùng hai phương pháp sau đây:

- Theo dõi sự biến thiên của hài bậc ba của sóng điện áp ở trung điểm và đầu cực MFD.
- Đưa thêm một điện áp hãm tần số thấp vào trung điểm của cuộn dây MFD.

* Phương theo dõi sự biến thiên của sóng hài bậc ba (xem mục III.3.1) có một số nhược điểm:

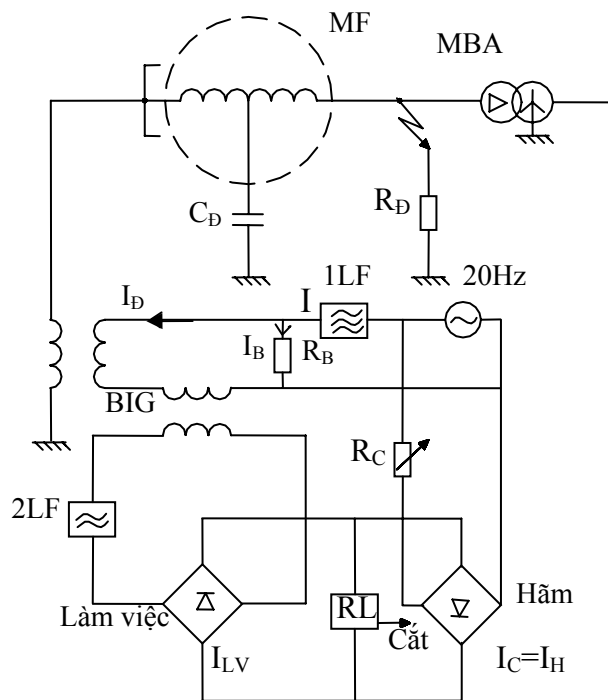
- Khi chạm đất ở vùng gần giữa cuộn dây, bảo vệ có thể không làm việc vì thành phần sóng hài bậc ba trong điện áp quá bé.
- Điện áp U_{ab} đặt vào rơle sẽ suy giảm khi điện trở chổ sự cố lớn.
- Sơ đồ không phát hiện được chạm đất khi MFD không làm việc. Trong một số MFD, thành phần hài bậc ba không đủ lớn để bảo vệ có thể phát hiện được.

Để khắc phục những nhược điểm này người ta dùng phương pháp đưa thêm một điện áp hãm tần số thấp vào mạch trung tính của MFĐ.

* Phương pháp đưa thêm một điện áp hãm tần số thấp vào trung điểm của cuộn dây MFĐ (hình 1.18):

- Dòng điện I từ nguồn 20Hz sau khi qua bộ lọc 1LF được phân thành hai thành phần I_D chạy qua BU_0 nối với trung tính MFĐ và I_B chạy qua điện trở đặt R_B . Thành phần I_D thông qua biến dòng trung gian BIG và bộ lọc tần số 2LF được nắn thành dòng điện làm việc.

- I_{LV} đưa vào role để so sánh với dòng điện hãm I_H cũng do nguồn 20Hz tạo nên thông qua điện trở đặt R_C , dòng điện hãm có trị số không đổi. Ở chế độ làm việc bình thường ($R_D = \infty$) dòng điện I_D được xác định theo điện dung của cuộn dây đối với đất C_D nên có trị số bé do đó $I_{LV} < I_H$ và role sẽ không tác động.



Hình 1.18: Sơ đồ bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất có đưa thêm điện áp hãm 20Hz vào trung điểm MFĐ

- Khi có chạm đất, dòng I_D được xác định chủ yếu theo điện trở chạm đất R_D , $I_{LV} > I_H$ role sẽ tác động cắt máy phát.

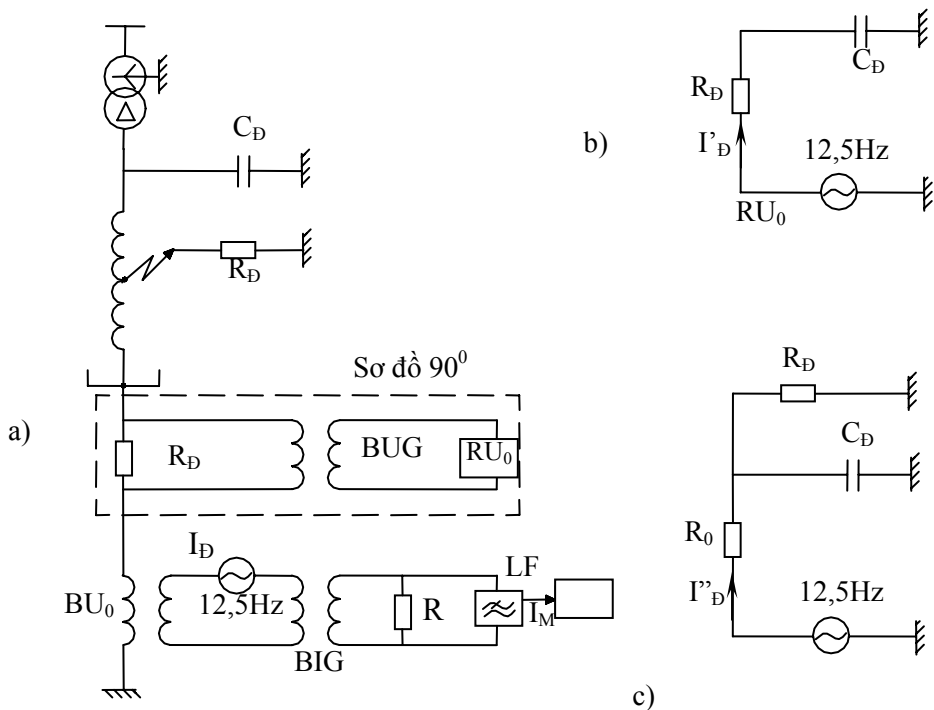
- Các bộ lọc tần số 1LF, 2LF đảm bảo cho sơ đồ chỉ làm việc với thành phần 20Hz, ngoài ra bộ lọc 1LF bảo vệ cho máy phát 20Hz khỏi bị quá tải bởi dòng điện công nghiệp khi có chạm đất xảy ra ở đầu cực MFĐ.

Một phương án khác để thực hiện bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất là dùng nguồn phụ 12,5Hz (với tần số công nghiệp là 60Hz người ta dùng 15Hz) có tín hiệu được mã hóa để đưa vào mạch sơ cấp thông qua BU_0 đầu vào mạch trung tính của MFĐ (hình 1.19a).

Trong chế độ làm việc bình thường, dòng điện I_D' chạy qua điểm trung tính MFĐ được xác định theo trị số điện dung đẳng trị của MFĐ là C_D (hình 1.19b).

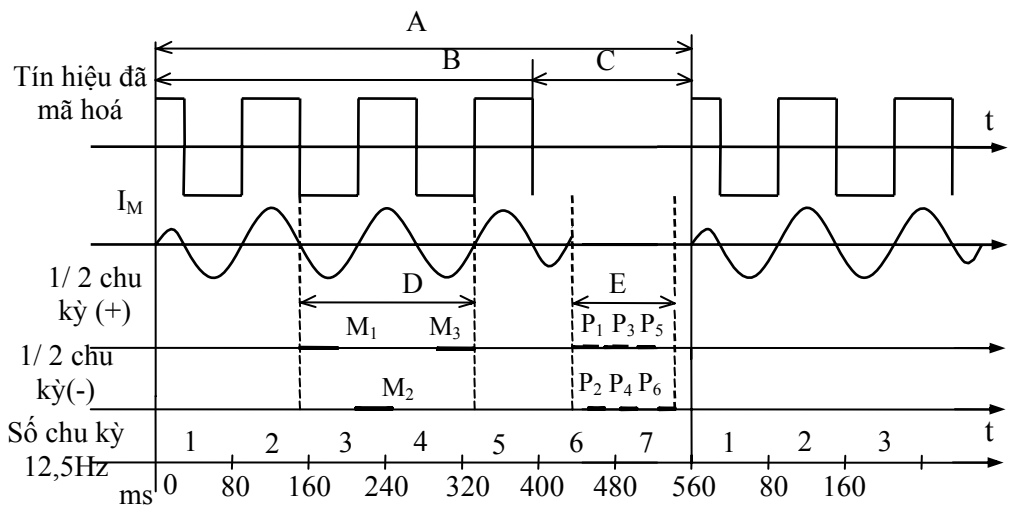
Khi xảy ra chạm đất, điện trở chạm đất R_D được ghép song song với C_D làm tăng dòng điện đến trị số $I_D'' > I_D'$ (hình 1.19c). Role đầu ra sẽ phản ứng theo sự tăng dòng điện và theo tín hiệu phản hồi đã được mã hóa.

Trên hình 1.20 trình bày việc mã hóa tín hiệu bằng cách thay đổi thời gian phát tín hiệu và thời gian dừng. Trong các khoảng thời gian này nhiều phép đo được tiến hành: M_1, M_2 và M_3 cho khoảng thời gian truyền tín hiệu và P_1, P_2, P_6 cho khoảng thời gian dừng. Phương pháp này cho phép loại trừ được ảnh hưởng của nhiễu do dòng điện phía sơ cấp và phép đo được tiến hành riêng cho từng nửa chu kỳ dương và âm sẽ tránh được ảnh hưởng của nhiễu có tần số bội của 12,5Hz.



Hình 1.19 : Sơ đồ nguyên lý (a) của bảo vệ 100% cuộn dây stator MFD chống chạm đất dùng biện pháp bơm tín hiệu 12,5Hz được mã hoá và sơ đồ xác định dòng điện chạm đất I_a khi làm việc bình thường (b) và khi chạm đất (c).

Các sơ đồ bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất thường được sử dụng kết hợp với sơ đồ bảo vệ 90% để tăng độ tin cậy cho hệ thống chạm đất.



Hình 1.20: Biểu đồ bơm tín hiệu 12,5Hz được mã hoá để thực hiện bảo vệ 100% cuộn dây stator chống chạm đất. A- chu kỳ hoạt động; B- thời gian phát tín hiệu; C- thời gian dừng; D- thời gian đo; E- thời gian kiểm tra tín hiệu phản hồi

IV. Bảo vệ chống chạm đất mạch kích từ của MFĐ (64)

Đối với MFĐ, do nguồn kích từ là nguồn một chiều nên khi chạm đất một điểm mạch kích từ các thông số làm việc của máy phát hầu như thay đổi không đáng kể. Khi chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ, một phần cuộn dây kích từ sẽ bị nối tắt, dòng điện qua chỗ cách điện bị đánh thủng có thể rất lớn sẽ làm hỏng cuộn dây và phân thân rotor. Ngoài ra dòng điện trong cuộn rotor tăng cao có thể làm mạch từ bị bão hòa, từ trường trong máy phát bị méo làm cho máy phát bị rung, ... gây hư hỏng nghiêm trọng máy phát.

Đối với MFĐ công suất bé và trung bình (máy phát nhiệt điện), thường người ta đặt bảo vệ báo tín hiệu khi có một điểm chạm đất trong mạch kích từ và tác động cắt máy phát khi xảy ra chạm đất điểm thứ hai.

Đối với MFĐ công suất lớn (máy phát thủy điện), hậu quả của việc chạm đất điểm thứ hai trong mạch kích từ có thể rất nghiêm trọng, vì vậy khi chạm đất một điểm trong cuộn dây rotor bảo vệ phải tác động cắt máy phát ra khỏi hệ thống.

IV.1 Bảo vệ chống chạm đất một điểm mạch kích từ:

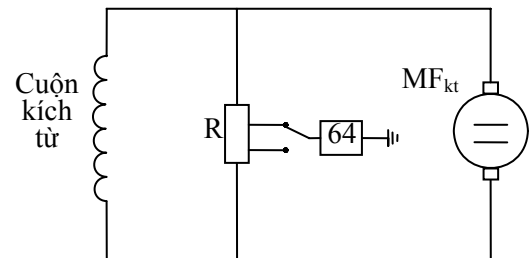
Có ba phương pháp được sử dụng để phát hiện chống chạm đất một điểm mạch kích từ :

- * Phương pháp phân thế.
- * Phương pháp dùng nguồn phụ AC.
- * Phương pháp dùng nguồn phụ DC.

IV.1.1 Phương pháp phân thế:

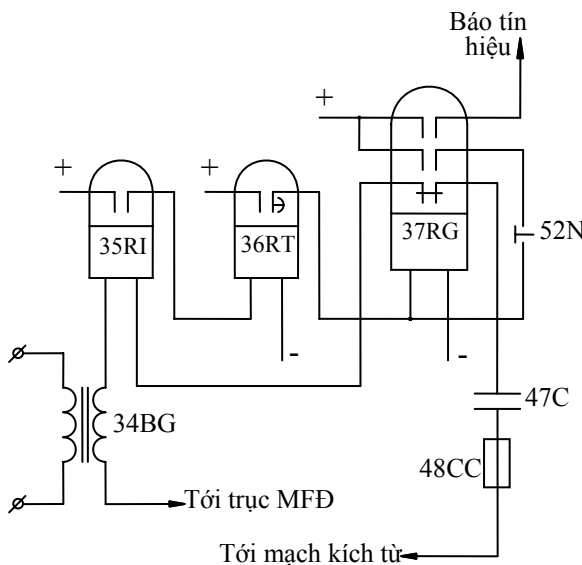
(hình 1.21)

Trong sơ đồ bảo vệ chống chạm đất cuộn dây rotor, người ta dùng điện trở mắc song song với cuộn dây kích từ, điểm giữa của điện trở nối qua rơle điện áp, khi có một điểm chạm đất sẽ xuất hiện một điện thế ở rơle điện áp, điện thế này lớn nhất khi điểm chạm đất ở đầu cuộn dây. Để tránh vùng chết khi điểm chạm đất ở gần trung tính cuộn dây kích từ, người ta chuyển nấc thay đổi điện đầu vào rơle tác động.

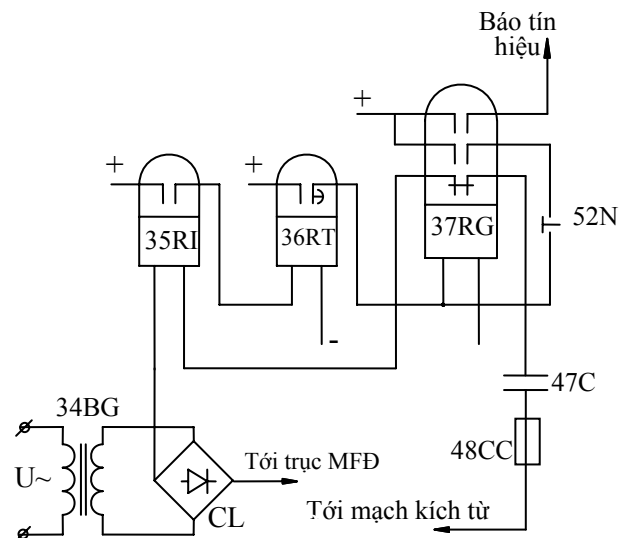


HÌNH 1.21 : Bảo vệ chạm đất rotor bằng phương pháp phân thế

IV.1.2. Phương pháp dùng nguồn điện áp phụ AC:



HÌNH 1.22: Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất 1 điểm cuộn rotor dùng nguồn điện phụ AC



HÌNH 1.23: Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất 1 điểm cuộn rotor dùng nguồn điện phụ DC

Sơ đồ bảo vệ được trình bày ở hình 1.22. Điện áp nguồn phụ xoay chiều thường bằng điện áp cuộn kích từ,

- 34BG: biến áp trung gian, lấy điện từ thanh góp tự dùng.
- 35 RI: role dòng điện, để phát hiện sự cố.
- 36RT: role thời gian, tạo thời gian trễ tránh trường hợp bảo vệ tác động nhầm khi ngắn mạch thoáng qua.

- 37RG: rơle trung gian.
- 52N: nút ấn giải trừ tự giữ.
- 47CC: cầu chì bảo vệ.
- 48C: tụ điện dùng để cách ly mạch kích từ một chiều với mạch xoay chiều.

Nguyên lý làm việc của sơ đồ như sau:

- Bình thường, phía thứ cấp của biến áp trung gian 34RG hở mạch do đó không có dòng qua role 35RI, bảo vệ không tác động.

- Khi xảy ra chạm đất một điểm mạch kích từ, thứ cấp của biến áp trung gian khép mạch, có dòng chạy qua role 35RI làm cho bảo vệ tác động đi báo tín hiệu.

Sơ đồ có ưu điểm là không có vùng chết nghĩa là chạm đất bất kỳ điểm nào trong mạch kích từ bảo vệ đều có thể tác động. Tuy nhiên do dùng nguồn xoay chiều nên phải chống sự xâm nhập điện áp xoay chiều vào nguồn kích từ một chiều.

IV.1.3 . Phương pháp dùng nguồn điện áp phụ DC:

Phương pháp này khắc phục được nhược điểm của phương pháp trên bằng sơ đồ hình 1.23, nhờ bộ chỉnh lưu điốt mà ta có thể cách li nguồn một chiều và nguồn xoay chiều.

Nguồn điện phụ một chiều cho phép loại trừ vùng chết và thực hiện bảo vệ 100% cuộn dây rotor chống chạm đất. Sơ đồ có nhược điểm là sự liên hệ trực tiếp về điện giữa thiết bị bảo vệ và điện áp kích từ U_{KT} có trị số khá lớn đối với các MFD có công suất lớn.

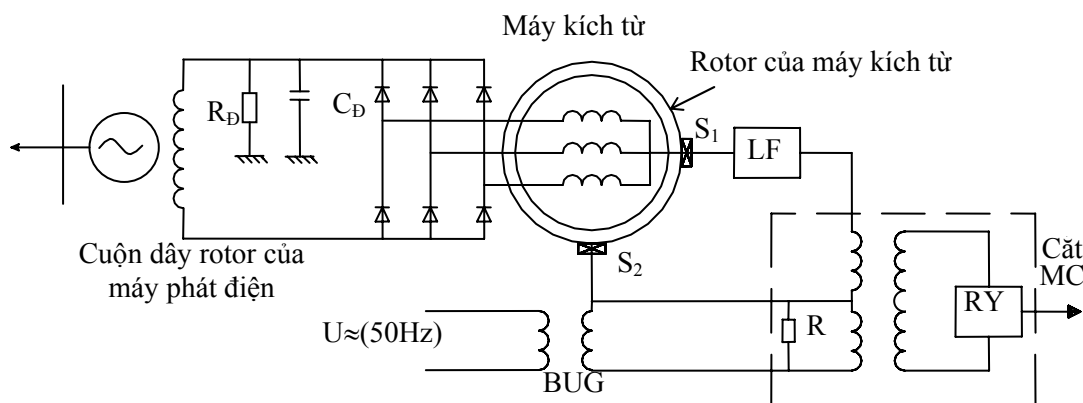
IV.2. Một số sơ đồ bảo vệ chống chạm đất một điểm trong các MFD hiện đại:

Đối với các MFD có hệ thống kích từ không chổi than với các điốt chỉnh lưu lắp trực tiếp trên thân rotor của máy phát, điện dung của hệ thống kích từ đối với đất sẽ tăng lên đáng kể và hệ thống bảo vệ chống chạm đất của cuộn dây rotor cũng trở nên phức tạp.

Các sơ đồ bảo vệ chống chạm đất một điểm trong cuộn dây rotor của các MFD hiện đại thường tác động cắt máy phát (để loại trừ xảy ra chạm đất điểm thứ hai) và dựa trên một trong những nguyên lý sau:

- Đo điện dẫn trong mạch kích từ (đối với đất) bằng tín hiệu điện áp xoay chiều tần số 50Hz.

- Đo điện trở của mạch kích từ (đối với đất) bằng tín hiệu điện áp một chiều hoặc tín hiệu sóng chữ nhật tần số thấp. Nguyên lý đo điện dẫn của mạch kích từ đối với đất của MFD có hệ thống kích từ không chổi than trình bày trên hình 1.24.



HÌNH 1.24: bảo vệ chống chạm đất cuộn rotor MFD có hệ thống kích từ không chổi than với điốt chỉnh lưu lắp trực tiếp trên thân rotor theo nguyên lý đo điện dẫn.

Nguồn điện áp phụ xoay chiều tần số 50Hz được đặt vào mạch trung tính của cuộn dây máy kích thích xoay chiều ba pha và thân rotor của MFD thông qua các vành góp và chổi than S_1, S_2 . Bộ lọc tần số LF chỉ cho tần số công nghiệp chạy qua role đo điện dẫn RY để loại trừ ảnh hưởng của hài bậc cao trong phép đo.

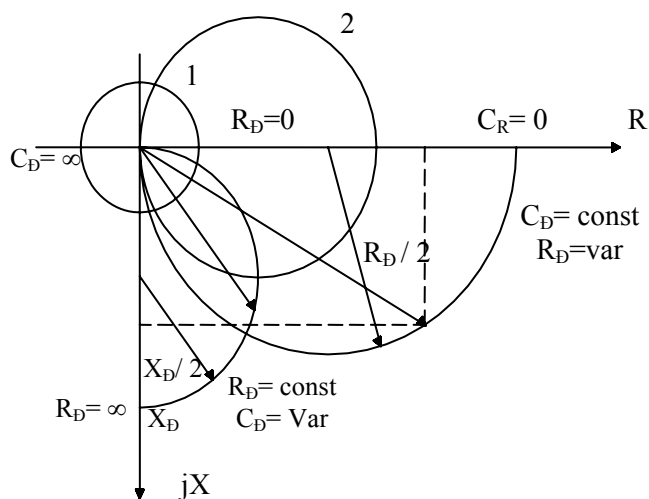
Điện dẫn mà role RY đo được chủ yếu xác định theo điện trở R_D và điện dung C_D đối với đất của mạch kích từ.

Trên hình 1.25 trình bày quỹ đạo của nút véctor tổng trở Z mà role đo được cho hai trường hợp: Khi $R_D = \text{const}, C_D = \text{var}$ và khi $C_D = \text{const}, R_D = \text{var}$.

Role RY được chỉnh định với hai mức tác động: mức cảnh báo với đặc tính khởi động 2 và mức tác động cắt máy phát với đặc tính khởi động 1. Đặc tính 1 bọc lấy một phần của góc phân tư thứ hai và thứ ba trên mặt phẳng tọa độ để đảm bảo cho bảo vệ tác động một cách chắc chắn khi có chạm đất trực tiếp ($R_D \approx 0$).

Sơ đồ bảo vệ hình 1.24 có một số nhược điểm là: sự có mặt của chổi than S_1, S_2 làm cho độ tin cậy của sơ đồ không cao và trị số của điện trở tiếp xúc có thể ảnh hưởng đến trị số đo của role. Ngoài ra bản thân hệ thống kích thích một chiều cũng có thể ảnh hưởng đến sự làm việc của bảo vệ khi điện dung của mạch kích thích đối với đất C_D lớn, điện trở rò R_D lớn nhất có thể đo được 10 k Ω .

Để khắc phục nhược điểm này, người ta dùng sơ đồ với nguồn điện phụ một chiều hoặc xoay chiều với tần số thấp có dạng sóng hình chữ nhật.



Hình 1.25: Đặc tính biên thiên của tổng trở đối với đất của mạch kích từ và đặc tính tác động của Role đo điện dẫn để chống chạm đất mạch roto MFD đồng bộ. 1- đặc tính cảnh báo; 2- đặc tính cắt máy phát.

Trên hình 1.26 trình bày nguyên lý phát hiện chạm đất trong cuộn dây rotor của MFD được kích thích từ nguồn điện tự dùng qua bộ chỉnh lưu Thyristor dùng nguồn tín hiệu sóng chữ nhật có tần số 1Hz.

Các điện trở phụ R_1, R_2 được chọn có chỉ số khá lớn so với điện trở R_M để tạo điện áp U_M đặt vào bộ phận đo lường M.

Dòng điện do nguồn điện phụ U tạo ra bằng:

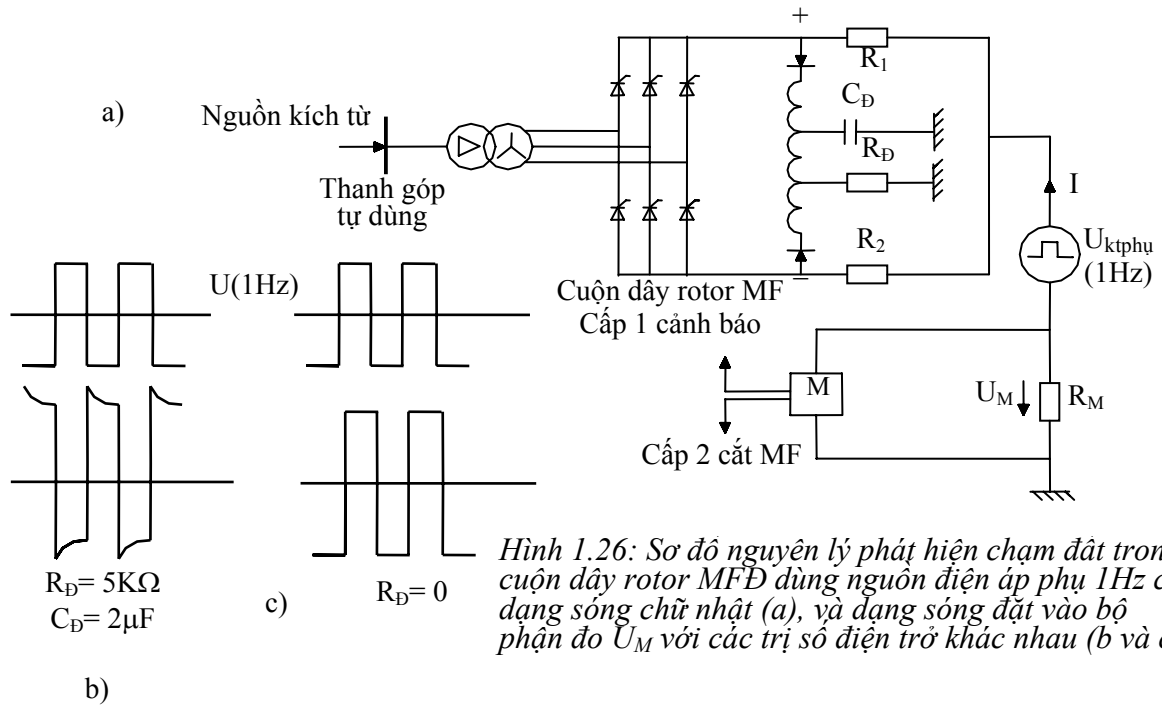
$$I = \frac{U}{R_A + R_M + R} \quad (1-51)$$

Trong đó:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Lưu ý rằng $R_M \ll R$ và bỏ qua điện trở của bản thân cuộn dây rotor, ta có:

$$U_M \approx \frac{U \cdot R_M}{R + R_A} \quad (1-52)$$

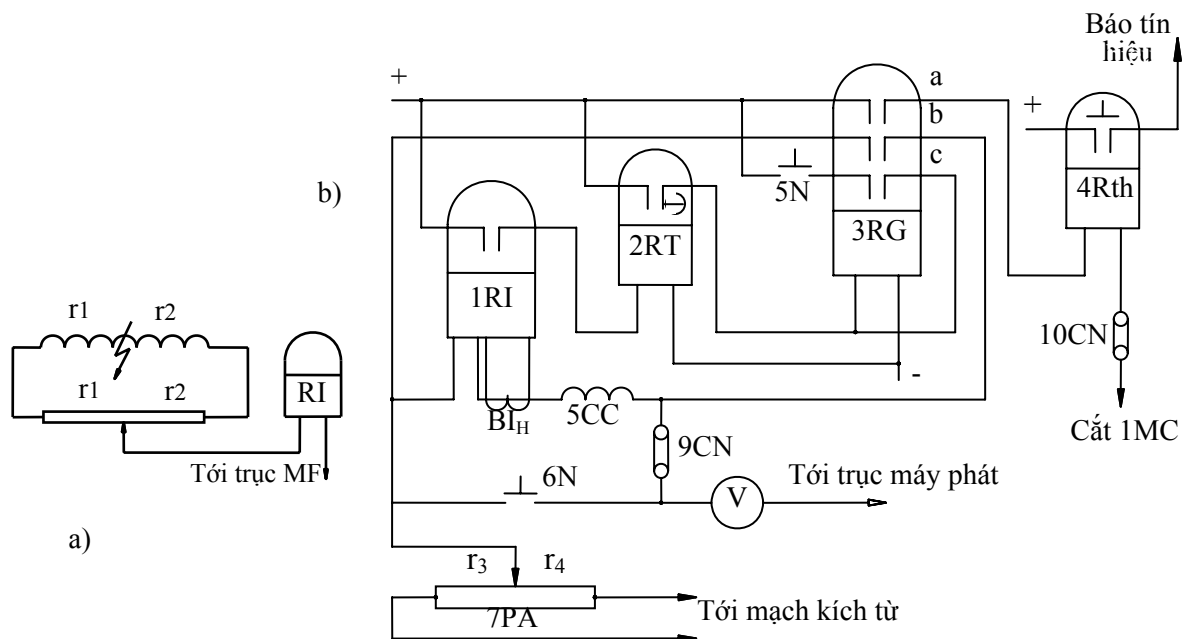


Điện dung đối với đất của mạch kích từ C_D mắc song song với điện trở R_D sẽ làm tức thời tăng trị số dòng điện I và điện áp U_M ở thời điểm đầu của mỗi nửa chu kỳ của nguồn điện áp U .

Điện trở R_D có tác dụng làm suy giảm trị số của I và U_M . R_D càng bé độ suy giảm càng nhanh, trên hình 1.26b và 1.26c trình bày dạng sóng U_M đo được cho hai trị số của R_D khác nhau.

Bảo vệ được chỉnh định để tác động báo hiệu khi điện trở rò R_D tụt dưới $80k\Omega$ (mức 1) và tác động cắt máy phát khi $R_D < 5k\Omega$ (mức 2).

IV.3. Bảo vệ chống chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ:



*Hình 1.27: Sơ đồ bảo vệ chống chạm đất thứ hai mạch kích từ
a) Sơ đồ nguyên lý b) Sơ đồ bảo vệ*

Bảo vệ chống chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ (hình 1.27) được đưa vào làm việc sau khi có tín hiệu báo chạm đất một điểm mạch kích từ. Thường bảo vệ được đặt trên một bảng di động và được dùng chung cho nhiều tổ máy của nhà máy. Bảo vệ làm việc dựa trên nguyên tắc cầu bốn nhánh: Khi chạm đất một điểm mạch kích từ, người ta điều chỉnh cho cầu cân bằng nhờ đồng hồ V. Khi cầu cân bằng ta có: $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$, do đó không có dòng qua 1RI, bảo vệ không tác động.

Khi chạm đất điểm thứ hai mạch kích từ sẽ làm cho cầu mất cân bằng, có dòng qua 1RI và 2RT có điện, sau một thời gian 3RG có điện đi báo tín hiệu thông qua 4Rth, cắt máy cắt đồng thời nối tắt cuộn dây của 1RI để tránh bị hư hỏng và tự giữ cho 3RG thông qua mạch tự giữ.

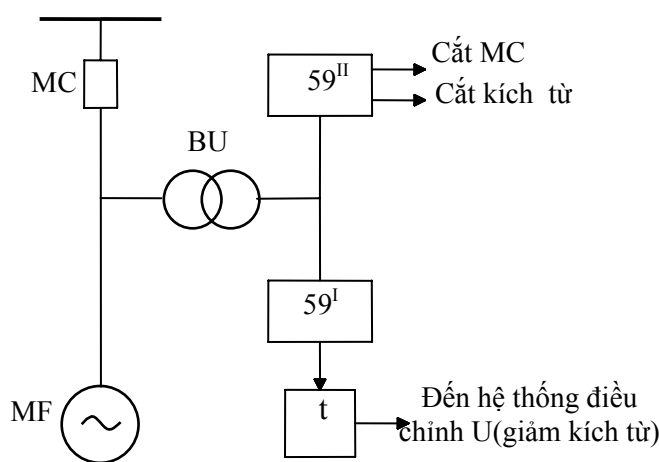
Các phần tử trong sơ đồ:

- 3RG: rơle trung gian, bao gồm các tiếp điểm:
 - Tiếp điểm a: đưa tín hiệu đi cắt máy phát.
 - Tiếp điểm b: để bảo vệ RI không bị cháy (nối tắt RI).
 - Tiếp điểm c: tiếp điểm tự giữ.
- BI_H: lấy thành phần xoay chiều của nhiễu để tăng cường tác động hãm cho RI.
- 9CN: cầu nối, dùng để khoá bảo vệ khi sửa chữa hoặc không muốn bảo vệ tác động.
- 6N: nút ấn, kết hợp với đồng hồ V để điều chỉnh cho cầu cân bằng khi xảy ra chạm đất điểm thứ nhất mạch kích từ.
- 5N: nút ấn, để giải tự giữ sau khi bảo vệ đã tác động đi cắt máy cắt.
- 5CC: cuộn cảm nhằm hạn chế thành phần nhiễu xoay chiều, tránh làm cho RI tác động nhầm.
- 10CN: khoá bảo vệ không cho cắt máy cắt.

V. Bảo vệ chống quá điện áp (59)

Điện áp ở đầu cực máy phát có thể tăng cao quá mức cho phép khi có trục trặc trong hệ thống tự động điều chỉnh kích từ hoặc khi máy phát bị mất tải đột ngột.

Khi mất tải đột ngột, điện áp ở đầu cực các máy phát thủy điện có thể đạt đến 200% trị số danh định là do hệ thống tự động điều chỉnh tốc độ quay của turbine nước có quán tính lớn và khả năng vượt tốc của rotor máy phát cao hơn nhiều so với máy phát turbine hơi.



Hình 1.28: Bảo vệ chống quá điện áp hai cấp đặt ở MFĐ

Ở các máy phát nhiệt điện (turbine hơi hoặc turbine khí) các bộ điều tốc làm việc với tốc độ cao, có quán tính bé hơn nên có thể khống chế mức vượt tốc thấp hơn, ngoài ra các turbine khí hoặc hơi còn được trang bị các van STOP đóng nguồn năng lượng đưa vào turbine trong vòng vài msec khi mức vượt tốc cao hơn mức chỉnh định.

Mặt khác, các máy phát thủy điện nằm xa trung tâm phụ tải và bình thường phải làm việc với các mức điện áp đầu cực cao hơn điện áp danh định để bù lại điện áp giáng trên hệ thống truyền tải, khi mất tải đột ngột mức điện áp lại càng tăng cao.

Quá điện áp ở đầu cực máy phát có thể gây tác hại cho cách điện của cuộn dây, các thiết bị dầu nổi ở đầu cực máy phát, còn đối với các máy phát làm việc hợp bộ với MBA sẽ làm bão hoà mạch từ của MBA tăng áp, kéo theo nhiều tác dụng xấu.

Bảo vệ chống quá điện áp ở đầu cực máy phát thường gồm hai cấp hình 1.28.

* Cấp 1 (59^I) với điện áp khởi động: $U_{KD59}^I = 1,1U_{Fdm}$ (điện áp định mức MFĐ).
Cấp 1 làm việc có thời gian và tác động lên hệ thống tự động điều chỉnh kích từ để giảm kích từ của máy phát.

* Cấp 2 (59^{II}) với điện áp khởi động: $U_{KD59}^{II} = (1,3 \div 1,5)U_{Fdm}$. Cấp 2 làm việc tức thời, tác động cắt MC ở đầu cực máy phát và tự động diệt từ trường của máy phát.

VI. Bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải

Mục đích đặt bảo vệ:

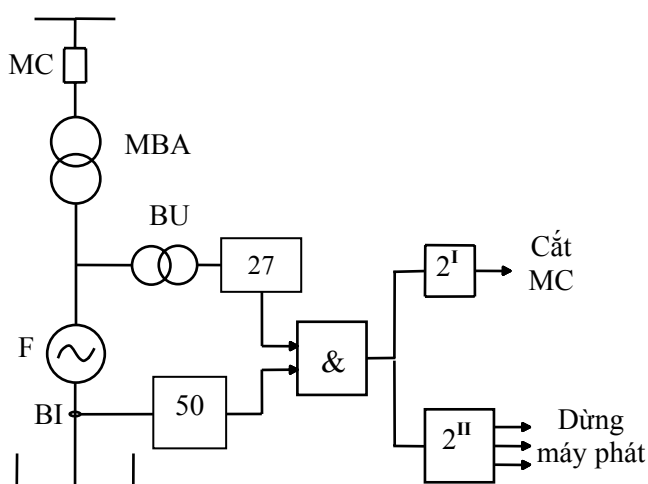
- Chống ngắn mạch trên các phần tử kề (thanh góp máy phát, máy biến áp,...) nếu bảo vệ của các phần tử này không làm việc.
- Chống quá tải do hệ thống cắt giảm một số nguồn cung cấp.
- Làm dự trữ cho BVSLD máy phát điện.

Để thực hiện bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải ta có thể sử dụng các phương thức bảo vệ sau:

VI.1. Bảo vệ quá dòng điện:

Với các máy phát bé và trung bình, người ta thường sử dụng bảo vệ quá dòng điện có khoá điện áp thấp (hình 1.29). Bảo vệ thường có 2 cấp thời gian:

Cấp 1 (2^I) tác động cắt MC ở đầu cực máy phát (nếu nối với thanh góp điện áp máy phát) hoặc MC của bộ MF-MBA. Cấp 1 được phối hợp với thời gian tác động của bảo vệ dự phòng của đường dây và MBA.



Hình 1.29: Bảo vệ quá dòng điện có khoá điện áp thấp

Cấp 2 (2^{II}) tác động dừng máy phát nếu sau khi cắt MC đầu cực máy phát (có thanh góp điện áp máy phát) hoặc đầu hợp bộ (MF-MBA) mà dòng sự cố vẫn tồn tại (tức là sự cố xảy ra bên trong hợp bộ hoặc máy phát).

Khóa điện áp thấp cho phép phân biệt ngắn mạch với quá tải và cho phép bảo vệ làm việc chắc chắn khi máy phát được kích từ bằng chính lưu lấy điện từ đầu cực máy phát. Trong trường hợp này dòng ngắn mạch sẽ suy giảm nhanh chóng khi xảy ra ngắn mạch tại đầu cực máy phát. Trong một số sơ đồ người ta còn dùng biện pháp đảm bảo cho bảo vệ tác động chắc chắn là chỉ lấy tín hiệu điện áp thấp sau khi role dòng điện đã trở về do sự suy giảm dòng ngắn mạch.

Dòng điện khởi động của role quá dòng 50 (khi bảo vệ quá dòng có khoá điện áp thấp 27):

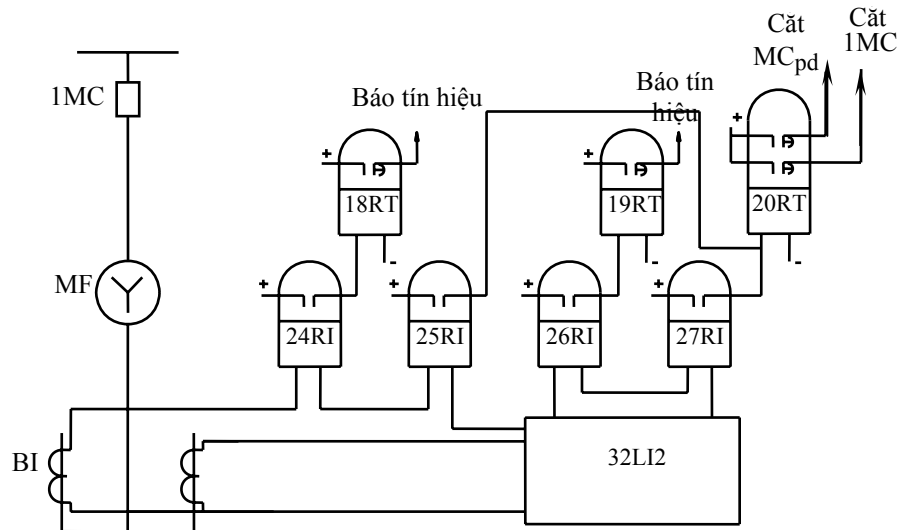
$$I_{K\Delta 50} = \frac{K_{at}}{K_{tv} n_I} I_{lv \max} \quad (1-53)$$

với $I_{lv \max}$ là dòng điện làm việc lớn nhất qua cuộn thứ cấp của BI.

VI.2. Bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải MFD:

Quá tải gây phát nóng cuộn dây stator có thể do nhiều nguyên nhân như máy phát điện vận hành với hệ số công suất thấp, thành phần công suất phản kháng vượt quá mức cho phép, có hư hỏng trong hệ thống làm mát hoặc hệ thống điều chỉnh điện áp làm cho máy phát bị quá kích thích. Cuộn dây rotor cũng có thể bị quá tải ngắn hạn trong quá trình điều chỉnh điện áp khi máy phát đầy tải công suất tác dụng.

Thời gian chịu đựng quá tải của các cuộn dây máy phát có giới hạn và phụ thuộc vào mức độ quá tải, kết cấu của máy phát, hệ thống làm mát và công suất của máy phát. Thường các nhà chế tạo cho sẵn quan hệ giữa mức quá tải ($I^* = I/I_{dm}$) với thời gian quá tải cho phép của từng loại máy phát điện.



Hình 1.30: Sơ đồ bảo vệ chống quá tải và ngắn mạch ngoài

Có nhiều nguyên lý khác nhau có thể được áp dụng để thực hiện bảo vệ chống quá tải cho cuộn dây của máy phát điện: theo số đo trực tiếp của nhiệt độ cuộn dây, nhiệt độ của chất làm mát hoặc gián tiếp qua trị số dòng điện chạy qua cuộn dây.

Để bảo vệ chống ngắn mạch ngoài và quá tải cho máy phát người ta có thể sử dụng sơ đồ hình 1.30, thực chất đây cũng là một bảo vệ quá dòng.

Trong đó:

- 24RI, 18RT; 25RI, 20RT: để chống quá tải và ngắn mạch đối xứng.
- 26RI, 19RT; 27RI, 20RT: chống quá tải và ngắn mạch không đối xứng.
- 32LI₂: bộ lọc dòng thứ tự nghịch (để nâng cao độ nhạy cho bảo vệ, thường dùng cho các máy phát có công suất lớn).

VI.3. Tính chọn các thông số của role:

VI.3.1. Bảo vệ chống quá tải đối xứng 24RI, 18RT:

Dòng điện khởi động của 24RI:

$$I_{K\hat{A}24RI} = \frac{K_{at} \cdot I_{âmF}}{K_{tv} \cdot n_I} \quad (1-54)$$

Thời gian tác động của 18RT:

$$t_{18RT} = (7 \div 9) \text{ sec} \quad (1-55)$$

VI.3.2. Bảo vệ chống ngắn mạch đối xứng 25RI, 20RT:

$$I_{K\hat{A}4RI} = \frac{K_{at} \cdot K_{mm} \cdot I_{âmF}}{K_{tv} \cdot n_I} \quad (1-56)$$

$$t_{20RT} = t_{\max \text{ các phần tử lân cận}} + \Delta t \quad (1-57)$$

VI.3.3. Bảo vệ chống quá tải không đối xứng 26RI, 19RT:

Dòng điện khởi động cho role 26RI được chọn theo hai điều kiện:

□ Điều kiện 1: I_{KD26RI} phải lớn hơn dòng thứ tự nghịch lâu dài cho phép I_{2cp} :

$$I_{K\hat{A}26RI} = K_{at} \cdot I_{2cp} \quad (1-58)$$

- Đối với máy phát điện turbine nước: $I_{2cp} = 5\% \cdot I_{dmF}$

- Đối với máy phát điện turbine hơi: $I_{2cp} = 10\% \cdot I_{dmF}$

□ Điều kiện 2: Role phải trở về sau khi đã cắt ngắn mạch ngoài.

Từ hai điều kiện trên và theo kinh nghiệm người ta chọn:

$$I_{K\hat{A}26RI} = 0,1 \cdot \frac{I_{\hat{a}mF}}{n_1} \quad (1-59)$$

Thời gian tác động của 19RT thường được chọn:

$$t_{19RT} = (7 \div 9) \text{ sec} \quad (1-60)$$

VI.3.4. Bảo vệ chống ngắn mạch không đối xứng 27RI, 20RT:

Dòng khởi động của 27RI chọn theo các điều kiện sau:

□ Điều kiện 1: Bảo vệ không được tác động khi đứt một pha trong hệ thống nối với nhà máy.

□ Điều kiện 2: Bảo vệ phải phối hợp độ nhạy với các bảo vệ lân cận.

Trên thực tế tính toán dòng thứ tự nghịch khá phức tạp, theo kinh nghiệm người ta chọn:

$$I_{K\hat{A}26RI} = (0,5 \div 0,6) \frac{I_{\hat{a}mF}}{n_1} \quad (1-61)$$

từ giá trị dòng khởi động tính được ta có thể chọn được role thích hợp.

Thời gian tác động của role 20RT phải phối hợp với các bảo vệ lân cận:

$$t_{20RT} = t_{\max \text{ các phần tử lân cận}} + \Delta t \quad (1-62)$$

VI.3.5. Kiểm tra độ nhạy của bảo vệ:

Độ nhạy K_n của bảo vệ được tính theo công thức sau:

$$K_n = \frac{I_{N\min}}{I_{K\hat{A}B}} \quad (1-63)$$

Tùy vào nhiệm vụ của bảo vệ mà giá trị độ nhạy của bảo vệ phải đạt yêu cầu. Khi làm bảo vệ chính $K_n \geq 1,5$ và khi đóng vai trò làm bảo vệ dự trữ $K_n \geq 1,2$.

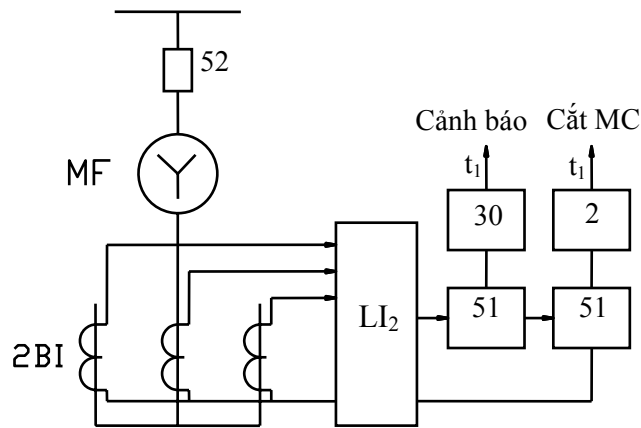
VI.4. Bảo vệ dòng thứ tự nghịch: (hình 1.31)

Dòng điện thứ tự nghịch có thể xuất hiện trong cuộn dây stator máy phát khi xảy ra đứt dây (hoặc hở mạch một pha), khi phụ tải không đối xứng hoặc ngắn mạch không đối xứng trong hệ thống.

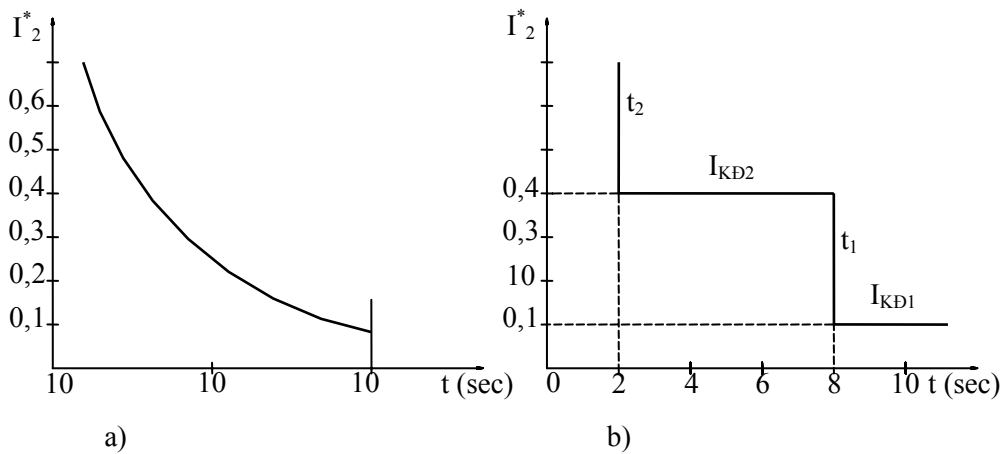
Quá tải không đối xứng nguy hiểm hơn quá tải đối xứng rất nhiều vì nó tạo nên từ thông thứ tự nghịch ϕ_2 biến thiên với vận tốc 2ω gấp hai lần tốc độ của rotor, làm cảm ứng trên thân rotor dòng điện lớn đốt nóng rotor và máy phát.

Dòng thứ tự nghịch I_2 càng lớn thì thời gian cho phép tồn tại càng bé, vì vậy bảo vệ chống dòng điện thứ tự nghịch có thời gian tác động t phụ thuộc tỉ lệ nghịch với dòng I_2 :

$$t = \frac{K_1}{\left(\frac{I_2}{I_{\hat{a}mF}}\right)^2 - K_2^2} \quad (1-64)$$



HÌNH 1.31: Bảo vệ dòng điện TTN cho máy phát



HÌNH 1.32: ĐẶC TÍNH THỜI GIAN PHỤ THUỘC (A) VÀ ĐỘC LẬP CÓ HAI

Trong đó:

$$-K_1, K_2 \text{ là hệ số tỉ lệ, } K_2 = \alpha \frac{I_{2cp}}{I_{âmF}}$$

với:

- α là hằng số đối với từng loại role cụ thể.
- I_{2cp} : dòng thứ tự nghịch cho phép vận hành lâu dài, nó phụ thuộc vào chủng loại máy phát, công suất và hệ thống làm mát của cuộn dây rotor.
- $I_{âmF}$: dòng điện định mức của máy phát.

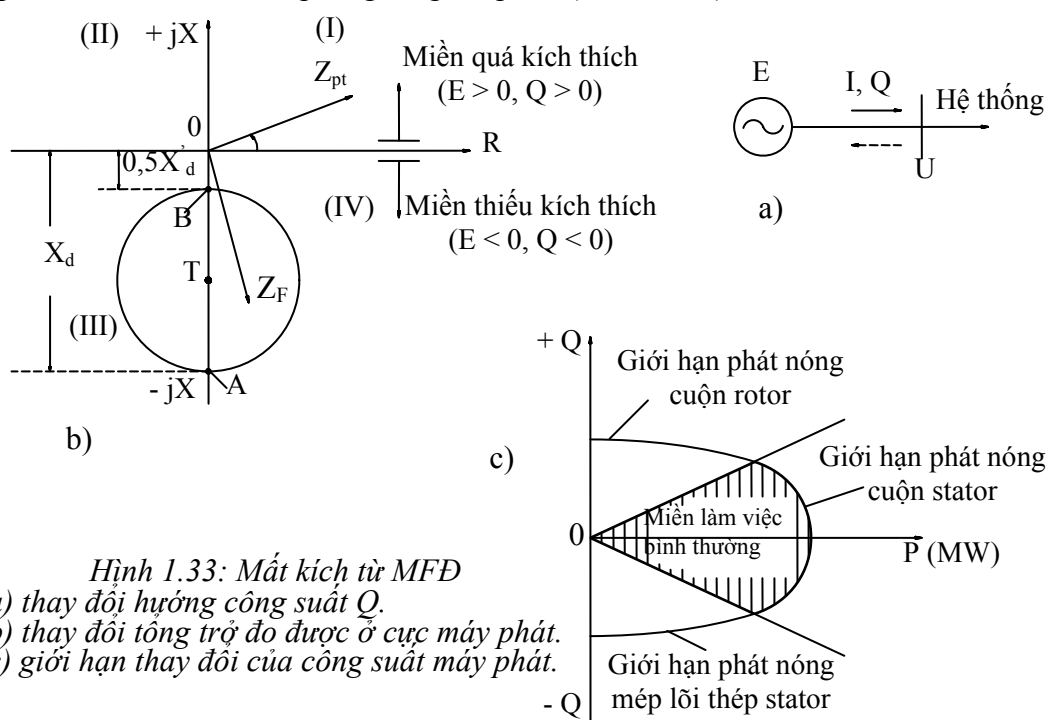
$$- I_2^*: \text{ dòng thứ tự nghịch tương đối, } I_2^* = \frac{I_2}{I_{âmF}}$$

Bảo vệ có thể có đặc tính thời gian phụ thuộc tỉ lệ nghịch theo quan hệ $t = f(I_2)$ (hình 1.32a) hoặc đặc tính thời gian độc lập 2 cấp (hình 1.32b): cấp 1 cảnh báo và cấp 2 đi cắt máy cắt.

VII. BẢO VỆ CHỐNG MẮT KÍCH TỪ

Trong quá trình vận hành máy phát điện có thể xảy ra mất kích từ do hư hỏng trong mạch kích thích (do ngắn mạch hoặc hở mạch), hư hỏng trong hệ thống tự động điều chỉnh điện áp, thao tác sai của nhân viên vận hành... Khi máy phát bị mất kích từ thường dẫn đến mất đồng bộ ở stator và rotor. Nếu hở mạch kích thích có thể gây quá điện áp trên cuộn rotor nguy hiểm cho cách điện cuộn dây.

Ở chế độ vận hành bình thường, máy phát điện đồng bộ làm việc với sức điện động E cao hơn điện áp đầu cực máy phát U_F (chế độ quá kích thích, đưa công suất phản kháng Q vào hệ thống, $Q > 0$). Khi máy phát làm việc ở chế độ thiếu kích thích hoặc mất kích thích, sức điện động E thấp hơn điện áp U_F , máy phát nhận công suất phản kháng từ hệ thống ($Q < 0$) (hình 1.33a,c). Như vậy khi mất kích từ, tổng trở đo được đầu cực máy phát sẽ thay đổi từ Z_{pt} (tổng trở phụ tải nhìn từ phía máy phát) nằm ở góc phân tư thứ nhất trên mặt phẳng tổng trở phức sang Z_F (tổng trở của máy phát nhìn từ đầu cực của nó trong chế độ $Q < 0$) nằm ở góc phân tư thứ tư trên mặt phẳng tổng trở phức (hình 1.33b).



Hình 1.33: Mất kích từ MFĐ

- a) thay đổi hướng công suất Q .
 b) thay đổi tổng trở đo được ở cực máy phát.
 c) giới hạn thay đổi của công suất máy phát.

Khi xảy ra mất kích từ, điện kháng của máy phát sẽ thay đổi từ trị số X_d (điện kháng đồng bộ) đến trị số X_d (điện kháng quá độ) và có tính chất dung kháng. Vì vậy để phát hiện mất kích từ ở máy phát điện, chúng ta có thể sử dụng một rơle điện kháng cực tiêu có $X_d < X_{kd} < X_d$ với đặc tính vòng tròn có tâm nằm trên trục $-jX$ của mặt phẳng tổng trở phức. Đặc tính khởi động của rơle điện kháng cực tiêu hình 1.33b có thể nhận được từ sơ đồ nguyên lý hình 1.34a. Tín hiệu đầu vào của rơle là điện áp dây U_{bc} lấy ở đầu cực máy phát và dòng điện pha I_b, I_c lấy ở các pha tương ứng. Điện áp sơ cấp U_{BC} được đưa qua biến áp trung gian BÙG sao cho điện thứ cấp có thể lấy ra các đại lượng $a.U_{BC}$ và $b.U_{BC}$ (với $b > a$) tương ứng với các điểm A và B trên đặc tính điện kháng khởi động ở hình 1.33b.

Khi mất kích từ, dòng điện chạy vào máy phát mang tính chất dung và vượt trước điện áp pha tương ứng một góc 90° . Hiệu dòng điện các pha B và C thông qua biến dòng cảm kháng BIG tạo nên điện áp phía thứ cấp U_D vượt trước dòng điện I_{BC} một góc 90° . Như vậy góc lệch pha giữa hai vectơ điện áp U_D và U_{BC} là 180° (hình 1.34).

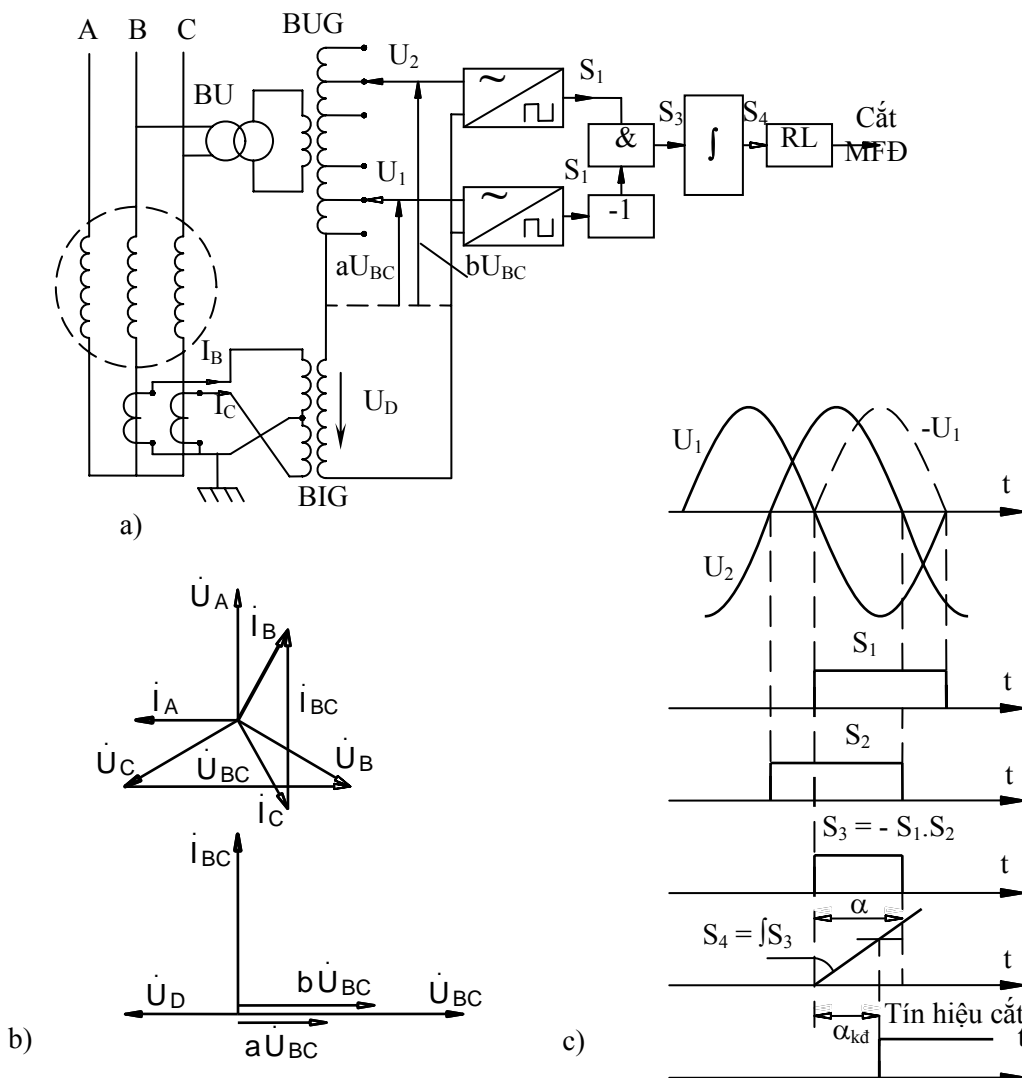
Điện áp đưa vào các bộ biến đổi dạng sóng (hình sin sang hình chữ nhật) S_1 và S_2 tương ứng bằng:

$$\dot{U}_1 = a.\dot{U}_{BC} - \dot{U}_D \quad (1-65)$$

$$\dot{U}_2 = b.\dot{U}_{BC} - \dot{U}_D \quad (1-66)$$

Góc lệch pha α giữa \dot{U}_1 và \dot{U}_2 sẽ được kiểm tra. Ở chế độ bình thường $\alpha = 0^\circ$, role không làm việc. Khi bị mất kích từ $\alpha = 180^\circ$, role sẽ tác động. Góc khởi động được chọn khoảng 90° . Các hệ số a, b được chọn (bằng cách thay đổi đầu phân áp của BUG) sao cho các điểm A và B trên hình 1.34b thoả mãn điều kiện:

$$b \cdot \dot{U}_{BC} > \dot{U}_D > a \cdot \dot{U}_{BC} \quad (1-67)$$



HÌNH 1.34: Sơ đồ bảo vệ chống mất kích từ máy phát điện dùng role điện kháng cực tiểu a) sơ đồ nguyên lý; b) đồ thị vectơ; c) dạng sóng của các đại lượng

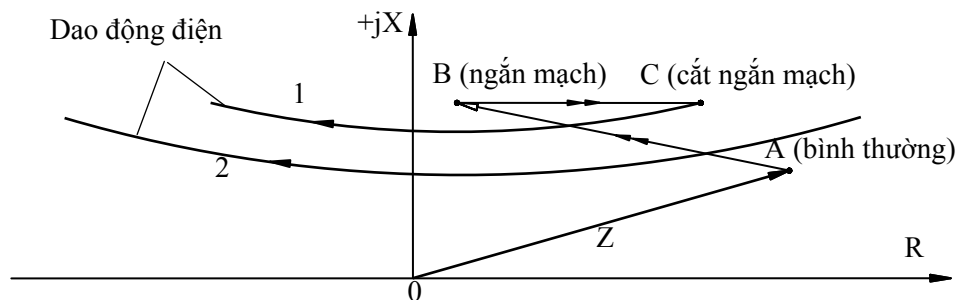
Khi mất kích thích, góc pha dòng điện thay đổi, góc lệch pha α được kiểm tra thông qua độ dài của tín hiệu $S_3 = -S_1 \cdot S_2$. Nếu $\alpha > \alpha_{kd}$ (hình 1.34c) bảo vệ sẽ tác động đi cắt máy phát trong khoảng thời gian từ $(1 \div 2)$ sec.

VIII. BẢO VỆ CHỐNG MẤT ĐỒNG BỘ

Bảo vệ chống mất đồng bộ đôi khi còn có tên gọi là bảo vệ chống trượt cực từ. Khi máy phát điện đồng bộ bị mất kích từ, rotor máy phát có thể bị mất đồng bộ với từ trường quay. Việc mất đồng bộ cũng có thể xảy ra khi có dao động công suất trong hệ thống điện do sự cô kéo dài hoặc do cắt một số đường dây trong hệ thống. Hậu quả của việc mất đồng bộ gây nên sự dao động công suất trong hệ thống có thể làm mất ổn định kéo theo sự tan rã hệ

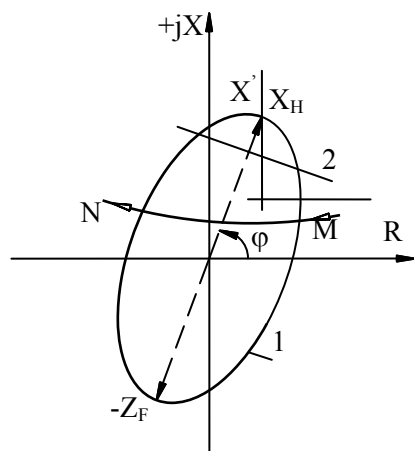
thông điện, ngoài ra nó còn tạo ra các ứng suất cơ nguy hiểm trên một số phần tử của máy phát. Để phát hiện sự cố này có thể sử dụng nguyên lý đo tổng trở đầu cực máy phát.

Trên hình 1.35 trình bày đặc tính biến thiên của mút vectơ tổng trở đo được trên đầu cực máy phát trong quá trình sự cố và xảy ra dao động điện trong hệ thống. Ở chế độ vận hành bình thường, mút vectơ tổng trở nằm ở vị trí điểm A. khi xảy ra ngắn mạch mút vectơ dịch chuyển từ A đến B, sau khi bảo vệ cắt ngắn mạch vectơ tổng trở nhảy từ B sang C và nếu xảy ra dao động, mút vectơ ở chu kỳ đầu tiên sẽ dịch chuyển theo quỹ đạo 2... Hành vi này của vectơ tổng trở khi có dao động điện có thể được phát hiện bằng một rơle với đặc tính khởi động như trên hình 1.36. Đặc tính khởi động có dạng hình elíp hoặc thấu kính 1 và dạng điện kháng 2 kết hợp với nhau theo nguyên lý "và". Khi có dao động nếu quỹ đạo của mút vectơ Z đi vào miền khởi động ở điểm M và ra khỏi miền khởi động ở điểm N dưới đặc tuyến 2 (hình 1.37) có nghĩa là tâm dao động (tâm điện) nằm trong miền tổng trở của bộ MF-MBA, bảo vệ sẽ tác động cắt máy phát ngay trong chu kỳ dao động đầu tiên.

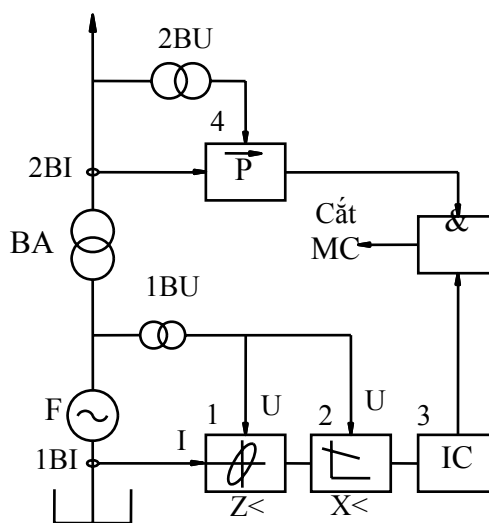


HÌNH 1.35: Hành trình của vectơ tổng trở Z khi xảy ra sự cố và dao động

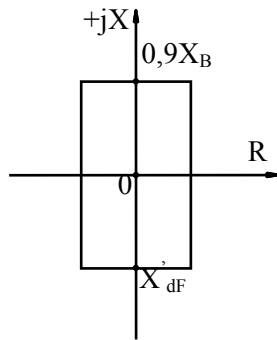
Nếu tâm dao động nằm ở phía hệ thống quỹ đạo của mút vectơ Z sẽ nằm cao hơn đặc tuyến 2, khi ấy bảo vệ sẽ tác động cắt sau một số chu kỳ định trước. Trên hình 1.37 trình bày sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống trượt cực từ, bảo vệ gồm bộ phận đo khoảng cách với đặc tuyến thấu kính 1 kết hợp với bộ phận hạn chế theo điện kháng 2 để giới hạn miền tác động từ phía hệ thống, bộ phận đếm chu kỳ dao động 3 để cắt máy phát khi số chu kỳ đạt trị số đặt trước. Ở phía cao áp của MBA tăng có đặt thêm bộ phận định hướng công suất 4 thực hiện chức năng giống như bộ phận 2 và làm nhiệm vụ dự phòng cho bộ phận này. Thay vì đặc tuyến tổng trở kết hợp 1 và 2 trên hình 1.36 người ta có thể sử dụng đặc tuyến hình chữ nhật như trên hình 1.38 để phát hiện dao động điện.



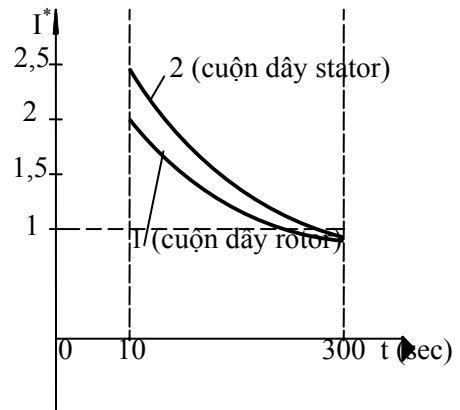
HÌNH 1.36: Đặc tính khởi động hình thấu kính để phát hiện dao động điện



HÌNH 1.37: Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống trượt cực từ (dao động điện)



HÌNH 1.38: Đặc tính khởi động hình chữ nhật để phát hiện dao động điện



HÌNH 1.39: Quan hệ giữa mức quá tải và thời gian quá tải cho phép của các cuộn dây máy phát

IX. bảo vệ chống luồng công suất ngược

Công suất sẽ đổi chiều từ hệ thống vào máy phát nếu việc cung cấp năng lượng cho Turbine (dầu, khí, hơi nước hoặc dòng nước...) bị gián đoạn. Khi đó máy phát điện sẽ làm việc như một động cơ tiêu thụ công suất từ hệ thống. Nguy hiểm của chế độ này đối với các máy phát nhiệt điện là Turbine sẽ làm việc ở chế độ máy nén, nén lượng hơi thừa trong Turbine làm cho cánh Turbine, có thể phát nóng quá mức cho phép. Đối với các máy phát diezen chế độ này có thể làm nổ máy.

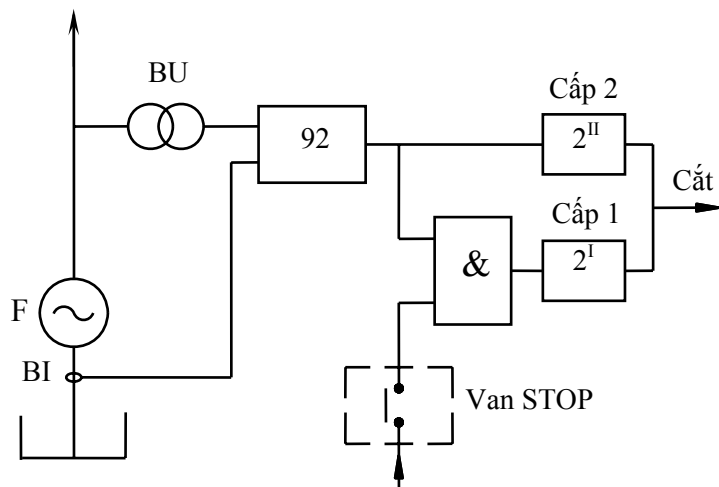
Để bảo vệ chống chế độ công suất ngược, người ta kiểm tra hướng công suất tác dụng của máy phát. Yêu cầu rơle hướng công suất phải có độ nhạy cao để phát hiện được luồng công suất ngược với trị số khá bé (thường chỉ bù đắp lại tổn thất cơ của máy phát trong chế độ này). Với các máy phát điện Turbine hơi, công suất khởi động ΔP_{kd} bằng:

$$\Delta P_{kd} = (0,01 \div 0,03)P_{dm} \quad (1-68)$$

Với các máy phát thủy điện và Turbine khí:

$$\Delta P_{kd} = (0,03 \div 0,05)P_{dm} \quad (1-69)$$

Để đảm bảo độ nhạy của bảo vệ cho các máy phát công suất lớn, mạch dòng điện của bảo vệ thường được đấu vào lõi đo lường của máy biến dòng (thay cho lõi bảo vệ thường dùng cho các thiết bị khác). Bảo vệ chống công suất ngược thường có hai cấp tác động: cấp 1 với thời gian khoảng (2 ÷ 5) sec sau khi van STOP khẩn cấp làm việc và cấp thứ 2 với thời gian cắt máy khoảng vài chục giây không qua tiếp điểm của van STOP (hình 1.40).



HÌNH 1.40: Sơ đồ nguyên lý của bảo vệ chống công suất ngược

X. Một số sơ đồ bảo vệ máy phát điện dùng rơle số

X.1. Sơ đồ bảo vệ máy phát điện công suất trung bình ($\leq 1\text{MW}$):

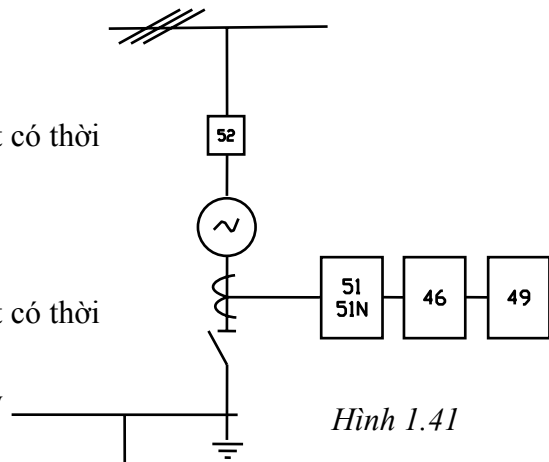
Phương án 1:

Sơ đồ sử dụng các bảo vệ sau:

- 51: bảo vệ quá dòng có thời gian.
- 51N: bảo vệ quá dòng chống chạm đất có thời gian.
- 46: bảo vệ dòng thứ tự nghịch.
- 49: rơle nhiệt độ.

Phương án 2: hình 1.42

- 51: bảo vệ quá dòng có thời gian.
- 51N: bảo vệ quá dòng chống chạm đất có thời gian.
- 46: bảo vệ dòng thứ tự nghịch.
- 64: bảo vệ chống chạm đất cuộn dây rotor.
- 32: rơle định hướng công suất.
- 40: rơle phát hiện mất kích từ máy phát điện.

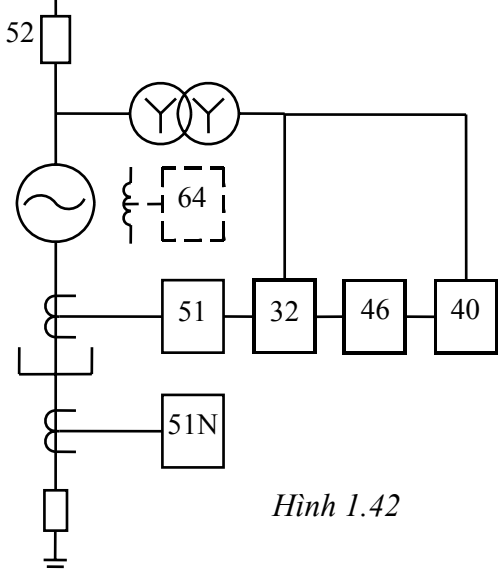


Hình 1.41

X.2. Sơ đồ bảo vệ máy phát điện công suất lớn ($> 1\text{MW}$): (hình 1.43)

Sơ đồ sử dụng các bảo vệ sau:

- 51: bảo vệ quá dòng có thời gian.
- 51N: bảo vệ quá dòng chống chạm đất có thời gian.
- 46: bảo vệ dòng thứ tự nghịch.
- 32: rơle định hướng công suất.
- 40: rơle phát hiện mất kích từ máy phát điện.
- 49: rơle nhiệt độ.
- 87,87N: rơle so lệch chống chạm pha và chạm đất.
- 27: rơle điện áp thấp.
- 59: rơle quá điện áp.
- 81: rơle tần số.
- 64F: chống chạm đất cuộn dây rotor.



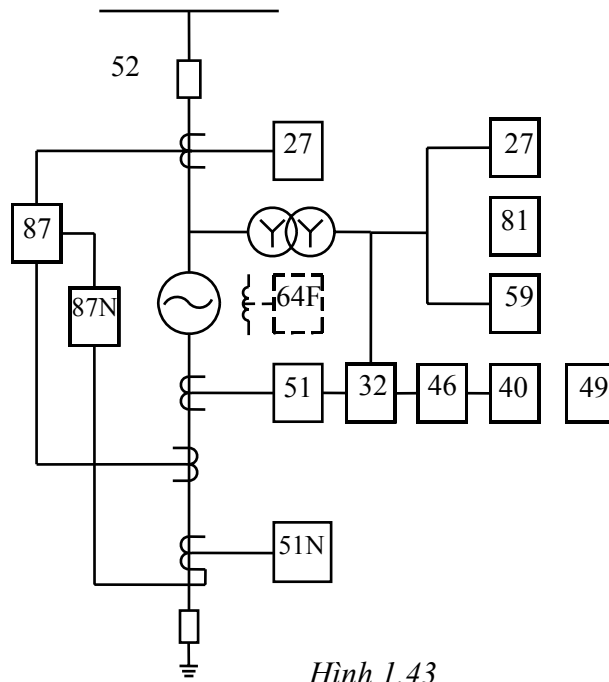
Hình 1.42

X.3. Sơ đồ bảo vệ bộ MFD-MBA:

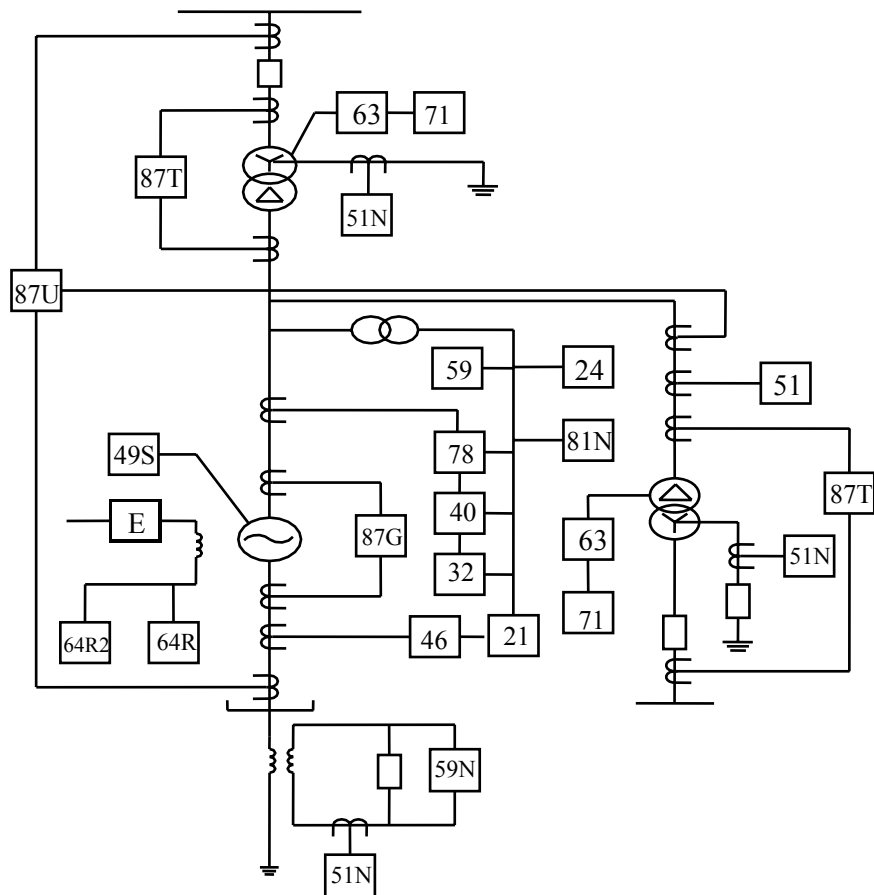
Phương án 1: hình 1.44

- 87U: bảo vệ so lệch dọc chung cho máy phát và MBA tăng áp và MBA tự dùng.
- 87T: bảo vệ so lệch dọc MBA tăng áp và MBA tự dùng.
- 51: bảo vệ quá dòng có chỉnh định thời gian.
- 51N: bảo vệ quá dòng chống chạm đất có thời gian.
- 63: rơle áp suất dùng cho MBA.
- 71: rơle hơi dùng cho MBA.
- 64R, 64R2: bảo vệ chống chạm đất 1 điểm và 2 điểm mạch kích từ.
- 51N, 59N: bảo vệ chống chạm đất cuộn dây rotor.
- 87G: bảo vệ so lệch chống chạm pha trong máy phát.
- 49S: bảo vệ quá nhiệt cuộn dây stator.
- 59: rơle quá điện áp.
- 81N: rơle tần số.
- 24: rơle quá từ. 78: rơle kiểm tra đồng bộ.
- 40: rơle phát hiện mất kích từ máy phát điện.
- 21: rơle khoảng cách.
- 32: rơle định hướng công suất.

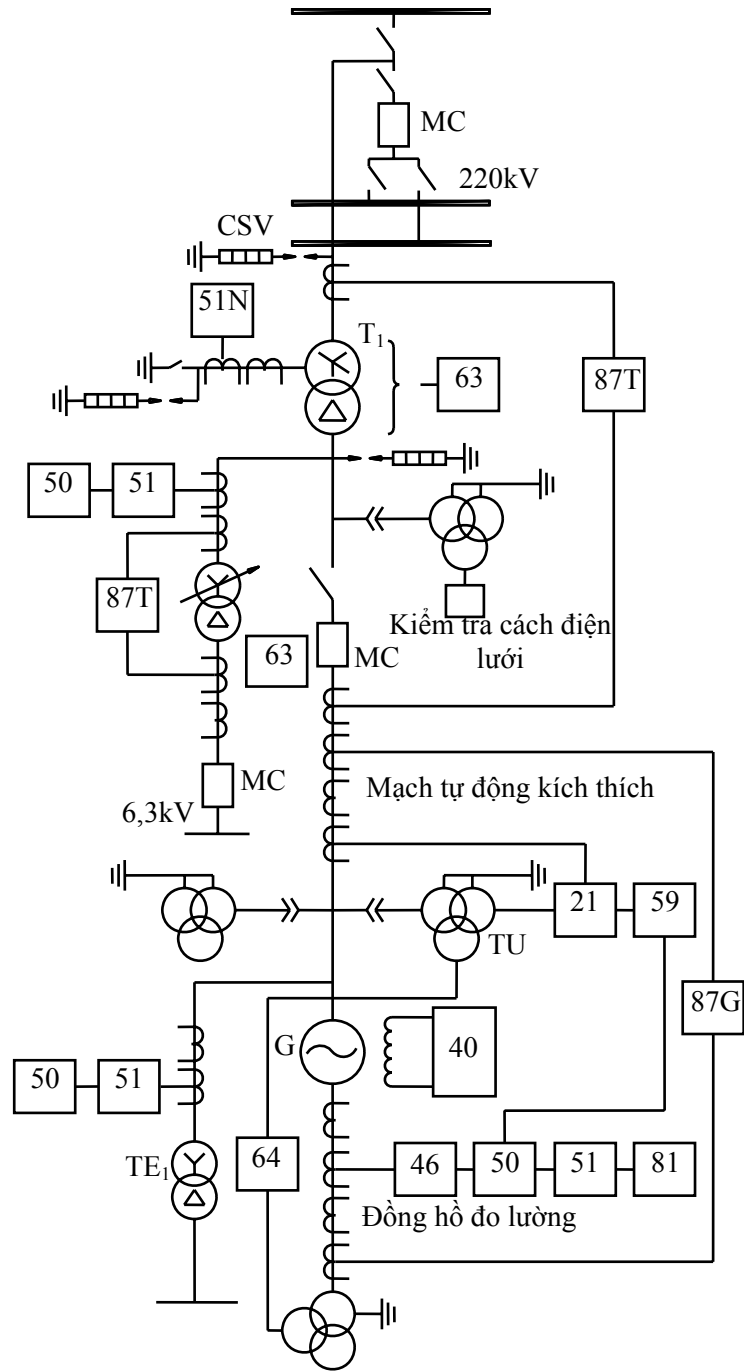
Phương án 2: hình 1.45



Hình 1.43



HÌNH 1.44: Sơ đồ bảo vệ bộ máy phát và máy biến áp.



HÌNH 1.45: SƠ ĐỒ BẢO VỆ BƠ MÁY PHÁT VÀ MÁY

