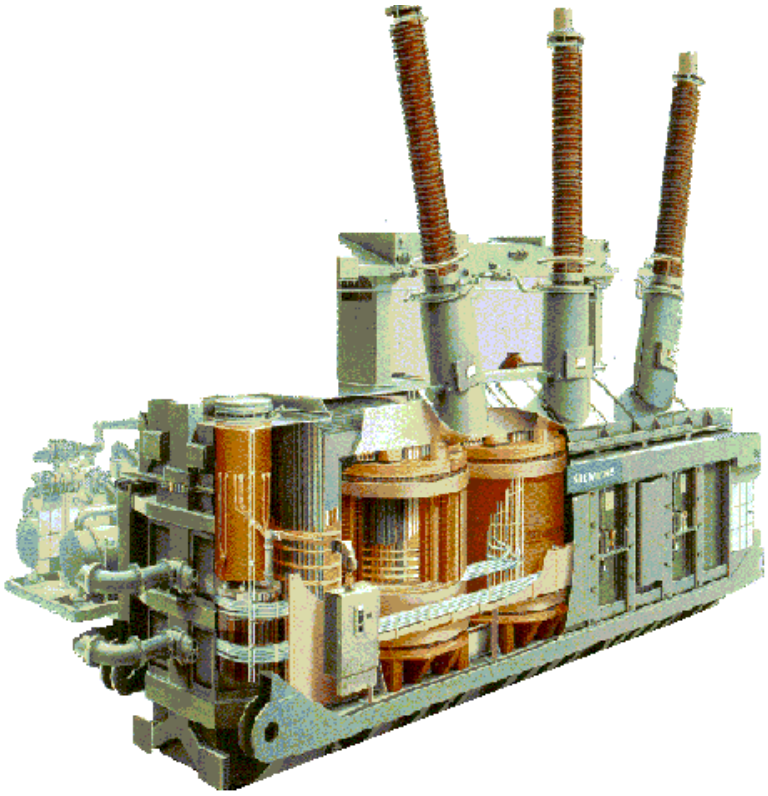
Iran Transformer Research Institute

دوره آموزشی حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت



مهندس حیدربزرگ

موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران

آدرس: تهران، میدان توحید- خیابان ستارخان- خیابان دهم دریان نو- نبش کوچه پنجم- پلاک ۱۰

تلفن: ۴-۶۶۵۵۱۳۸۱ فکس: ۶۶۵۵۱۳۸۷ E-Mail: training.itri@iran-transfoi.com

حفاظت ترانسفورماتور

خطاهای محتمل در ترانسفورماتور

External

1- External Short circuit
2- Overloads
3- Overvoltage

Internal

1- Internal Short circuit
1.1- Between turns
1.2- Between windings
2- Grount faults
3- Overtemperature
4- Overpressure
5- Miss of oil
6- Saturation

حفاظت های مکانیکی

۱- رله بوخهلتس

۲- رله فشار شکن

۳- ترمومتر ها

۴- نشانگر سطح روغن

۵- Sudden pressure relay

۶- رله های حفاظتی کلید تنظیم ولتاژ

حفاظت های الکتریکی

1- Surge Arrestors

2- Overcurrent relay

2.1- Phase

2.2- Neutral

3- Differential relay

4- Overload relay

5- Restricted earth fault relay

6- Tank relay

7- Fuses

رله های مکانیکی

۱- رله بوخهلتس

این رله در لوله رابط بین مخزن و منبع انبساط نصب می شود. شیب لوله رابط برای عملکرد صحیح رله حداقل باید ۲ تا ۴٪ باشد. رله بوخهلتس دو عملکرد دارد:

- حبابهای گازی را که در مخزن (به هر دلیل ممکن) تولید می شوند در مسیر خود به منبع انبساط جمع آوری می کند، وبسته به شرایط سیگنال آلارم و یا تریپ ارسال می نماید.
- نسبت به جریان روغن حساس است و در صورتیکه جریان روغن از یک حد معین تجاوز نماید سیگنال تریپ ارسال می کند.

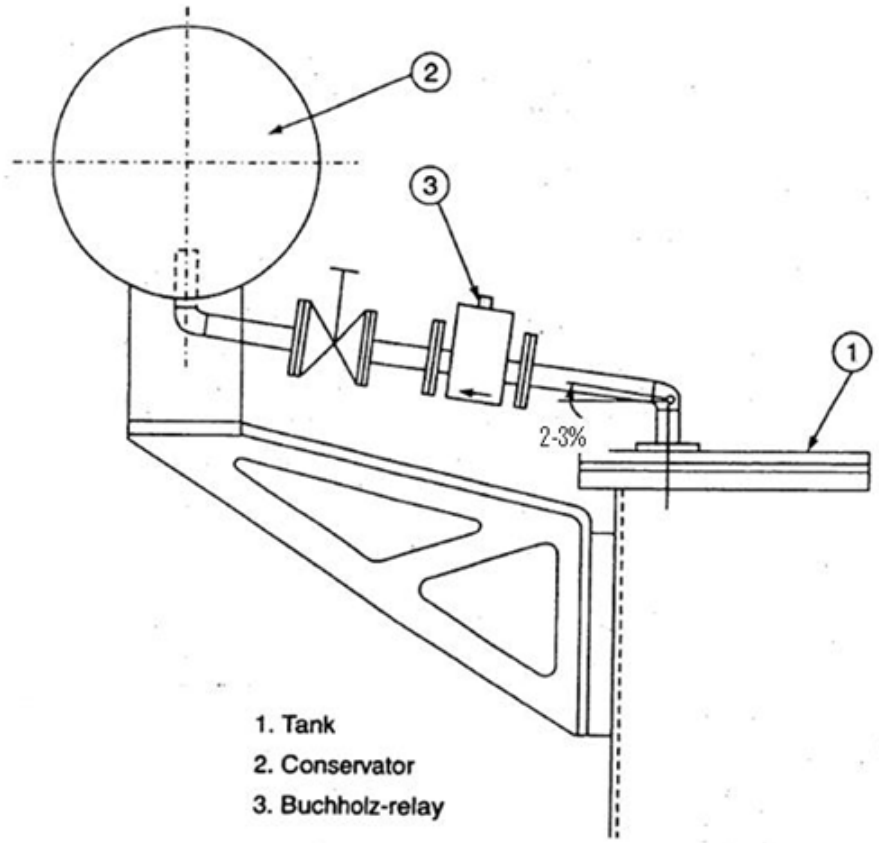
اسم این رله مرتبط با مخترع آن می باشد.

رله های بوخهلتس می توانند دو شناوره یا تک شناوره باشند. در ترانسفورماتورهای کوچک از نوع تک شناوره معمولاً استفاده می شود. رله های بوخهلتس هم به گاز و هم به جریان روغن حساس هستند در حالیکه رله حفاظتی کلید تنظیم ولتاژ فقط به جریان روغن حساس است.

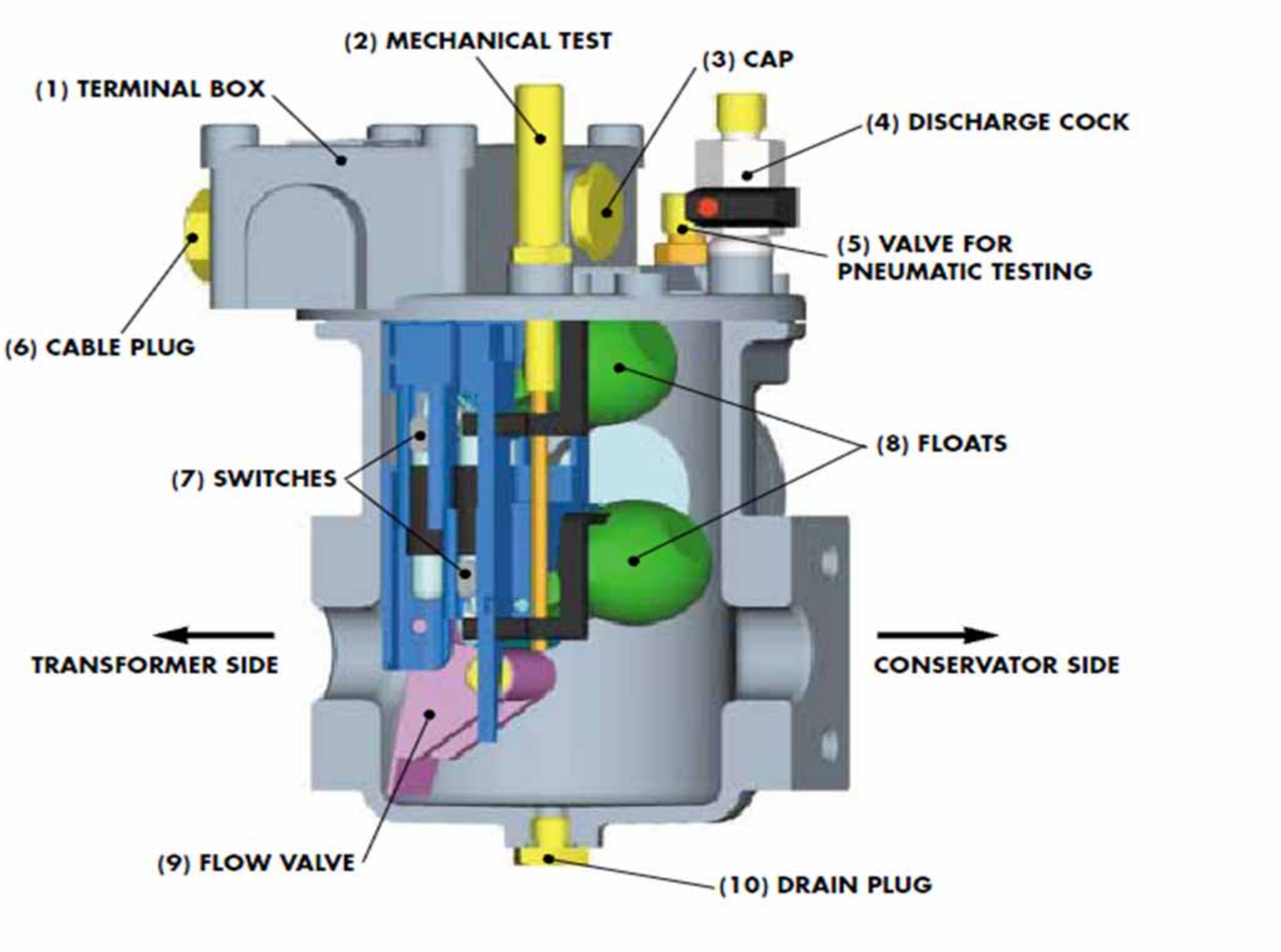
وجود گاز در ترانسفورماتور می تواند نشاندهنده یک خطای شدید مثل اتصال کوتاه و قوس الکتریک و یا نشاندهنده مسائلی مثل Overheating و hot spot موضعی در ترانسفورماتور باشد.

وقتی تحت شرایط خاصی در ترانسفورماتور حبابهای گاز تولید می شوند این حبابها به سمت منبع انبساط حرکت کرده و باعث عملکرد شناورها می شوند که بسته به میزان گاز سیگنال آلارم و یا تریپ ارسال می شود.

ounting Buchholz - relay transformer



Iran Transformer research institute


(1) TERMINAL BOX
(2) MECHANICAL TEST
(3) CAP
(4) DISCHARGE COCK
(5) VALVE FOR PNEUMATIC TESTING
(6) CABLE PLUG
(7) SWITCHES
(8) FLOATS
TRANSFORMER SIDE
CONSERVATOR SIDE
(9) FLOW VALVE
(10) DRAIN PLUG

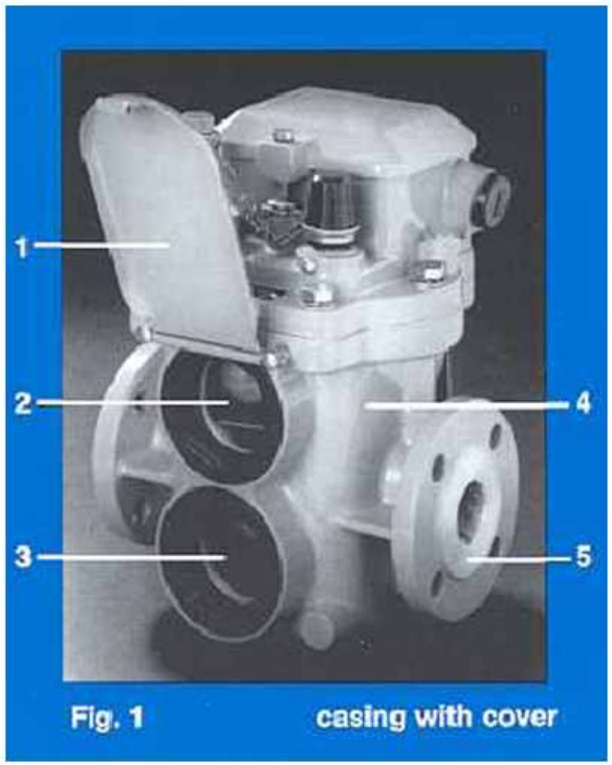


Fig. 1 casing with cover

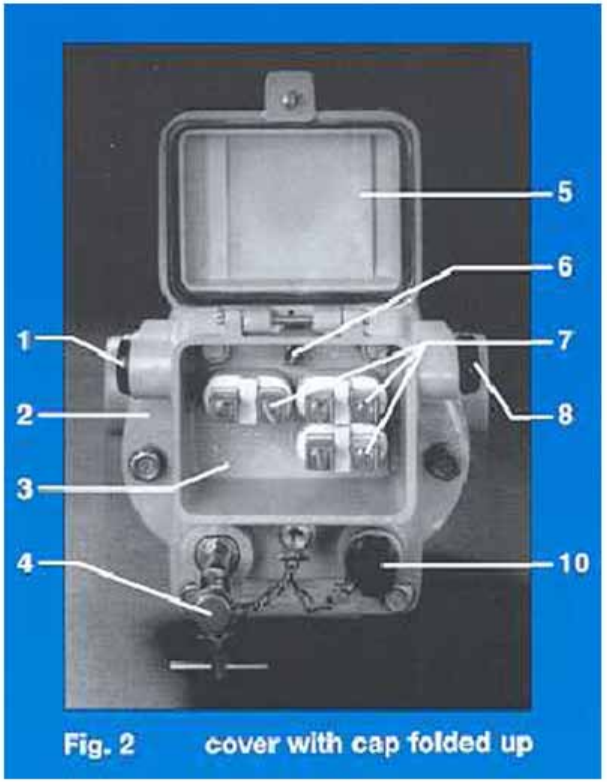
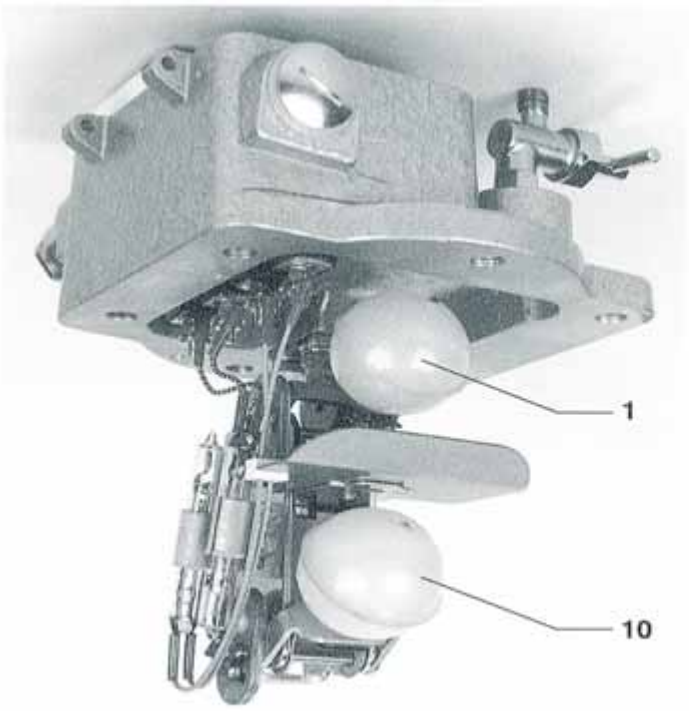


Fig. 2 cover with cap folded up



Switchgear

The switchgear has the following main components:

- Function element(s), switching system(s)
- Carrier, frame
- Mechanical testing device

The single- float Buchholz relay has only one switching system (see para. 3). The double- float Buchholz relay has an upper and a lower switching system (see para. 3).

The upper switching system comprises:

- One float (1)
- One permanent magnet(6)
- One (two) magnet contact tube(s) (8)

The lower switching system comprises:
- One float (10)
- One permanent magnet (9)
- One (two) magnet contact tube(s) (7)
- One damper (4)

- در صورت وجود خطاهای نه چندان شدید مثل داغ شدن قطعات فلزی، وجود hot spot و ... در ترانسفورماتور، بصورت موضعی نقاط داغ بوجود میایند که این نقاط داغ باعث تجزیه مواد عایقی جامد و مواد سلولزی می شوند که خود باعث بوجود آمدن حبابهای گاز در ترانسفورماتور میشوند. این خصوصیت در طراحی رله بوخهلتس یا Gas actuated relay استفاده شده است. از این رله فقط در ترانسفورماتورهایی که منبع انبساط دارند و مخزن کاملاً با روغن پر شده و تانک ترانسفورماتور توسط یک لوله به منبع انبساط وصل شده است استفاده میشود.

رله بوخهلتس گاهی اوقات می تواند سیگنال اشتباهی ارسال کند، مثلاً وقتی روغن به ترانسفورماتور اضافه می شود، حبابهای هوا می توانند به همراه روغن وارد مخزن شده و سپس به مرور وارد رله شده و باعث ارسال سیگنال آلارم شوند.

همچنین در صورت وجود اتصال کوتاه در خارج از ترانسفورماتور یک جریان شدید روغن می تواند در ترانسفورماتور بوجود بیاید. در صورت عبور جریان های شدید اتصال کوتاه از سیم پیچ ها، این جریان ها باعث داغ شدن سیم پیچ و روغن شده و میتوانند باعث جریان و حرکت روغن با سرعتی بالاتر از حد عملکرد رله بوخهلتس و نهایتاً عملکرد شناور پایینی و ارسال سیگنال تریپ شوند.

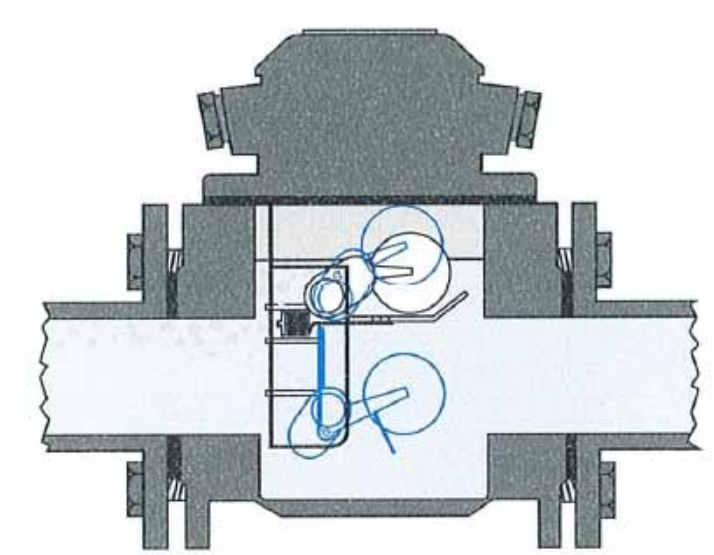
در اتصال رله بوخهلتس به ترانسفورماتور حتماً باید به شیب و زاویه لوله رابط تانک به منبع انبساط توجه نمود. بعضی از سازندگان شیت ۲° تا ۳° و بعضی شیب ۱/۲٪ تا ۳٪ را پیشنهاد می کنند.

همچنین باید از وضعیت شناورها و اینکه دارای منفذ نمی باشند اطمینان خاطر حاصل کرد برای اینکار شناورها را در روغن داغ فرو می کنند.

حالتهایی که رله عمل می کند:

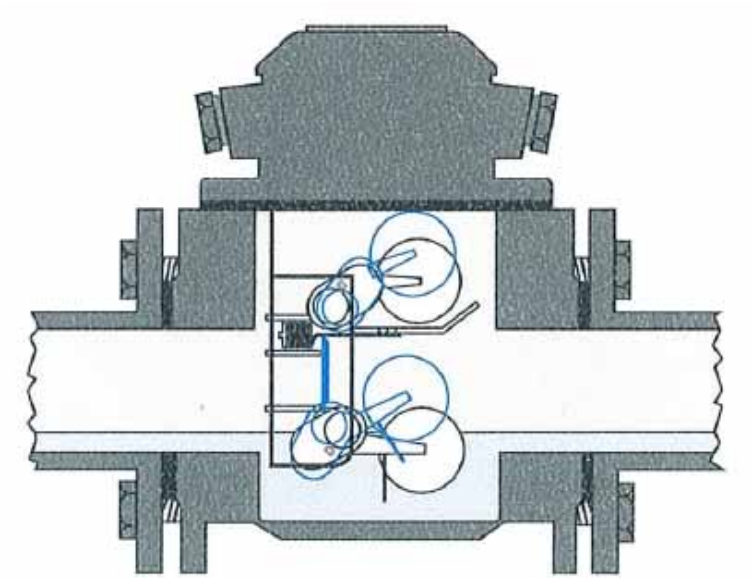
۱- جمع شدن گاز در رله

مسئله ای مانند Overheating و یا وجود hot spot های موضعی باعث تولید گاز منتهی به شکل تدریجی در ترانسفورماتور می شوند. این حبابهای گاز به سمت بالا و منبع انبساط حرکت کرده و در رله لوخهلتس جمع می شوند، این حبابهای گاز باعث جابجایی روغن درون رله شده و همین امر باعث حرکت شناور و پایین افتادن شناور بالایی می شود. شناور بالایی معمولاً برای ارسال سیگنال آلارم استفاده می شود. طراحی رله بوخهلتس به نحوی است که فقط مقدار معینی از گاز می تواند باعث جابجایی شناور بالا شود، در صورتیکه حجم گاز خیلی زیاد باشد شناور پایین که برای ارسال سیگنال تریپ در نظر گرفته می شود نیز جابجا شده و سیگنال تریپ ارسال می کند.



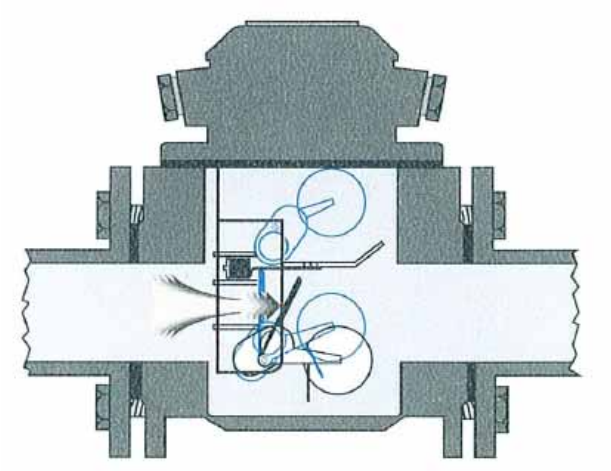
۲- نشت روغن از تانک

در صورتیکه روغن از ترانسفورماتور نشت کند، حجم روغن بعد از منبع انبساط در رله بوخهلتس نیز کـاهش یافتـه و باعـث عملکـرد شـناورهای رلـه و ارسال سیگنالهای آلارم و تریپ می شود.



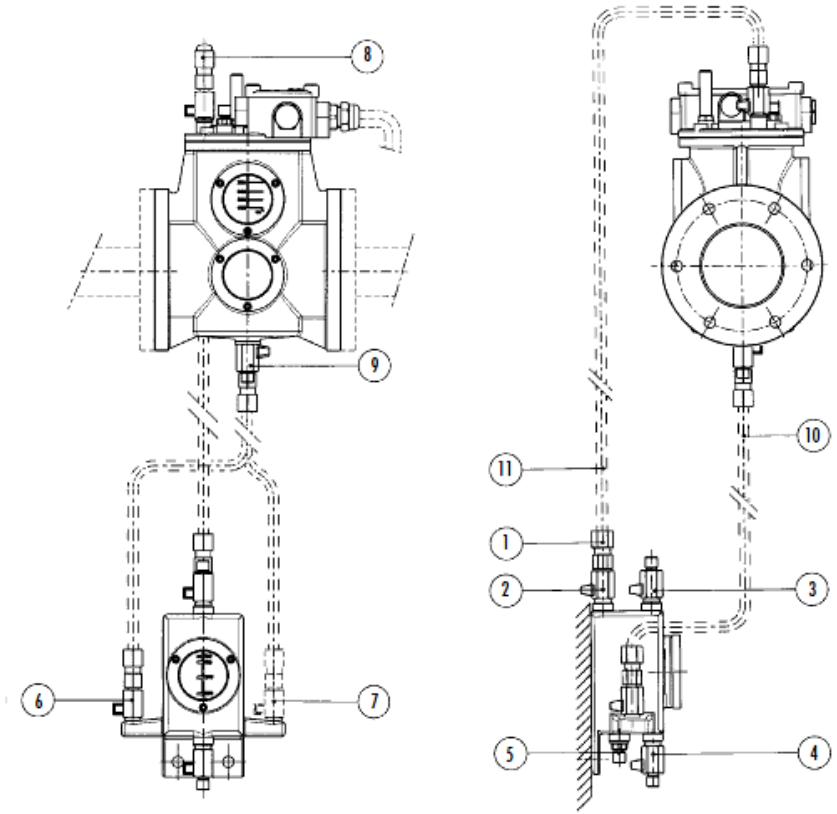
۳- جریان شدید روغن

در صورت بروز خطاهایی که مقدار زیادی انرژی در مدت زمان کم توسط آنها در ترانسفورماتور آزاد می شود (مثل اتصال کوتاههای شدید و یا بروز قوس الکتریکی به زمین و یا بین فازها) مقدار زیادی گاز در ترانسفورماتور تولید میشود که این حجم زیاد گاز فشار درون تانک را تغییر داده و باعث ارسال یک موج شدید روغن به سمت منبع انبساط شده ه این موج به صفحه میرا کننده ای که بر سر راه ورود روغن به رله بوخهلتس قرار گرفته برخورد می کند. در صورتیکه سرعت جریان روغن از حد حساسیت صفحه میراکننده نوسانات بیشتر شود، صفحه دمپر یا میراکننده پایین رفته و در همین حال شناور پایین را با خود به حرکت در آورده و باعث ارسال سیگنال تریپ می شود.



دستگاه جمع کننده گاز رله بوخهلتس

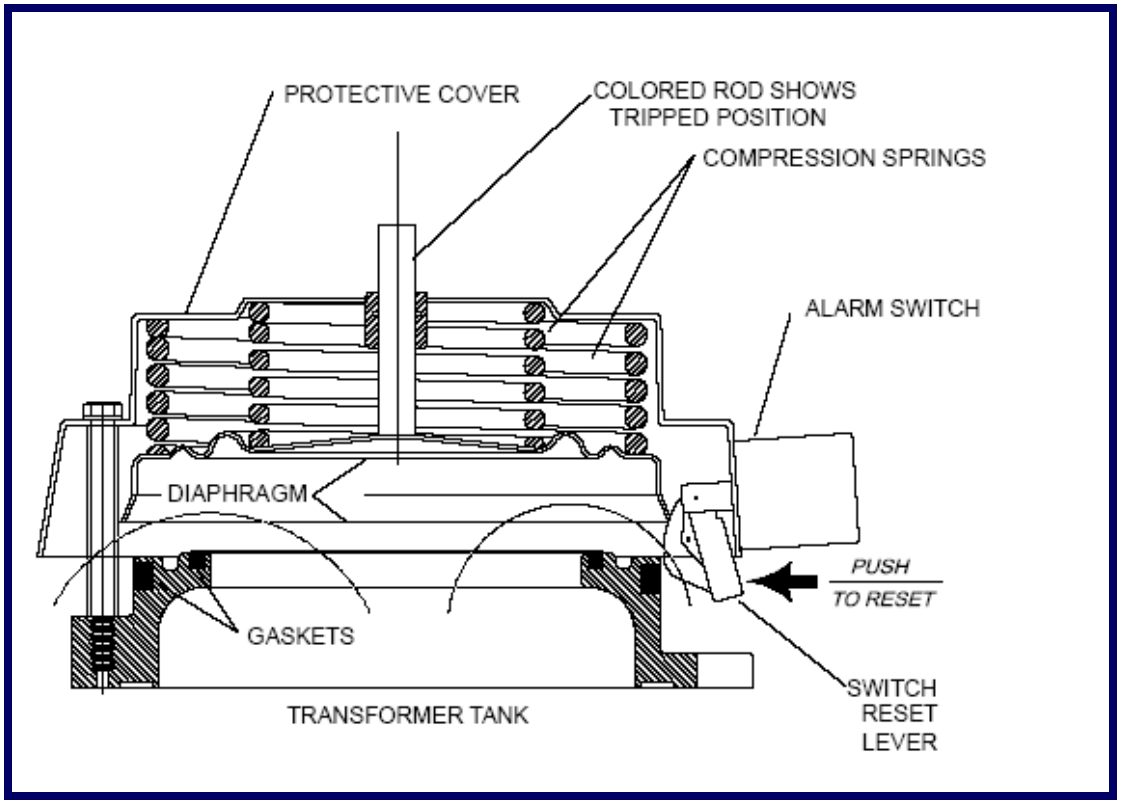
برای نمونه گیری گاز جمع شده در رله بوخهلتس در صورتی که ترانسفورماتور برق دار باشد می توان از دستگاه جمع کننده گاز استفاده نمود.



رله فشار شکن Pressure relief valve

رله فشار شکن نقش مهمی در حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت بازی می کند. بروز یک خطا مانند اتصال کوتاه در ترانسفورماتور سبب تبخیر لحظه ای روغن شده و باعث ایجاد یک جریان با فشار بالای گازی می شود. اگر این فشار در چند میلی ثانیه در تانک کاهش نیابد میتواند باعث صدمه دیدن تانک و نهایتاً ترانسفورماتور شود. رله فشار شکن، رله ای است که در این مواقع می تواند با آزاد کردن و تخلیه فشار درون تانک توسط بیرون ریختن روغن (تا حد مورد نیاز برای کاهش فشار) از صدمه دیدن ترانسفورماتور جلوگیری کند.

ساختار داخلی رله فشار شکن بگونه ای است که در صورتیکه فشار درون مخزن از یک حد مشخصی بیشتر شود دیافراگم آن به سمت بالا حرکت کرده و باعث می شود که حجم معینی از روغن بیرون بریزد و باعث کاهش فشار درون مخزن شود، همراه با حرکت دیافراگم به سمت بالا سیگنال تریپ نیز ارسال می شود.


PROTECTIVE COVER
COLORED ROD SHOWS TRIPPED POSITION
COMPRESSION SPRINGS
ALARM SWITCH
DIAPHRAGM
PUSH
TO RESET
GASKETS
SWITCH RESET LEVER
TRANSFORMER TANK

Sudden Pressure Relay

این رله قادر است که نرخ رشد فشار درون مخزن را تشخیص دهد، بعبارت دیگر خطاهایی که باعث نرخ رشد سریع فشار در مخزن می شـوند از خطاهـایی که باعث نرخ رشد پایین فشار می شوند توسط این رله قابل تشخیص و تفکیک هستند، و در صورتیکه نرخ رشد فشار در مخزن از حد معینـی تجـاوز کنـد سیگنال تریپ ارسال می نماید.

نصب رله sudden pressure بر روی ترانسفورماتور

Sudden pressure relay

ترمومترهای روغن و سیم پیچ

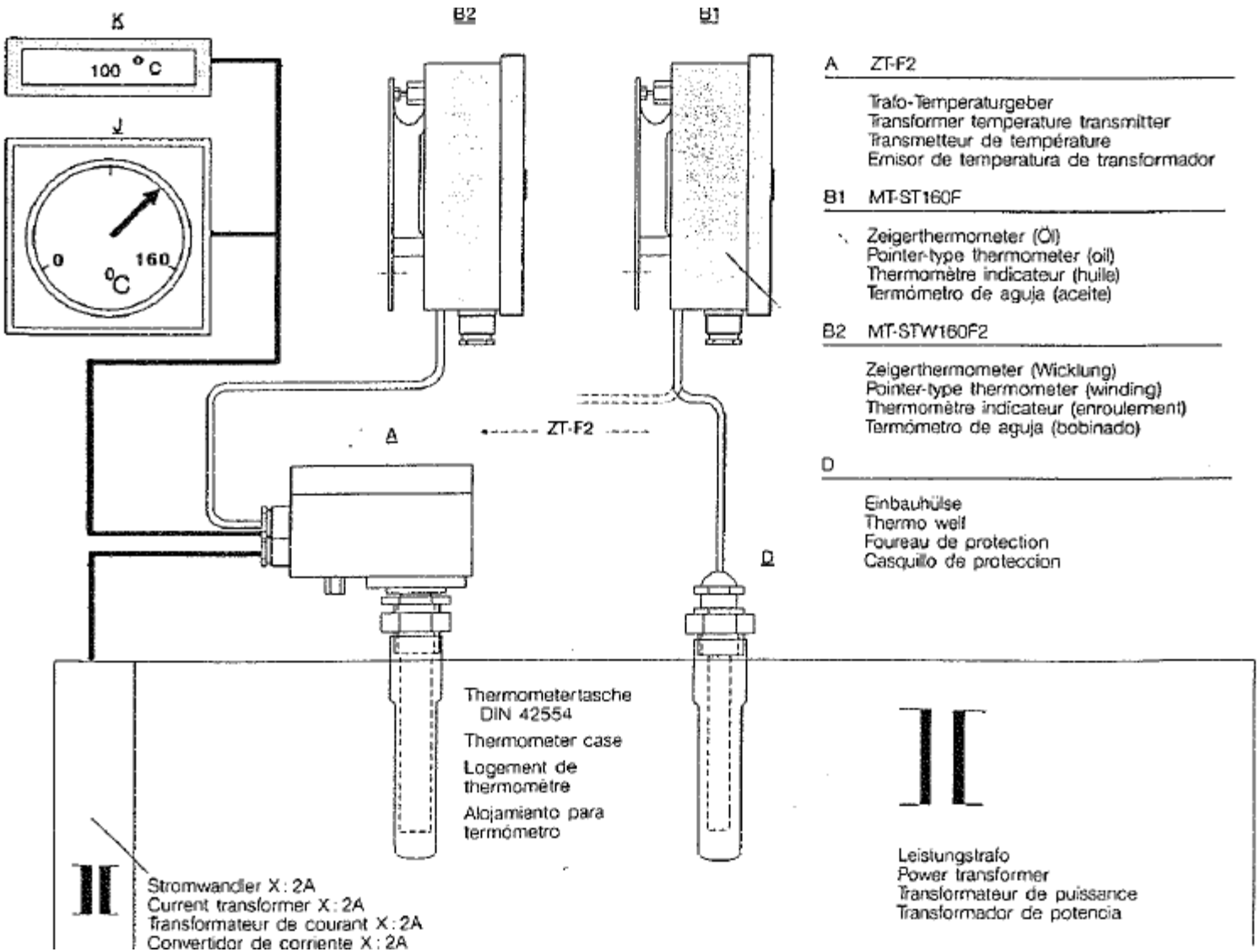
ترمومترهای روغن و سیم پیچ برای مونیتورینگ دمای روغن و سیم پیچ ترانسفورماتور و همچنین حفاظت ترانسفورماتور در مقابل خطاها و یا شرایط کاری که می تواند باعث افزایش دمای روغن و سیم پیچ از حد معین شود بر روی ترانسفورماتور نصب می شود.

بطور کلی ترمومترهای روغن و سیم پیچ برای کارکردهای زیر در نظر گرفته می شوند:

۱- نشان دادن و مونیتورینگ دمای روغن و سیم پیچ ترانسفورماتور

۲- ارسال سیگنال آلارم و یا تریپ به سیستم کنترل ترانسفورماتور در صورتیکه دماهای روغن و یا سیم پیچ از حد در نظر گرفته شده تجاوز کنند.

۳- روشن و خاموش کردن تجهیزات سیستم خنک کننده (در صورت استفاده از پمپ و فن در سیستم خنک کنندگی ترانسفورماتور) در صورتیکه دمای روغن و یا سیم پیچ از حد معینی بیشتر شود. ترموتر روغن می تواند بصورت مستقیم دمای روغن ترانسفورماتور را از طریق حسگر خود که در قسمت بالای درپوش نصب می شود حس کند ولی ترمومتر سیم پیچ دمای سیم پیچ را بصورت غیر مستقیم اندازه گیری می کند.



A ZT-F2

Trafo-Temperaturgeber
Transformer temperature transmitter
Transmetteur de température
Emisor de temperatura de transformador

B1 MT-ST160F

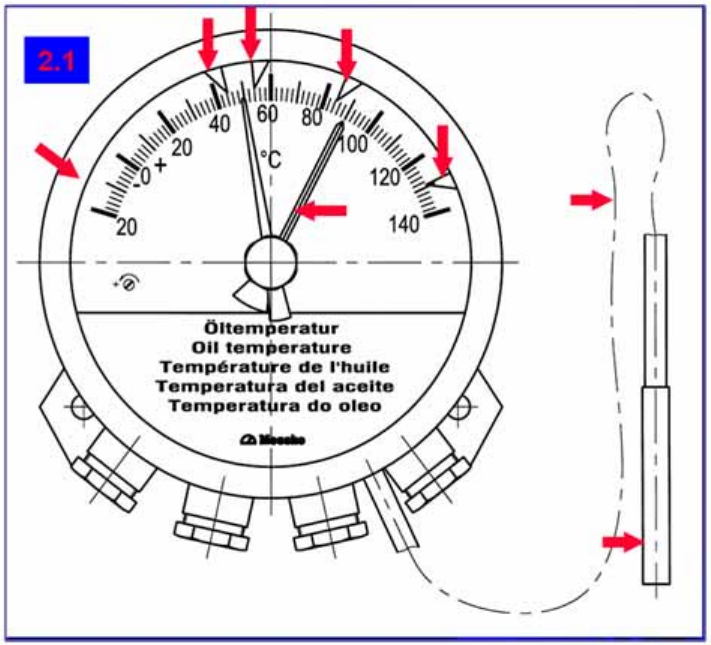
Zeigerthermometer (Öl)
Pointer-type thermometer (oil)
Thermomètre indicateur (huile)
Termómetro de aguja (aceite)

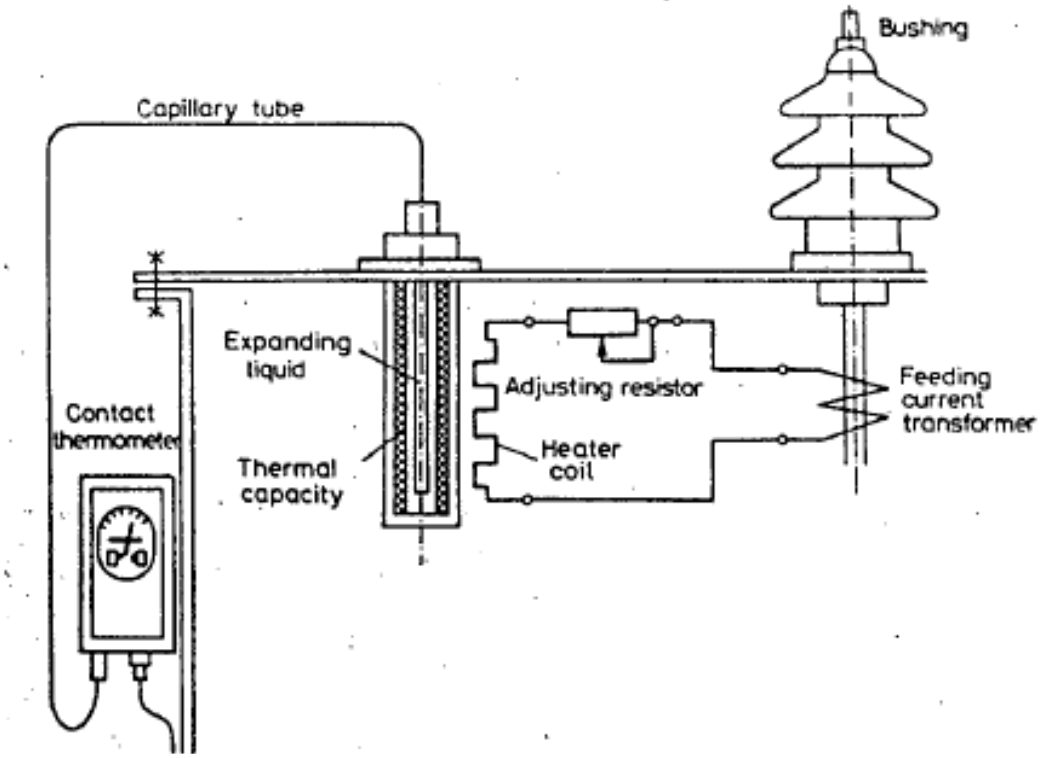
B2 MT-STW160F2

Zeigerthermometer (Wicklung)
Pointer-type thermometer (winding)
Thermomètre indicateur (enroulement)
Termómetro de aguja (bobinado)

D

Einbauhülse
Thermo well
Fourreau de protection
Casquillo de protección


2.1
-0+
20
40
60
80
100
120
140
°C
Öltemperatur
Oil temperature
Température de l'huile
Temperatura del aceite
Temperatura do oleo


Bushing
Capillary tube
Expanding liquid
Contact thermometer
Thermal capacity
Adjusting resistor
Heater coil
Feeding current transformer

جریان هجومی ترانسفورماتور

- وقتی که یک ترانسفورماتور برقدار می شود، جریان مغناطیس کننده و یا جریان تحریک گذرایی در سیستم جاری می شود که به آن جریان هجومی ترانسفورماتور می گویند. این جریان گذاری هجومی می تواند به عنوان یک خطای داخلی در ترانسفورماتور توسط رله دیفرانسیل تشخیص داده شود. دامنه این جریان می تواند به ۸ تا ۲۵ برابر جریان نامی ترانسفورماتور (بسته به قدرت ترانسفورماتور و ابعاد آن) برسد.

- فاکتورهایی که بر روی دامنه و مدت زمان تداوم جریان هجومی تأثیر گذارند عبارتند از:

۱- قدرت و ابعاد اکتیوپارت ترانسفورماتور

۲- قدرت سیستم

۳- مقاومت اهمی مدار و سیستم

۴- نوع ورق هسته استفاده شده در ترانسفورماتور

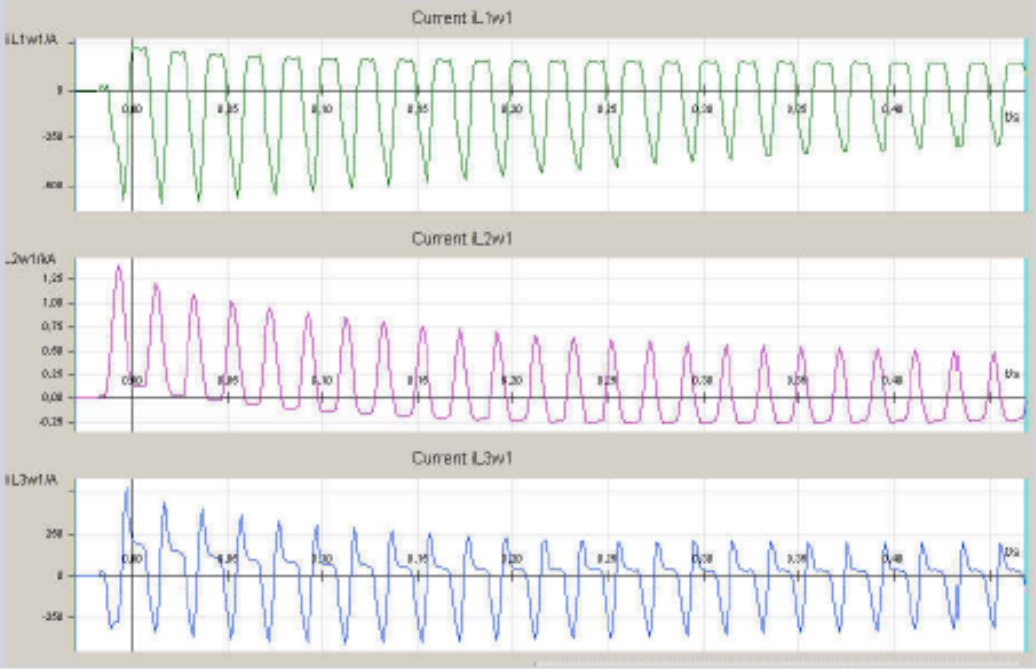
۵- پس ماند هسته

۶- نحوه برقدار شدن ترانسفورماتور

شکل زیر جریان هجومی را برای یک ترانسفورماتور شبکه که اندازگیری شده است نشان می دهد.

Example of an Inrush Current

A unit transformer (I_N = 396 A) was switched on from the high voltage side

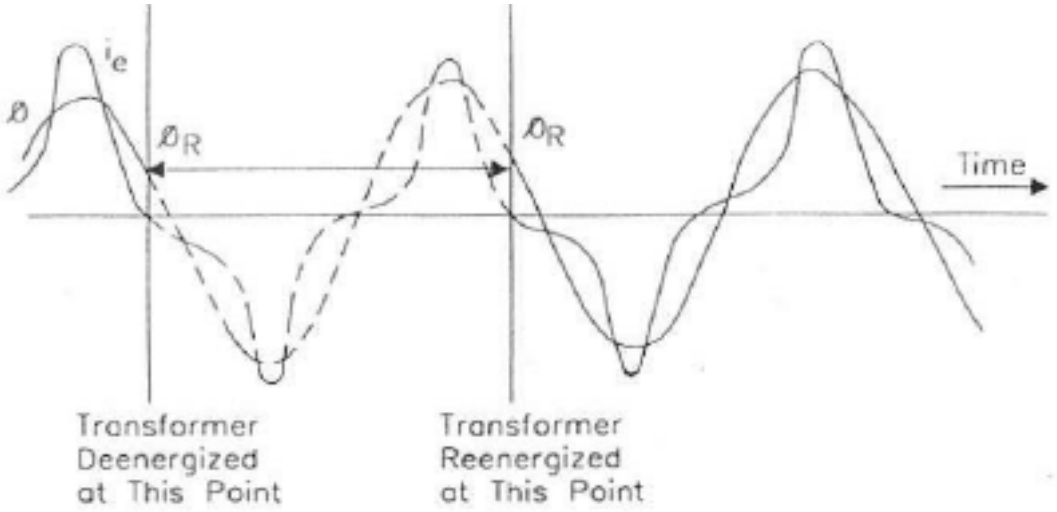


- وقتی که یک ترانسفورماتور بدون برق می شود جریان آن صفر می گردد اما شار در هسته صفر نمی شود و مقدار آن در هسته به ϕR مـی رسد.

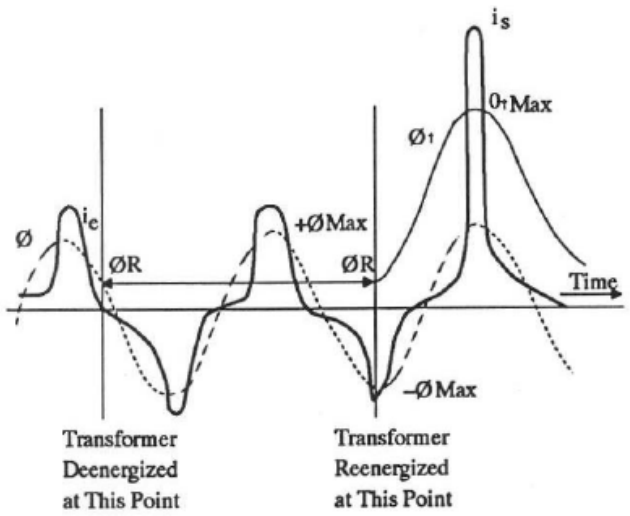
اگر ترانسفورماتور دو مرتبه برقدار شود چنانچه در نقطه ای از شکل موج که معادل شار پس ماند هسته است عمل تحریک ترانسفورماتور انجام شود، جریان هجومی در ترانسفورماتور وجود نخواهد داشت.

- هر چند، در عمل کنترل لحظه کلید زنی عملاً غیر ممکن است و در هر صورت حالت گذرا در شکل موج جریان وجود خواهد داشت.

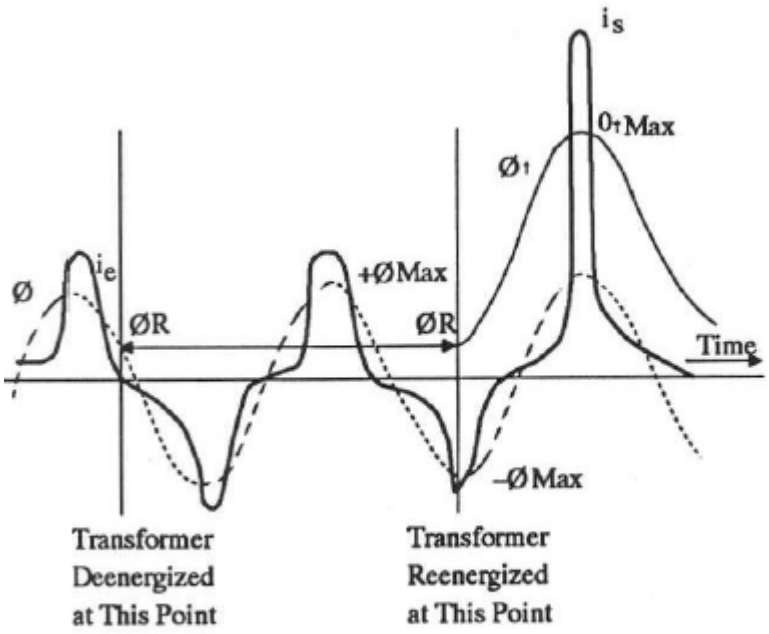
شکل



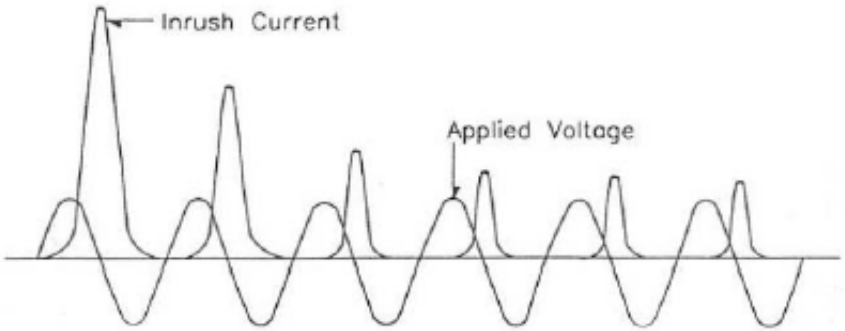
- اگر ترانسفورماتور در لحظه ای که شار در حداکثر مقدار منفی خود می باشد $(-\phi_{max})$ برقدار شود، از آنجاییکه شار پس ماند مقدار مثبت دارد و شار در هسته نمی تواند به یکباره و آناً تغییر مقدار بدهد، به جای شروع ا زمقدار $-\phi_{max}$ ، از مقدار ϕR شروع و منحنی ϕ_t را دنبال خواهد کرد.



- شکل موج ϕ_t غیر سینوسی است. ترانسفورماتور برای دامنه معینی از شار و اندوکسیون در هسته آن طراحی شده اسـت ولـی ϕ_t بـا ایـن شکل موج Super Saturation را بوجود می آورد و باعث یک پیک در شکل موج جریان می شود.



- شار پس ماند در هسته می تواند مقدار مثبت و یا منفی داشته باشد و بسته به لحظه کلید زنی می تواند باعث افزایش و یـا کاسـتن دامنـه جریان هجومی شود.
- در چند سیکل اول، جریان هجومی به شدت میرا می شود، ولی بعد از آن از شدت میرایی کاسته شده و چند ثانیه طول می کشد تا کلاً از بین برود.
- ثابت زمانی مدار $\left(\frac{L}{R}\right)$ یک مقدار ثابت نیست، بلکه اندوکتانس و یا L با مقدار اشباع هسته ترانسفورماتور تغییر میکند.



- در چند سیکل اول درصد اشباع هسته بالا و مقدار L پایین است بنابراین میرایی سریع اتفاق میافتد ولی بعد از چنـد سـیکل از آنجـا کـه مقاوت اهمی سیم پیچ ها باعث میرا شدن شکل موج می شود از درصد اشباع هسته کاسته شده و مقدار L افزایش می یابد. در بعضی

از آزمایشات مشخص شده است که ثابت زمانی جریان هجومی از ۱۰ سیکل برای ترانسفورماتورهای کوچک تا یک دقیقه برای ترانسفورماتورهای بزرگ متغیر است.

- مقاومت اهمی مدار (اعم از ترانسفورماتور و شبکه) میزان میرایی را مشخص می کند.
- ترانسفورماتورهای ژنراتور و یا نزدیک به نیروگاههای بزرگ به علت پایین بودن درصد میرایی از جریان هجومی با تداوم بیشتری از نظر زمان برخوردارند.
- ترانسفورماتورهای بزرگ به علت بزرگ بودن اندوکتاس اشان از جریان هجومی با تدوام زمانی بیشتری برخوردارند.
- ترانسفورماتورهایی که در فاصله زیادی با منابع ولتاژ قرار دارند و یا به خطوط طولانی تری اتصال یافته اند به علت مقاومت اهمی بالای خطوط از جریان هجومی با میرایی بیشتری برخوردارند.

حفاظت های الکتریکی

۱- حفاظت دیفرانسیل

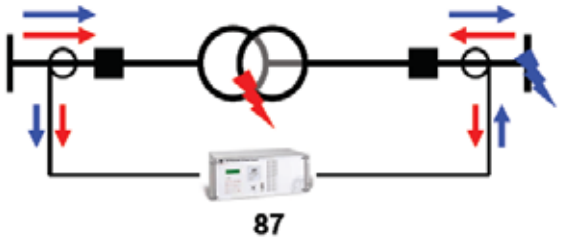
۲- حفاظت Overcurrent

۳- حفاظت earth fault

۴- حفاظت Restricted earth fault

حفاظت دیفرانسیل

- این حفاظت جریان ورودی و جریان خروجی ترانسفورماتور را مقایسه میکند
- اگر این جریانها مساوی باشند هیچ خطایی در ناحیه حفاظتی وجود ندارد.
- اگر این جریانها مساوی نباشد این وضعیت به عنوان خطا در نظر گرفته میشود.



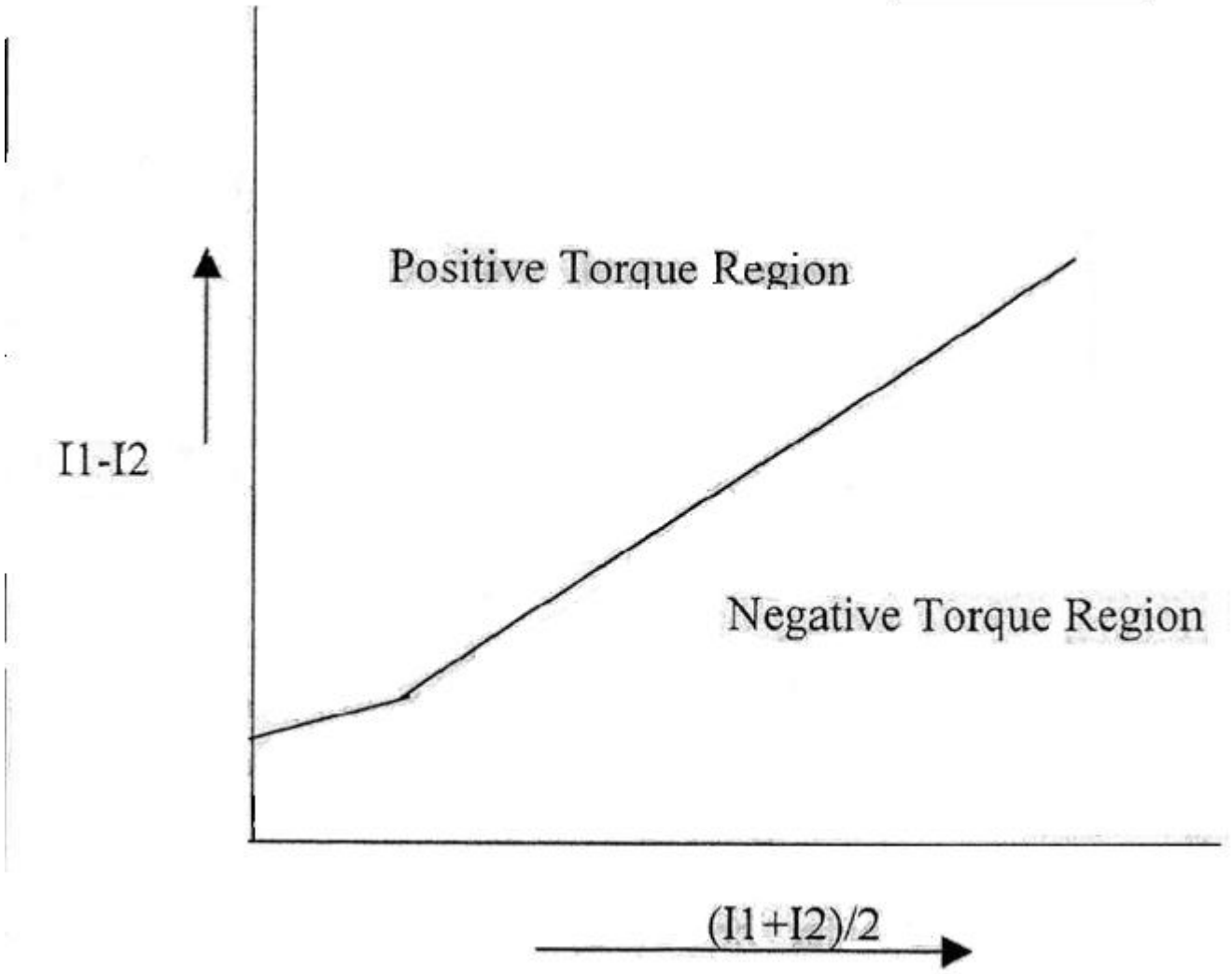
- حفاظت دیفرانسیل معمولاً برای ترانسفورماتورهای بزرگتر از 10MVA بعنوان حفاظت Main در نظر گرفته می شود.
- حساسیت حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور به اندازه حساسیت حفاظت دیفرانسیل ژنراتور نیست.
- کاربرد حفاظت دیفرانسیل در ترانسفورماتورهای تکفاز (ترانسفورماتورهای تکفاز که مجموعاً تشکیل یک مجموعه ۳ فاز را می دهند. در ترانسفورماتورهای زیگزاگ و در ترانسفورماتورهای با چند سیم پیچ و اتو ترانسفورماتورها از پیچیدگی خاصی برخوردار است.
- کاربرد حفاظت دیفرانسیل همراه با مسائلی است که باید در نظر گرفته شوند:

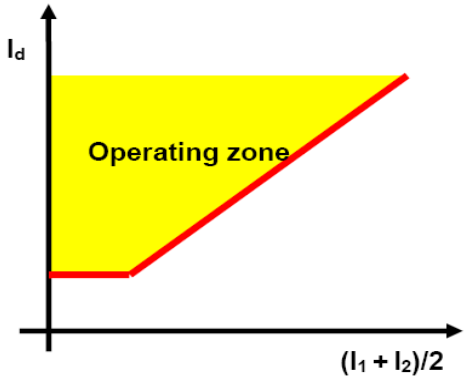
۱- کلید تنظیم ولتاژ و درصد تنظیم ولتاژ

۲- نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان

۳- گروه برداری سیم پیچ ها و اختلاف 30 در ولتاژ فاز در اتصال ستاره – مثلث

۴- جریان مغناطیسی کننده و جریان هجومی


Positive Torque Region
I1-I2
Negative Torque Region
(I1+I2)/2



- برای جلوگیری از miss-operation ناحیه کارکرد رله دیفرانسیل به دو بخش تقسیم می شود.

- از آنجاییکه رله دیفرانسیل جریان هجومی را به عنوان خطای داخلی در نظر میگیرد، چند روش برای تشخیص بین جریان هجومی و جریـان خطـا وجود دارد:

۱- کاهش حساسیت رله به شکل موجهای جریان که دارای offset dc هستند.

۲- تشخیص هارمونیک دوم

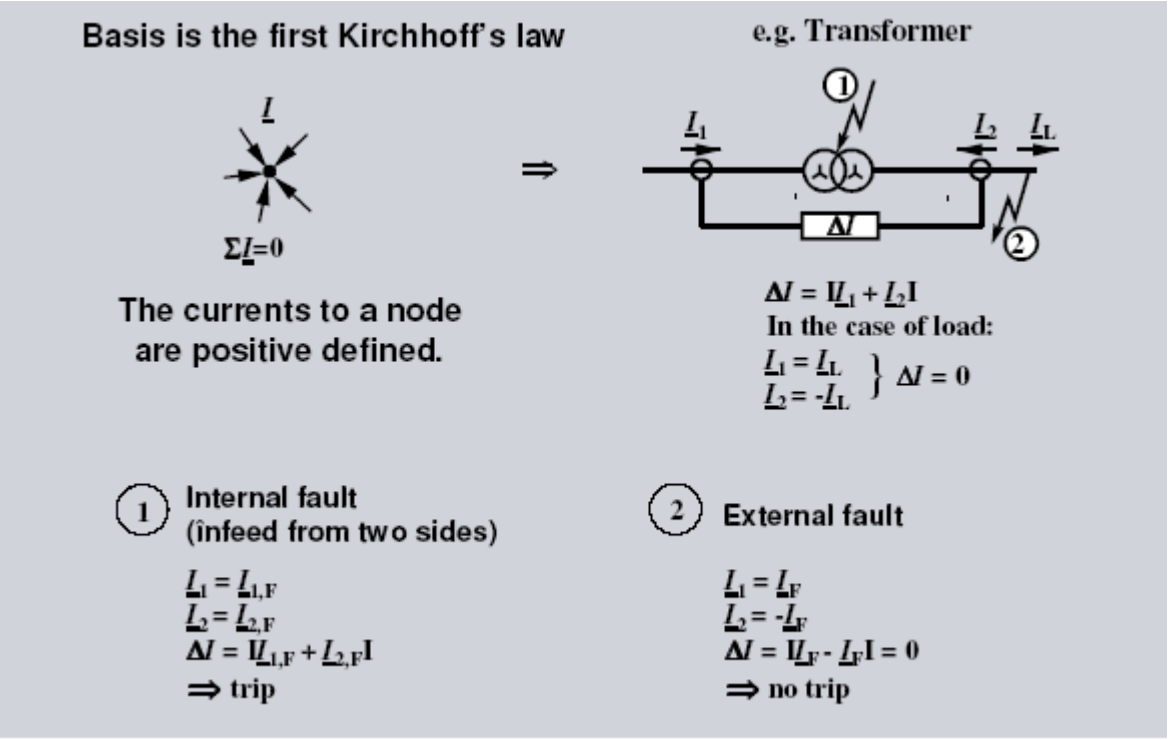
۳- غیر فعال کردن رله دیفرانسیل در پروسه برقدار کردن ترانسفورماتور

۴- تأخیر زمانی

- حفاظت دیفرانسیل نباید در شرایط زیر عمل نماید:

۱- در صورتیکه خطا در خارج از ترانسفورماتور اتفاق بیافتد

۲- در صورت اختلاف جریان اولیه و ثانویه در صورت تغییر tap



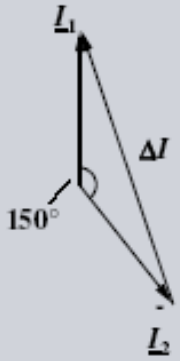
- جریان جاری شده در رله باید در هنگام کارکرد عادی ترانسفورماتور و در حالت وجود خطا در خارج از ترانسفورماتور نزدیک صفر باشد.
- در هنگام setting یک رله دیفرانسیل دریک ترانسفورماتور، باید اختلاف جریان tap های حداکثر و حداقل در نظر گرفته شوند.

- جریان Pick up یا bias setting با در نظر گرفتن یک حاشیه اطمینان (safety margin) از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{Bias setting} = \frac{|I_1 - I_2|}{(I_1 + I_2)/2}$$

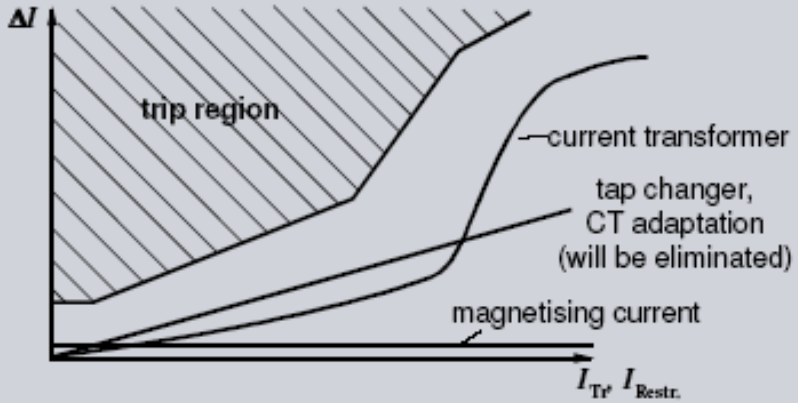
- رله های نیومریک numerical relays از تکنیکهایی مانند بلوکه کردن هارمونیکها و همچنین تشخیص شکل موج جریان استفاده می کنند.
- در رله های نیومریک numerical relays می توان گروه اتصال ترانسفورماتور را وارد نمود و CT ها را به شکل ستاره متصل نمود.

1. Vector group (e. g. Yd5)



⇒ **vector group adaptation**

2. Different CT´s, tap changer, magnetising current



⇒ **restraint function (stabilising) is necessary**

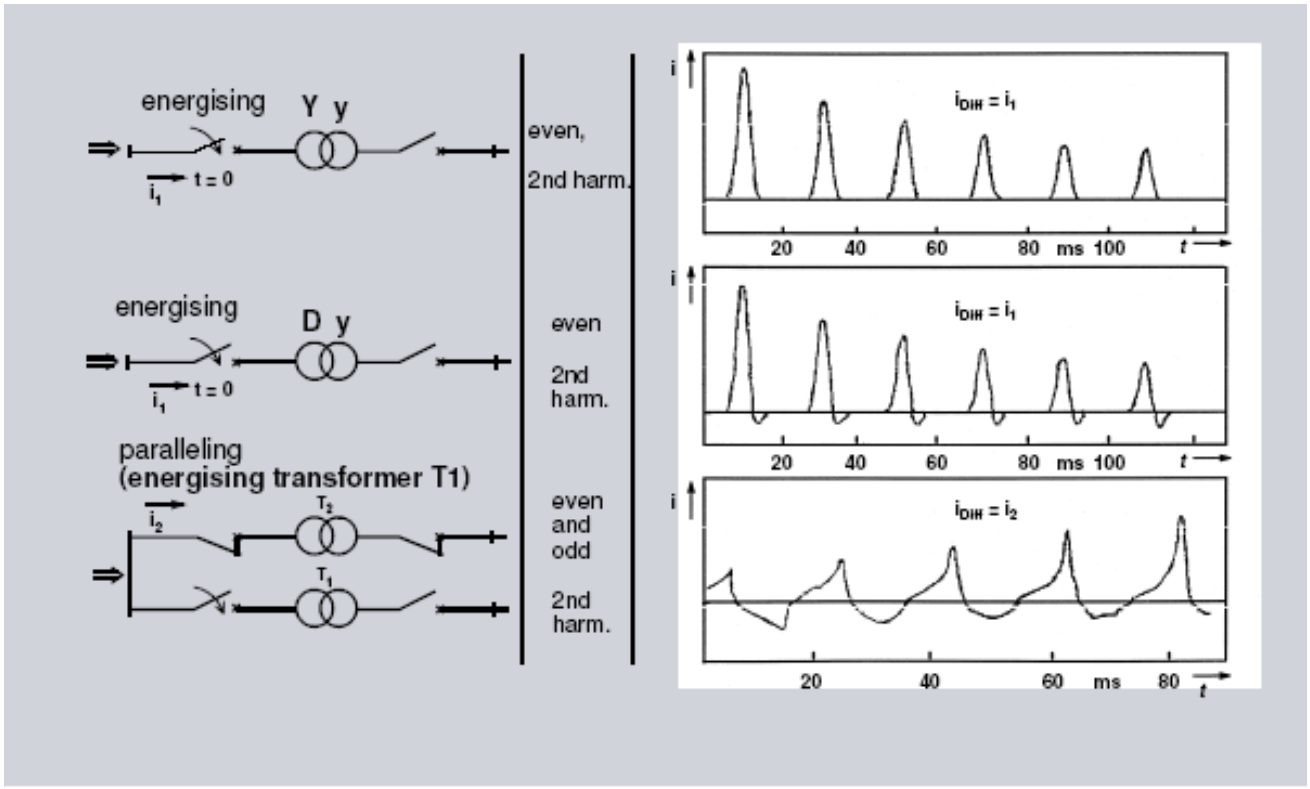
- $\Delta I = f(I_{restr.})$
- $I_{restr.} = |\underline{I}_1| + |\underline{I}_2|$

3. Dynamic currents

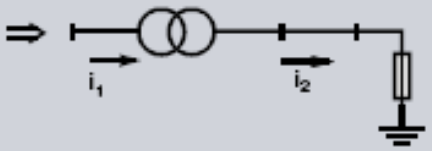
- inrush current
- overflux (overexcitation)
- CT saturation during external faults

⇒ **blocking via harmonics**

⇒ **saturation detector**


energising
Y y
t = 0
i_1
even,
2nd harm.
energising
D y
t = 0
i_1
even
2nd
harm.
paralleling
(energising transformer T1)
i_2
T_2
T_1
even
and
odd
2nd
harm.
i
$i_{DIH} = i_1$
20
40
60
80
ms
100
t
i
$i_{DIH} = i_1$
20
40
60
80
ms
100
t
i
$i_{DIH} = i_2$
20
40
60
ms
80
t

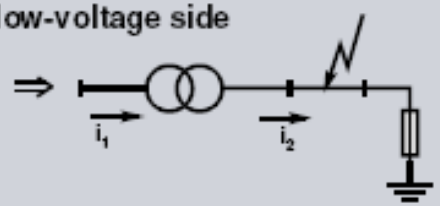
Over-excitation
$U_{Tr} > U_N$



odd

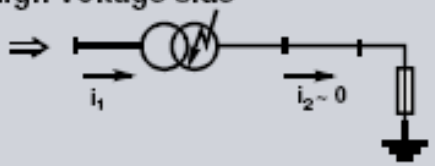
3rd and 5th harm.

External short circuit **with saturation of the CTs at the low-voltage side**

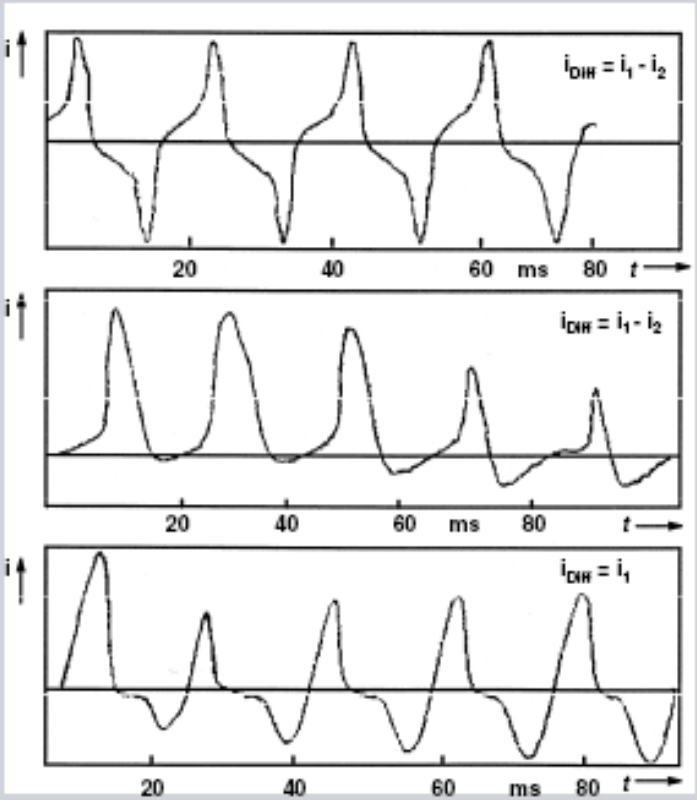


even and odd

internal short circuit **with saturation of the CTs at the high-voltage side**

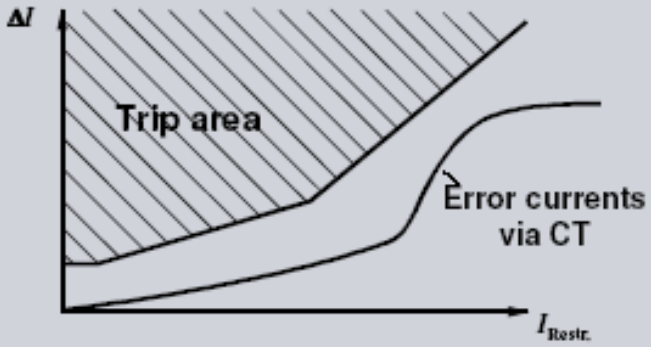


even and odd



Basic principle can be nearly direct used.

1. Stabilising characteristic



⇒ identically current transformers

⇒ sensitive setting is possible

2. Transients ⟷ sensitive settings

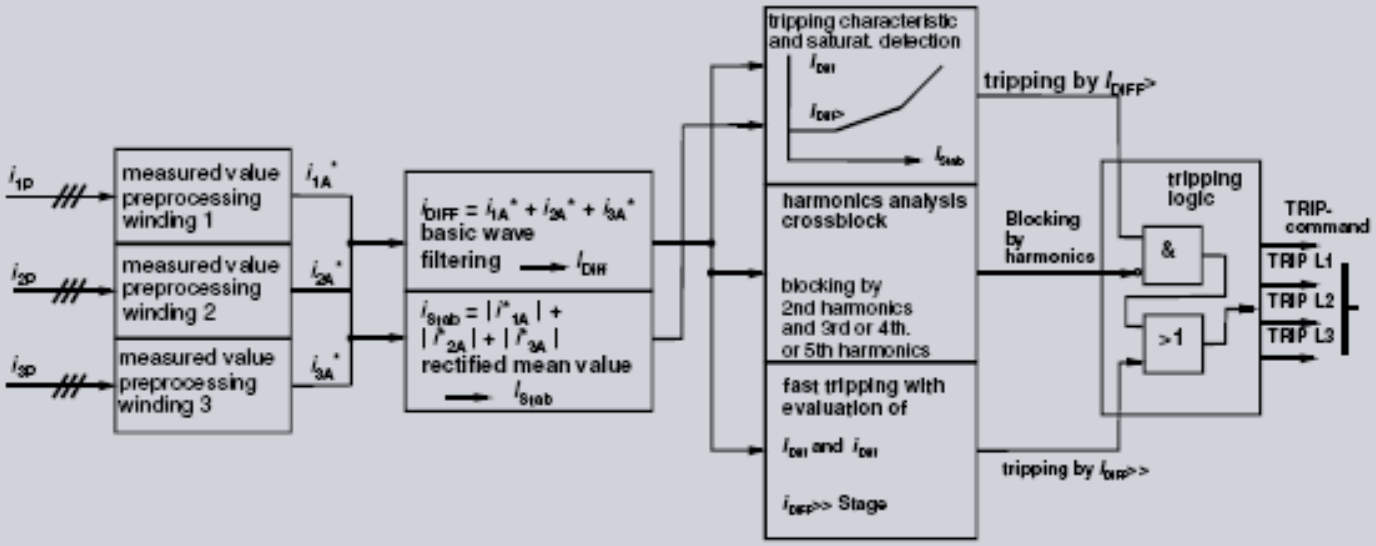
generators: external short circuit with large dc time constants

motors: start-up currents

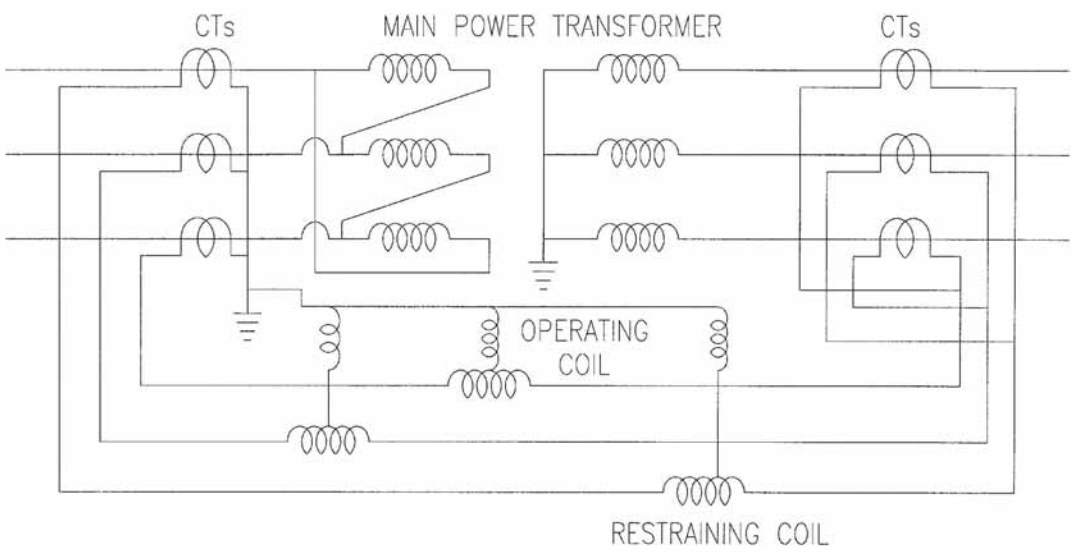
transient transfer features of a CT are important (dc component)

Insensitive settings at

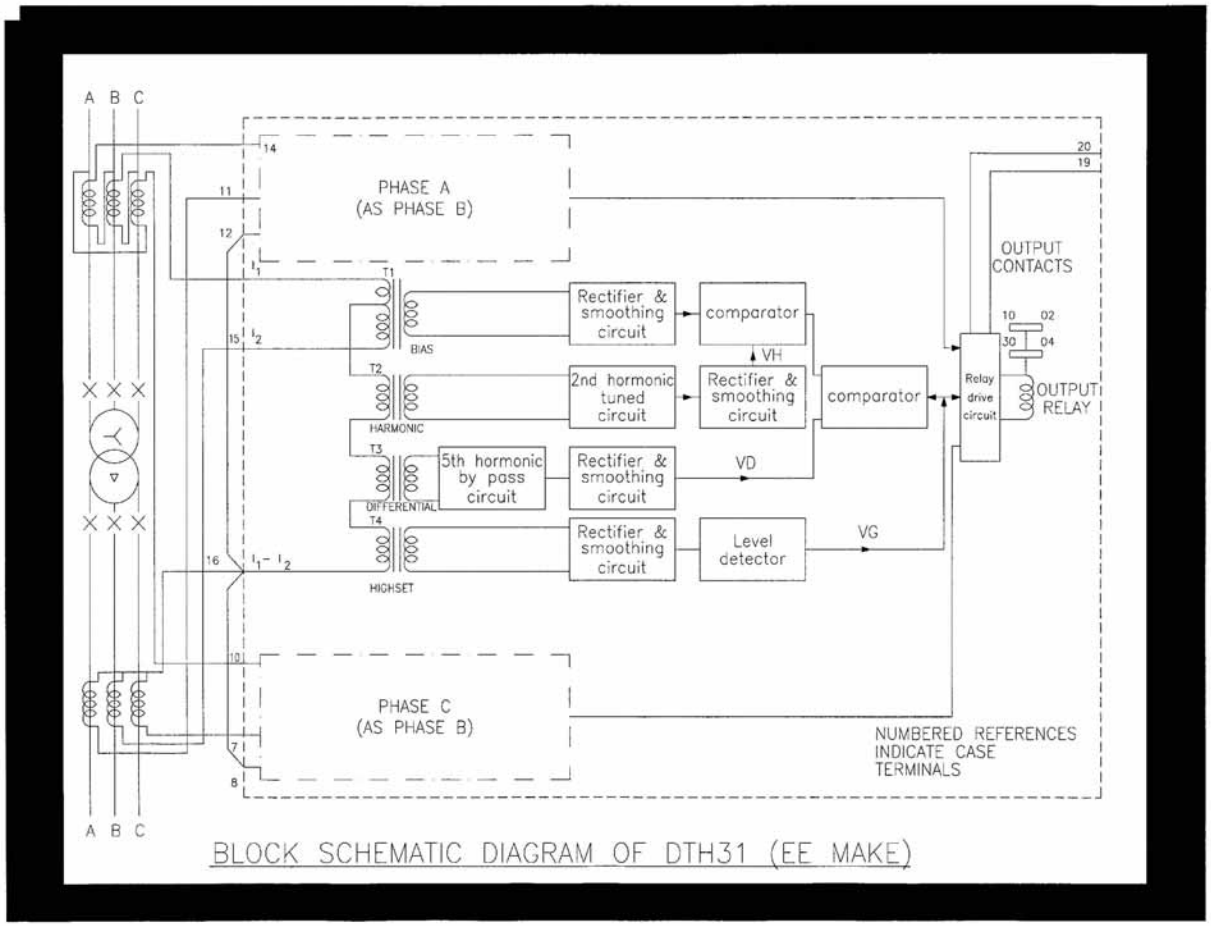
- matching transformers in the secondary circuit
- different primary CTs
- different burden

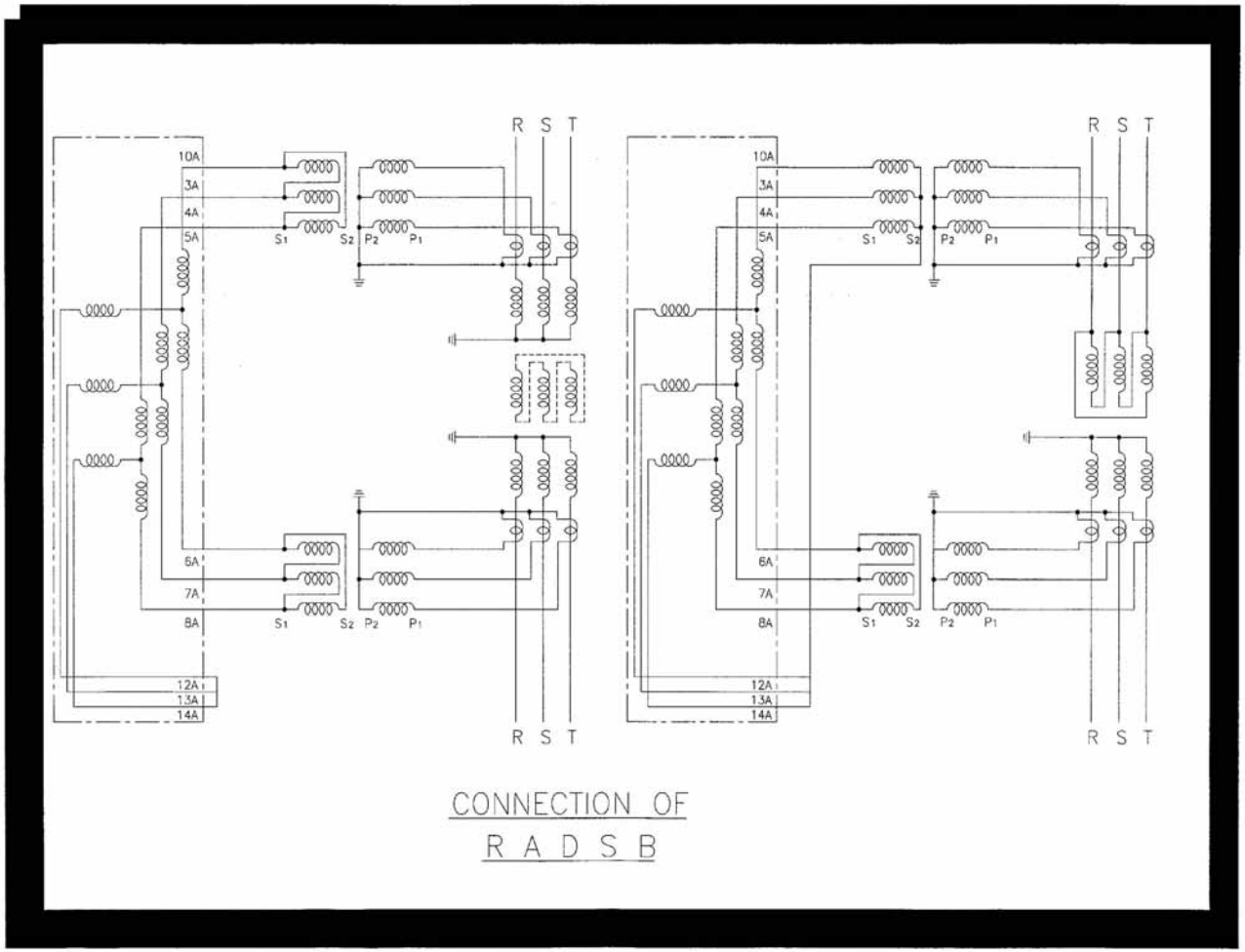


i_{1P}, i_{2P}, i_{3P}	sampling values from winding 1, 2, 3
i^*_{1A}, i^*_{2A}, i^*_{3A}	values after vector group and CT matching
I_{Diff}	basic wave contents in the differential current
i_{Diff}	differential current
I_{Stab}	rectified mean value of the stabilising current
i_{Stab}	stabilising current



DIFFERENTIAL RELAY CONNECTIONS FOR A DELTA–STAR TRANSFORMER


A B C
PHASE A
(AS PHASE B)
PHASE C
(AS PHASE B)
T1
BIAS
T2
HARMONIC
T3
DIFFERENTIAL
T4
HIGHSET
Rectifier & smoothing circuit
comparator
VH
2nd hormonic tuned circuit
Rectifier & smoothing circuit
comparator
5th hormonic by pass circuit
Rectifier & smoothing circuit
VD
Rectifier & smoothing circuit
Level detector
VG
Relay drive circuit
OUTPUT CONTACTS
10
02
30
04
OUTPUT RELAY
20
19
NUMBERED REFERENCES INDICATE CASE TERMINALS
BLOCK SCHEMATIC DIAGRAM OF DTH31 (EE MAKE)

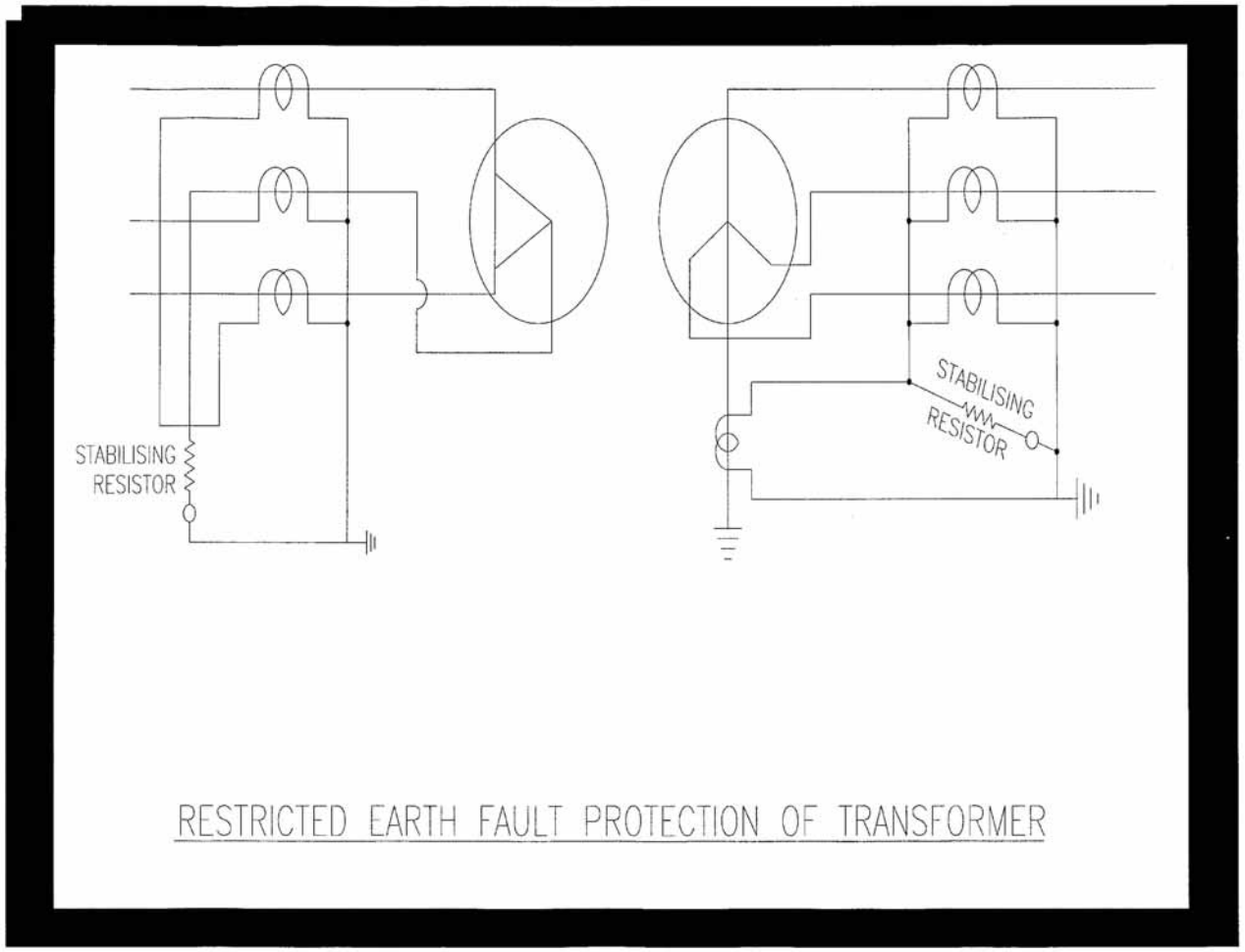


CONNECTION OF

R A D S B

حفاظت Restricted earth fault

- این حفاظت و رله آن فقط برای خطاهای داخلی ترانسفورماتور با جریان های پایین که رله دیفرانسیل قادر به تشخیص آنها نیست عمل می کند.
- برای خطاهای بیرون از محدوده حفاظتی (ترانسفورماتور) هیچ جریانی از رله REF نمی گذرد، مگر در صورتیکه یک CT اشباع شود. بنابراین حداقل جریان Pick up بر روی 10% In یا 20% In میتواند set شود.
- بر مبنای جریان خطا، مقاومت پایدار کننده stabilizing resistor بر مبنای مقداری انتخاب می شود که رله برای خطاهای خارجی وقتی که یک CT اشباع می شود عمل نکند و فقط برای خطاهای داخلی به شکل Instantaneous عمل نماید.



RESTRICTED EARTH FAULT PROTECTION OF TRANSFORMER

مثال:

in primary

Fault current $I_f = 2500A$

C.T ratio $= 300/1A$

Secondary fault current $= \frac{2500}{300} = 8.33A$

R_{CT} = C.T resistance $= 5\Omega$

T_L = Lead resistance $= 3\Omega$

$V_K = I_f * (R_{CT} + R_L) = 8.33 * (5+3) = 66.64$volts

V_K = Voltage developed across C.T (saturated)

Relay burden $= 1VA$

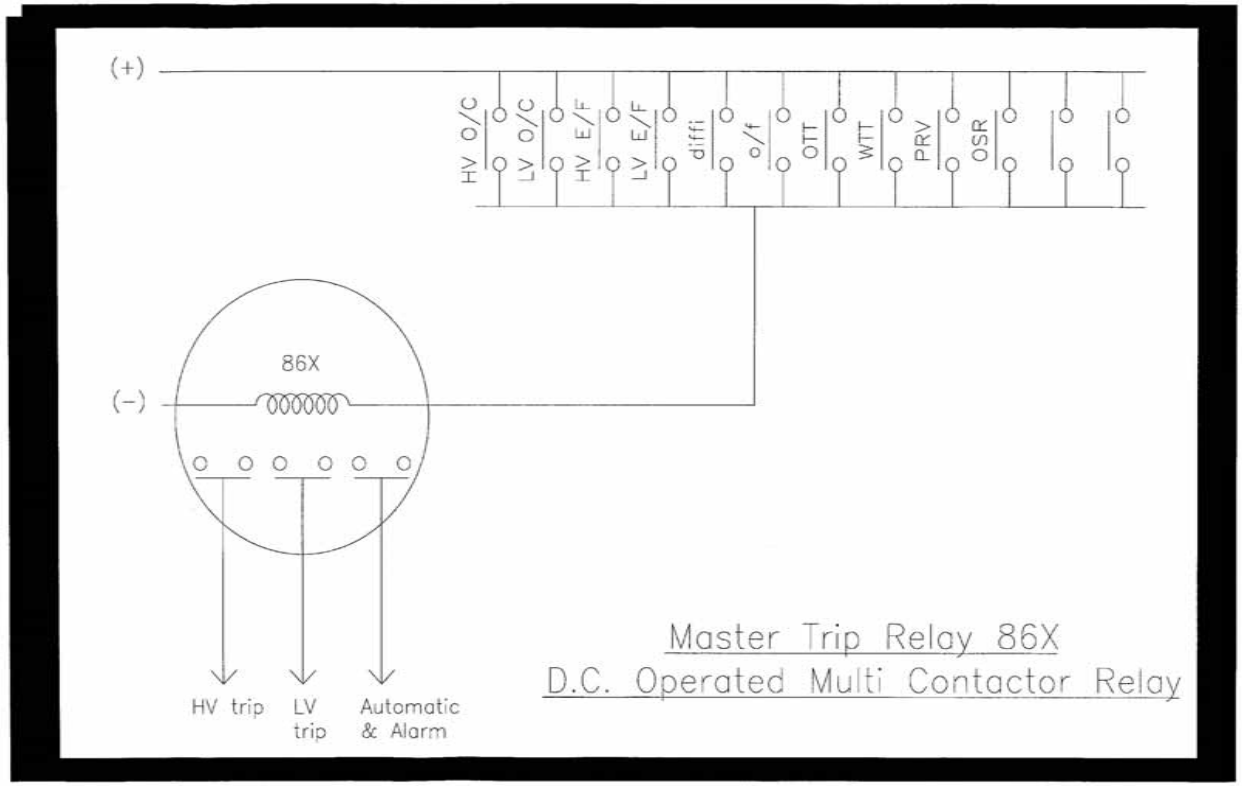
Relay operating curren $= 0.2A$ (set value)

Relay operating voltage V_R

$$V_R = \frac{\text{Relay burden}}{\text{Relay operating current}} = \frac{1}{0.2} = 5\text{volt}$$

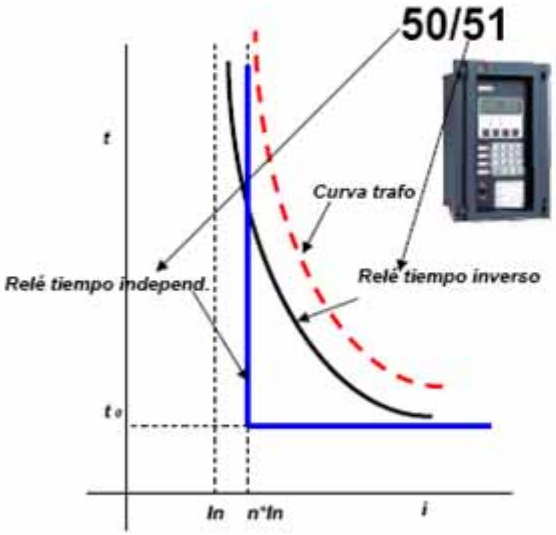
$$\text{Stabilizing resistor} = \frac{V_K - V_R}{I_{set}} = \frac{66.64 - 5}{0.2} \Rightarrow S_R = 308.2\Omega \cong 310\Omega$$

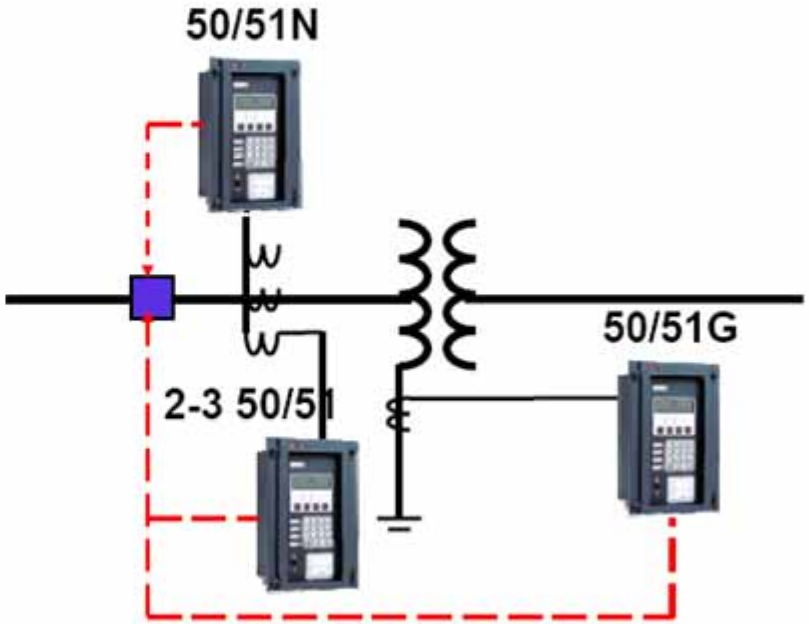
What is its role?



حفاظت Overcurrent

- حفاظت Overcurrent یا اضافه جریان (Device 50/51) برای ترانسفورماتورهای با قدرت کمتر از 10 MVA بعنوان حفاظت main و برای ترانسفورماتورهای با قدرت بالاتر از 10 MVA به عنوان حفاظت Back up حفاظت Differential در نظر گرفته می شود.
- حفاظت Overcurrent باید بگونه ای set شود که مانع از اضافه بارگیری Overloading ترانسفورماتور نشود.
- حفاظت Overcurrent از نوع Inverse معمولاً بهترین حالت را برای Coordination با سایر رله ها بدست می دهد.
- عملکرد سریع در خطاهای شدید در رله Overcurrent توسط واحد Instantaneous تأمین می شود.
- واحد Instantaneous برای حداکثر ۱۲۵٪ حداکثر خطا set میشود.
- جریان setting رله Overcurrent باید بالاتر از حد جریان هجومی در نظر گرفته شود. در بعضی مواقع استفاده از واحد Instantaneous امکانپذیر نیست چون مقدار جریان خطا پایین است.
- در مورد اتو ترانسفورماتورها و ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه رله Overcurrent حفاظت مناسبی برای سیم پیچ سوم که توان آن پایین است بدست نمیدهد.


50/51
t
Curva trafo
Relé tiempo independ.
Relé tiempo inverso
t o
In
n*In
i

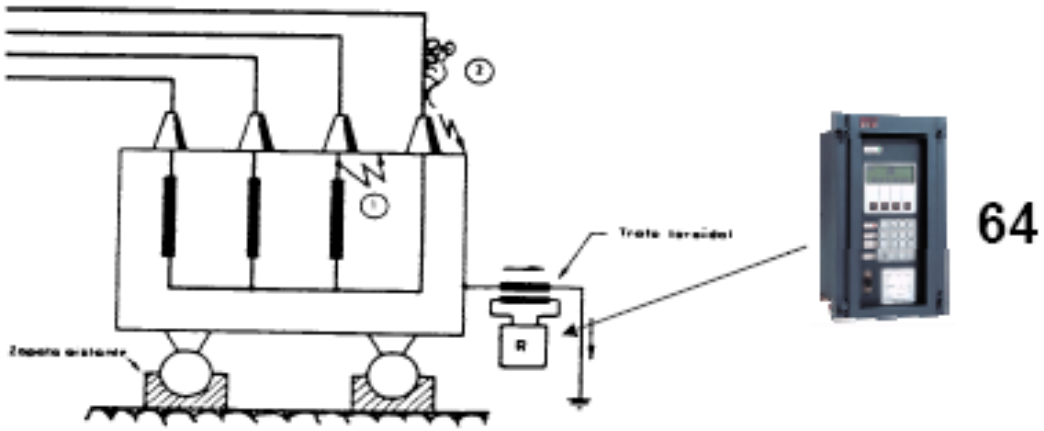

50/51N
50/51G
2-3 50/51

حفاظت اضافه تحریک Overfluxing protection

- وضعیت اضافه تحریک در ترانسفورماتور در حالت اضافه ولتاژ و یا افت فرکانس اتفاق میافتد.
- وضعیت اضافه تحریک باعث افزایش اندوکسیون در هسته و افزایش تلفات آن و نهایتاً گرم شدن هسته می شود.
- وضعیت اضافه تحریک نباید باعث ارسال سیگنال trip شود.
- رله های با منحنی مشخصه Inverse و Definite time delay برای این حفاظت استفاده می شوند.

حفاظت جریان نشتی از تانک ترانسفورماتور

- این حفاظت می تواند جریان عبوری از تانک به زمین را در صورت بروز خطایی مثل اتصال کوتاه داخلی در ترانسفورماتور تشخیص دهد.
- این حفاظت اساساً بر مبنای یک رله Overcurrent عمل می کند.
- در این سیستم حفاظت رله اتصال و عبور جریان از بوشینگ و یا اکتیوپارت به زمین را تشخیص می دهد.
- در این سیستم حفاظتی تانک باید کاملاً نسبت به زمین ایزوله شده باشد و از یک ترانسفورماتور جریان برای زمین کردن تانک استفاده می شود.



ضمیمه شماره ۱

DEVICE CODE

DEVICE CODE

Protection functions

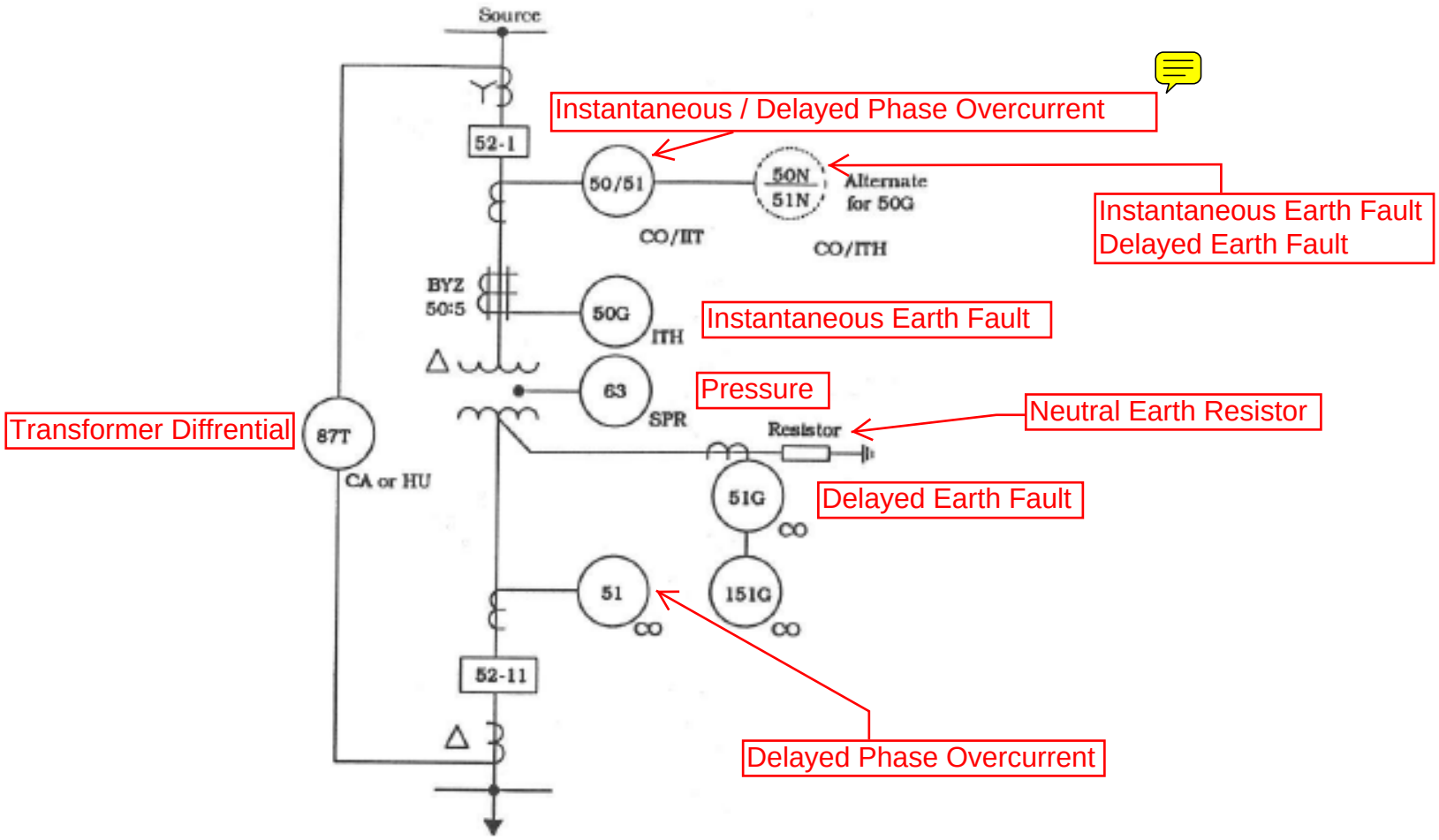
List of functions

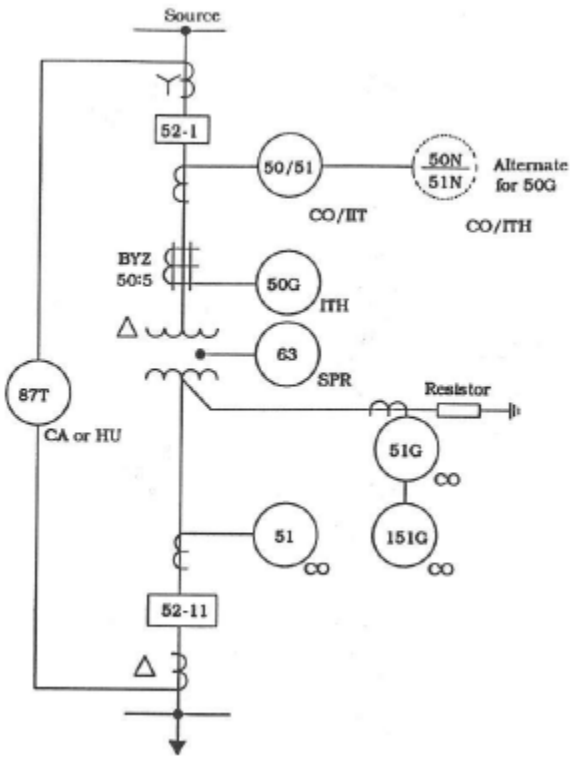
The main protection functions are listed with a brief definition in the table below.
They are listed in numerical order by ANSI C37.2 code.

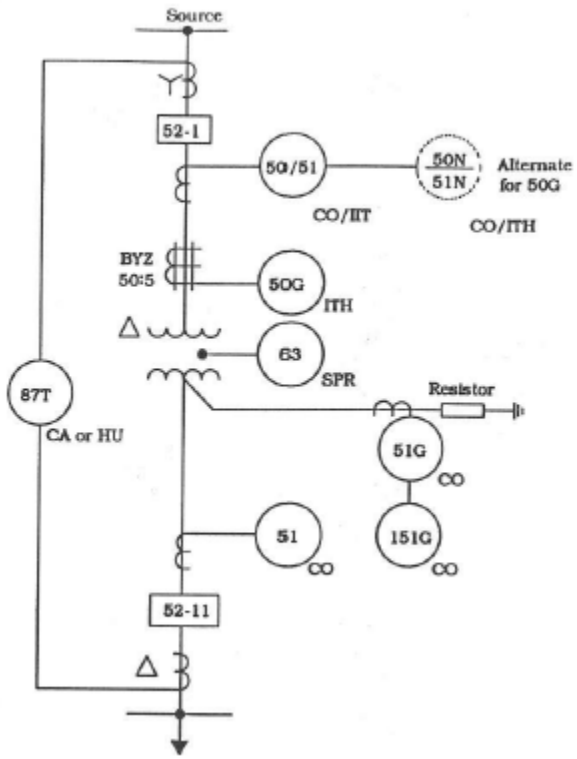
ANSI code	Name of function	Definition
12	Overspeed	Detection of rotating machine overspeed
14	Underspeed	Detection of rotating machine underspeed
21	Distance protection	Impedance measurement detection
21B	Underimpedance	Back-up phase-to-phase short-circuit protection for generators
24	Flux control	Overfluxing check
25	Synchro-check	Check before paralleling two parts of the power system
26	Thermostat	Protection against overloads
27	Undervoltage	Protection for control of voltage sags
27D	Positive sequence undervoltage	Protection of motors against operation with insufficient voltage
27R	Remanent undervoltage	Check on the disappearance of voltage sustained by rotating machines after the power supply is disconnected
27TN	Third harmonic undervoltage	Detection of stator winding insulation earth faults (impedant neutral)
32P	Directional active overpower	Protection against active overpower transfer
32Q	Directional reactive overpower	Protection against reactive overpower transfer
37	Phase undercurrent	3-phase protection against undercurrent
37P	Directional active underpower	Protection against active underpower transfer
37Q	Directional reactive underpower	Protection against reactive underpower transfer
38	Bearing temperature monitoring	Protection against overheating of rotating machine bearings
40	Field loss	Protection of synchronous machines against faults or field loss
46	Negative sequence / unbalance	Protection against unbalanced phase current
47	Negative sequence overvoltage	Negative sequence voltage protection and detection of reverse rotation of rotating machines
48 - 51LR	Excessive starting time and locked rotor	Protection of motors against starting with overloads or reduced voltage, and for loads that can block
49	Thermal overload	Protection against overloads
49T	RTDs	Protection against overheating of machine windings
50	Instantaneous phase overcurrent	3-phase protection against short-circuits
50BF	Breaker failure	Checking and protection if the circuit breaker fails to trip after a tripping order
50N or 50G	Instantaneous earth fault	Protection against earth faults: 50N: residual current calculated or measured by 3 CTs 50G: residual current measured directly by a single sensor (CT or core balance CT)
50V	Instantaneous voltage-restrained phase overcurrent	3-phase protection against short-circuits with voltage-dependent threshold
50/27	Inadvertent generator energization	Detection of inadvertent generator energization
51	Delayed phase overcurrent	3-phase protection against overloads and short-circuits
51N or 51G	Delayed earth fault	Protection against earth faults: 51N: residual current calculated or measured by 3 CTs 51G: residual current measured directly by a single sensor (CT or core balance CT)
51V	Delayed voltage-restrained phase overcurrent	3-phase protection against short-circuits with voltage-dependent threshold
59	Overvoltage	Protection against excessive voltage or sufficient voltage detection
59N	Neutral voltage displacement	Insulation fault protection
63	Pressure	Detection of transformer internal faults (gas, pressure)
64REF	Restricted earth fault differential	Earth fault protection for star-connected 3-phase windings with earthed neutral
64G	100% generator stator earth fault	Detection of stator winding insulation earth faults (impedant neutral power systems)
66	Successive starts	Protection function that monitors the number of motor starts
67	Directional phase overcurrent	3-phase short-circuit protection according to current flow direction
67N/67NC	Directional earth fault	Earth fault protection depending on current flow direction (NC: Neutral compensated)
78	Vector shift	Vector shift disconnection protection
78PS	Pole slip	Detection of loss of synchronization of synchronous machines
79	Recloser	Automated device that recloses the circuit breaker after transient line fault tripping
81H	Overfrequency	Protection against abnormally high frequency
81L	Underfrequency	Protection against abnormally low frequency
81R	Rate of change of frequency (ROCOF)	Protection for fast disconnection of two parts of the power system
87B	Busbar differential	3-phase protection against busbar internal faults
87G	Generator differential	3-phase protection against internal faults in AC generators
87L	Line differential	3-phase protection against line internal faults
87M	Motor differential	3-phase protection against internal faults in motors
87T	Transformer differential	3-phase protection against internal faults in transformers

ضمیمه شماره ۲

دیاگرام تک خطی حفاظتی شماتیک برای ترانسفورماتور


Source
52-1
50/51
CO/IIT
50N
51N
Alternate
for 50G
CO/ITH
BYZ
50:5
50G
ITH
63
SPR
87T
CA or HU
Resistor
51G
CO
51
CO
151G
CO
52-11
Instantaneous / Delayed Phase Overcurrent
Instantaneous Earth Fault
Delayed Earth Fault
Instantaneous Earth Fault
Pressure
Transformer Diffrential
Neutral Earth Resistor
Delayed Earth Fault
Delayed Phase Overcurrent


Source
52-1
50/51
50N
51N
Alternate
for 50G
CO/IIT
CO/ITH
BYZ
50:5
50G
ITH
63
SPR
Resistor
87T
CA or HU
51G
CO
51
CO
151G
CO
52-11


Source
52-1
50/51
50N
51N
Alternate
for 50G
CO/IIT
CO/ITH
BYZ
50:5
50G
ITH
63
SPR
Resistor
87T
CA or HU
51G
CO
51
CO
151G
CO
52-11

حفاظت ترانسفورماتور

خطاهای محتمل در ترانسفورماتور

External

1- External Short circuit
2- Overloads
3- Overvoltage

Internal

1- Internal Short circuit
1.1- Between turns
1.2- Between windings
2- Grount faults
3- Overtemperature
4- Overpressure
5- Miss of oil
6- Saturation

حفاظت های مکانیکی

۱- رله بوخهلتس

۲- رله فشار شکن

۳- ترمومتر ها

۴- نشانگر سطح روغن

۵- Sudden pressure relay

۶- رله های حفاظتی کلید تنظیم ولتاژ

حفاظت های الکتریکی

1- Surge Arrestors

2- Overcurrent relay

2.1- Phase

2.2- Neutral

3- Differential relay

4- Overload relay

5- Restricted earth fault relay

6- Tank relay

7- Fuses

رله های مکانیکی

۱- رله بوخهلتس

این رله در لوله رابط بین مخزن و منبع انبساط نصب می شود. شیب لوله رابط برای عملکرد صحیح رله حداقل باید ۲ تا ۴٪ باشد. رله بوخهلتس دو عملکرد دارد:

- حبابهای گازی را که در مخزن (به هر دلیل ممکن) تولید می شوند در مسیر خود به منبع انبساط جمع آوری می کند، وبسته به شرایط سیگنال آلارم و یا تریپ ارسال می نماید.
- نسبت به جریان روغن حساس است و در صورتیکه جریان روغن از یک حد معین تجاوز نماید سیگنال تریپ ارسال می کند.

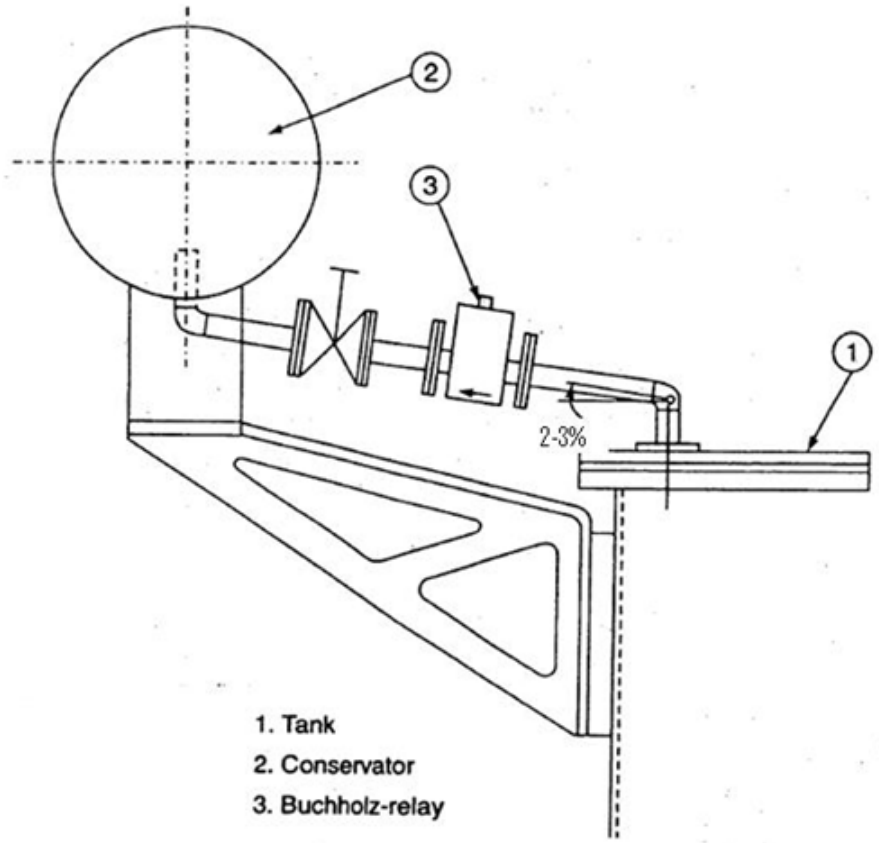
اسم این رله مرتبط با مخترع آن می باشد.

رله های بوخهلتس می توانند دو شناوره یا تک شناوره باشند. در ترانسفورماتورهای کوچک از نوع تک شناوره معمولاً استفاده می شود. رله های بوخهلتس هم به گاز و هم به جریان روغن حساس هستند در حالیکه رله حفاظتی کلید تنظیم ولتاژ فقط به جریان روغن حساس است.

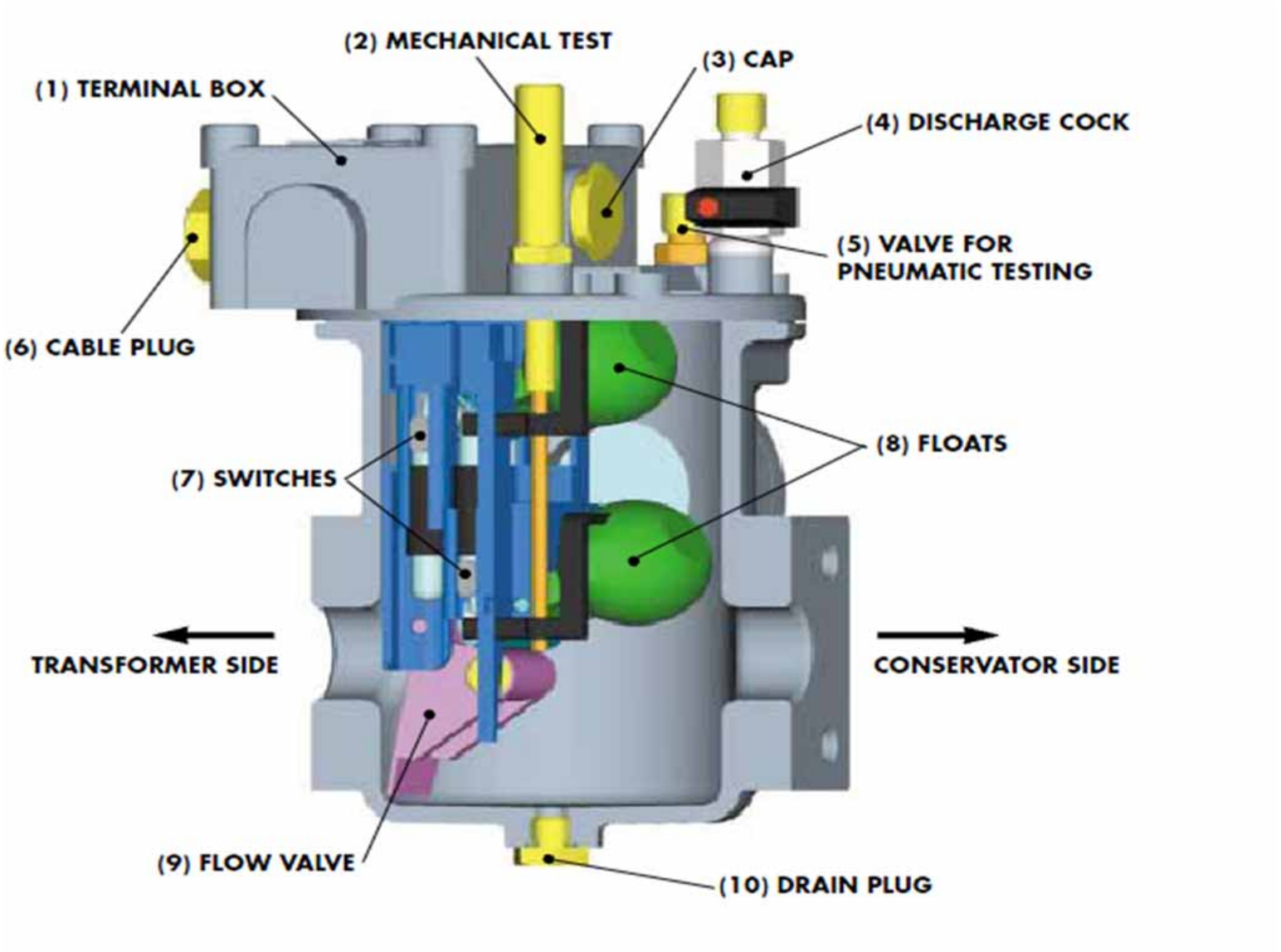
وجود گاز در ترانسفورماتور می تواند نشاندهنده یک خطای شدید مثل اتصال کوتاه و قوس الکتریک و یا نشاندهنده مسائلی مثل Overheating و hot spot موضعی در ترانسفورماتور باشد.

وقتی تحت شرایط خاصی در ترانسفورماتور حبابهای گاز تولید می شوند این حبابها به سمت منبع انبساط حرکت کرده و باعث عملکرد شناورها می شوند که بسته به میزان گاز سیگنال آلارم و یا تریپ ارسال می شود.

ounting Buchholz - relay transformer



Iran Transformer research institute


(1) TERMINAL BOX
(2) MECHANICAL TEST
(3) CAP
(4) DISCHARGE COCK
(5) VALVE FOR PNEUMATIC TESTING
(6) CABLE PLUG
(7) SWITCHES
(8) FLOATS
TRANSFORMER SIDE
CONSERVATOR SIDE
(9) FLOW VALVE
(10) DRAIN PLUG

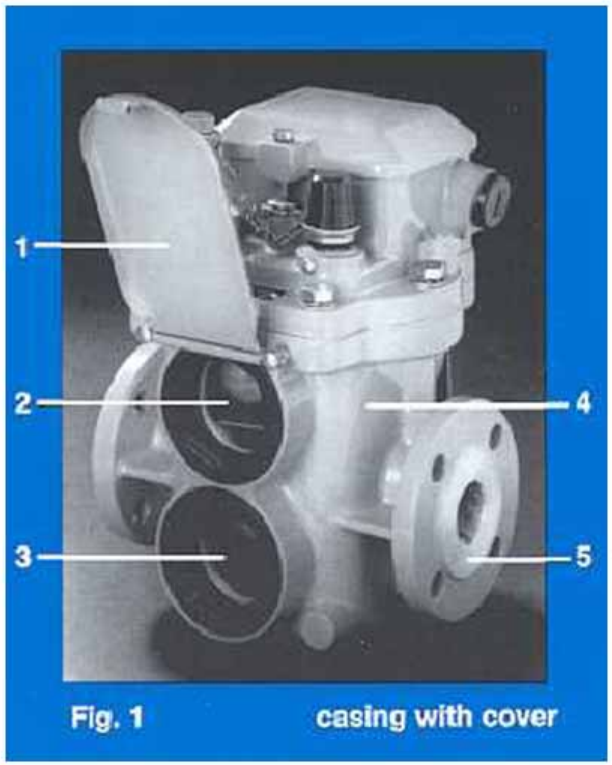


Fig. 1 casing with cover

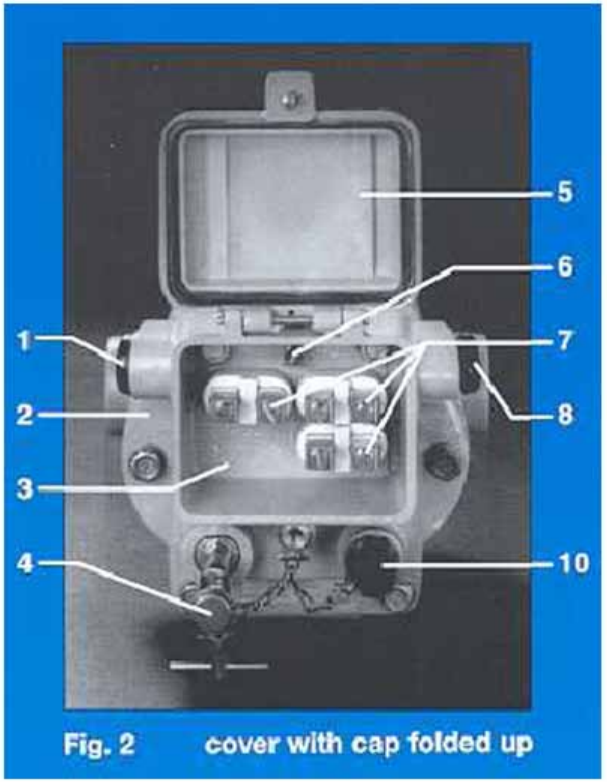
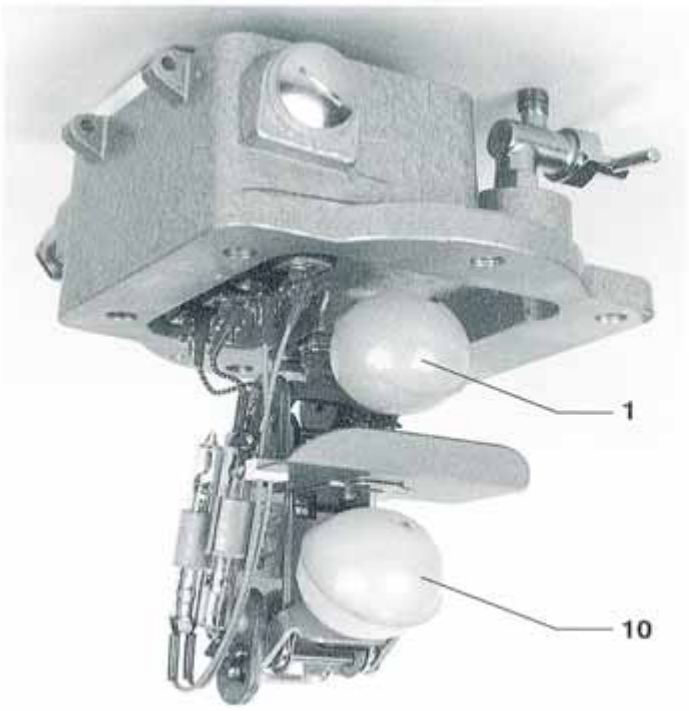


Fig. 2 cover with cap folded up



Switchgear

The switchgear has the following main components:

- Function element(s), switching system(s)
- Carrier, frame
- Mechanical testing device

The single- float Buchholz relay has only one switching system (see para. 3). The double- float Buchholz relay has an upper and a lower switching system (see para. 3).

The upper switching system comprises:

- One float (1)
- One permanent magnet(6)
- One (two) magnet contact tube(s) (8)

The lower switching system comprises:
- One float (10)
- One permanent magnet (9)
- One (two) magnet contact tube(s) (7)
- One damper (4)

- در صورت وجود خطاهای نه چندان شدید مثل داغ شدن قطعات فلزی، وجود hot spot و ... در ترانسفورماتور، بصورت موضعی نقاط داغ بوجود میایند که این نقاط داغ باعث تجزیه مواد عایقی جامد و مواد سلولزی می شوند که خود باعث بوجود آمدن حبابهای گاز در ترانسفورماتور میشوند. این خصوصیت در طراحی رله بوخهلتس یا Gas actuated relay استفاده شده است. از این رله فقط در ترانسفورماتورهایی که منبع انبساط دارند و مخزن کاملاً با روغن پر شده و تانک ترانسفورماتور توسط یک لوله به منبع انبساط وصل شده است استفاده میشود.

رله بوخهلتس گاهی اوقات می تواند سیگنال اشتباهی ارسال کند، مثلاً وقتی روغن به ترانسفورماتور اضافه می شود، حبابهای هوا می توانند به همراه روغن وارد مخزن شده و سپس به مرور وارد رله شده و باعث ارسال سیگنال آلارم شوند.

همچنین در صورت وجود اتصال کوتاه در خارج از ترانسفورماتور یک جریان شدید روغن می تواند در ترانسفورماتور بوجود بیاید. در صورت عبور جریان های شدید اتصال کوتاه از سیم پیچ ها، این جریان ها باعث داغ شدن سیم پیچ و روغن شده و میتوانند باعث جریان و حرکت روغن با سرعتی بالاتر از حد عملکرد رله بوخهلتس و نهایتاً عملکرد شناور پایینی و ارسال سیگنال تریپ شوند.

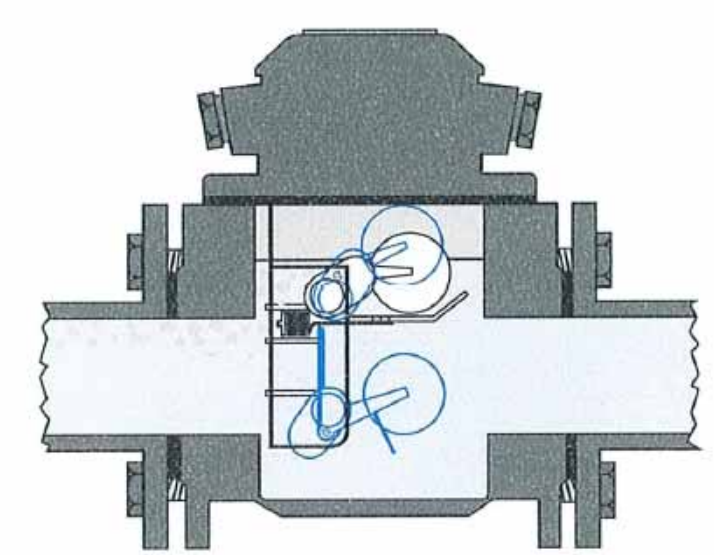
در اتصال رله بوخهلتس به ترانسفورماتور حتماً باید به شیب و زاویه لوله رابط تانک به منبع انبساط توجه نمود. بعضی از سازندگان شیت 2^{o} تا 3^{o} و بعضی شیب ۱/۲٪ تا ۳٪ را پیشنهاد می کنند.

همچنین باید از وضعیت شناورها و اینکه دارای منفذ نمی باشند اطمینان خاطر حاصل کرد برای اینکار شناورها را در روغن داغ فرو می کنند.

حالتهایی که رله عمل می کند:

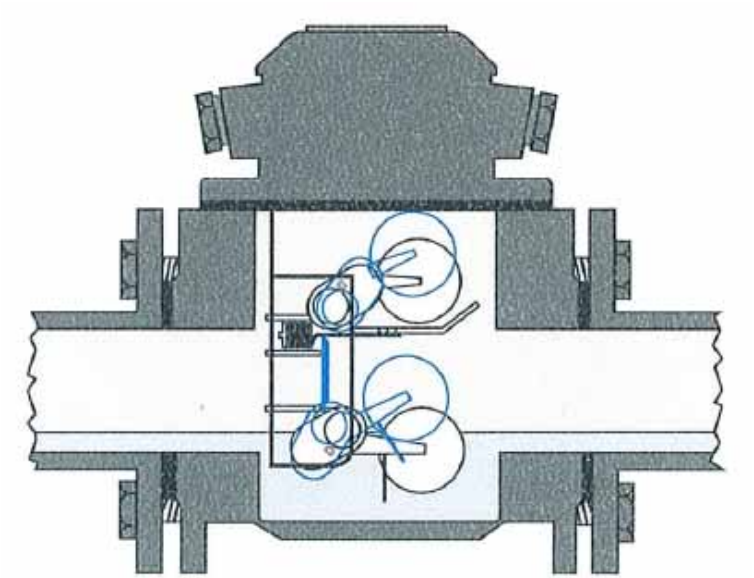
۱- جمع شدن گاز در رله

مسئله ای مانند Overheating و یا وجود hot spot های موضعی باعث تولید گاز منتهی به شکل تدریجی در ترانسفورماتور می شوند. این حبابهای گاز به سمت بالا و منبع انبساط حرکت کرده و در رله لوخهلتس جمع می شوند، این حبابهای گاز باعث جابجایی روغن درون رله شده و همین امر باعث حرکت شناور و پایین افتادن شناور بالایی می شود. شناور بالایی معمولاً برای ارسال سیگنال آلارم استفاده می شود. طراحی رله بوخهلتس به نحوی است که فقط مقدار معینی از گاز می تواند باعث جابجایی شناور بالا شود، در صورتیکه حجم گاز خیلی زیاد باشد شناور پایین که برای ارسال سیگنال تریپ در نظر گرفته می شود نیز جابجا شده و سیگنال تریپ ارسال می کند.



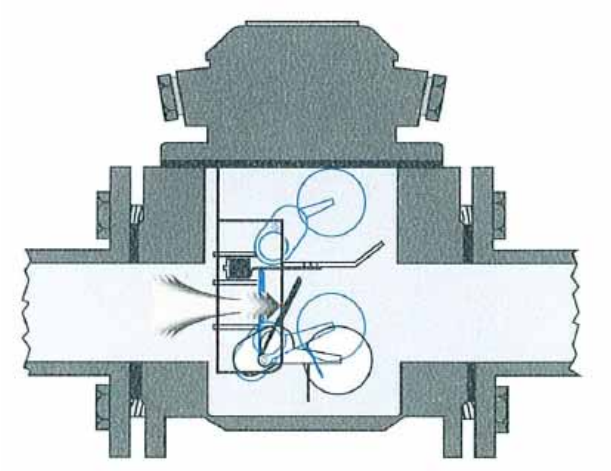
۲- نشت روغن از تانک

در صورتیکه روغن از ترانسفورماتور نشت کند، حجم روغن بعد از منبع انبساط در رله بوخهلتس نیز کـاهش یافتـه و باعـث عملکـرد شـناورهای رلـه و ارسال سیگنالهای آلارم و تریپ می شود.



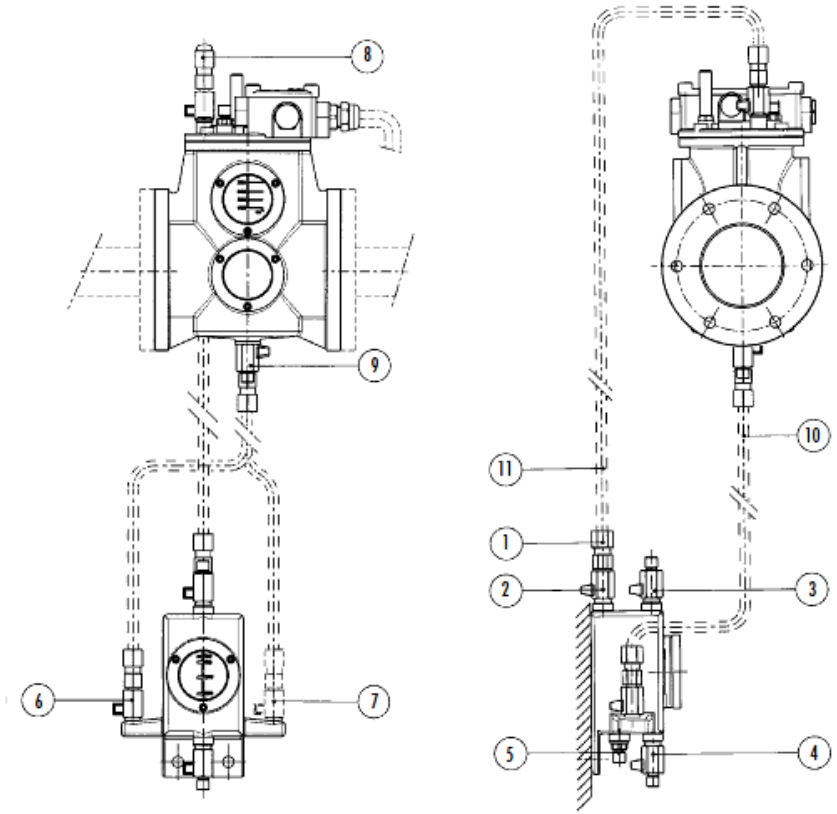
۳- جریان شدید روغن

در صورت بروز خطاهایی که مقدار زیادی انرژی در مدت زمان کم توسط آنها در ترانسفورماتور آزاد می شود (مثل اتصال کوتاههای شدید و یا بروز قوس الکتریکی به زمین و یا بین فازها) مقدار زیادی گاز در ترانسفورماتور تولید میشود که این حجم زیاد گاز فشار درون تانک را تغییر داده و باعث ارسال یک موج شدید روغن به سمت منبع انبساط شده ه این موج به صفحه میرا کننده ای که بر سر راه ورود روغن به رله بوخهلتس قرار گرفته برخورد می کند. در صورتیکه سرعت جریان روغن از حد حساسیت صفحه میراکننده نوسانات بیشتر شود، صفحه دمپر یا میراکننده پایین رفته و در همین حال شناور پایین را با خود به حرکت در آورده و باعث ارسال سیگنال تریپ می شود.



دستگاه جمع کننده گاز رله بوخهلتس

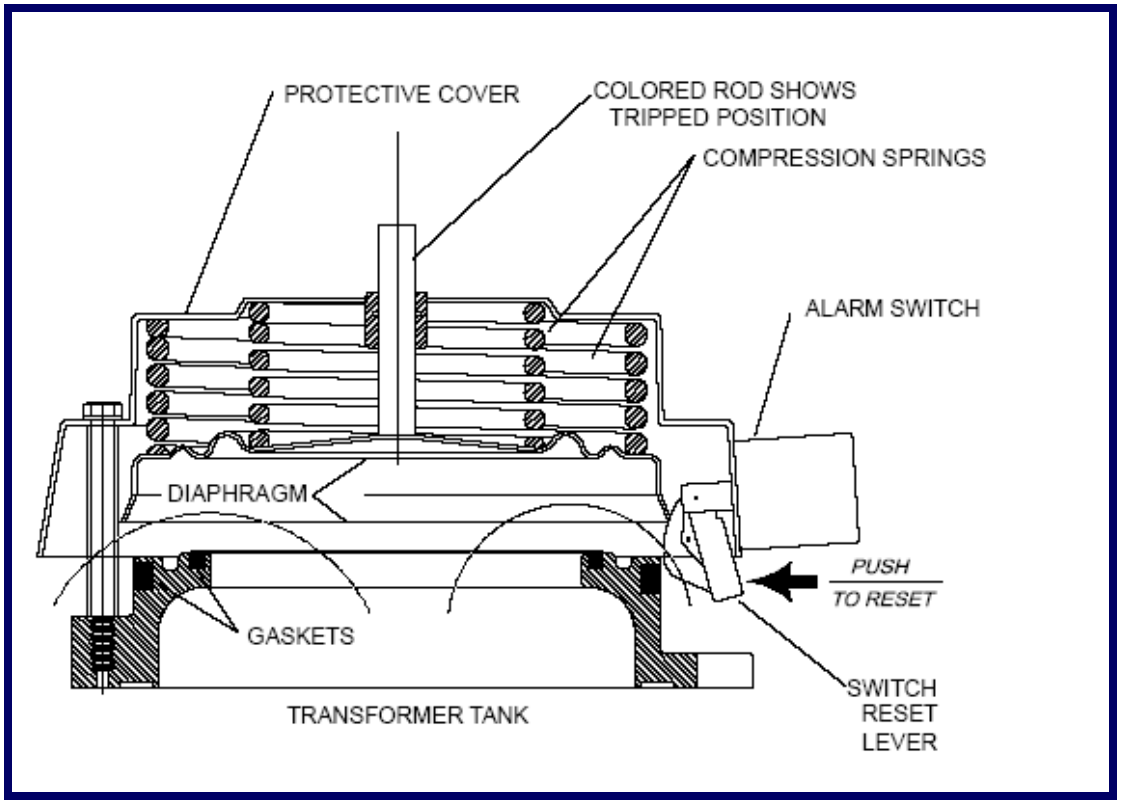
برای نمونه گیری گاز جمع شده در رله بوخهلتس در صورتی که ترانسفورماتور برق دار باشد می توان از دستگاه جمع کننده گاز استفاده نمود.



رله فشار شکن Pressure relief valve

رله فشار شکن نقش مهمی در حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت بازی می کند. بروز یک خطا مانند اتصال کوتاه در ترانسفورماتور سبب تبخیر لحظه ای روغن شده و باعث ایجاد یک جریان با فشار بالای گازی می شود. اگر این فشار در چند میلی ثانیه در تانک کاهش نیابد میتواند باعث صدمه دیدن تانک و نهایتاً ترانسفورماتور شود. رله فشار شکن، رله ای است که در این مواقع می تواند با آزاد کردن و تخلیه فشار درون تانک توسط بیرون ریختن روغن (تا حد مورد نیاز برای کاهش فشار) از صدمه دیدن ترانسفورماتور جلوگیری کند.

ساختار داخلی رله فشار شکن بگونه ای است که در صورتیکه فشار درون مخزن از یک حد مشخصی بیشتر شود دیافراگم آن به سمت بالا حرکت کرده و باعث می شود که حجم معینی از روغن بیرون بریزد و باعث کاهش فشار درون مخزن شود، همراه با حرکت دیافراگم به سمت بالا سیگنال تریپ نیز ارسال می شود.


PROTECTIVE COVER
COLORED ROD SHOWS TRIPPED POSITION
COMPRESSION SPRINGS
ALARM SWITCH
DIAPHRAGM
PUSH
TO RESET
GASKETS
SWITCH RESET LEVER
TRANSFORMER TANK

Sudden Pressure Relay

این رله قادر است که نرخ رشد فشار درون مخزن را تشخیص دهد، بعبارت دیگر خطاهایی که باعث نرخ رشد سریع فشار در مخزن می شـوند از خطاهـایی که باعث نرخ رشد پایین فشار می شوند توسط این رله قابل تشخیص و تفکیک هستند، و در صورتیکه نرخ رشد فشار در مخزن از حد معینـی تجـاوز کنـد سیگنال تریپ ارسال می نماید.

نصب رله sudden pressure بر روی ترانسفورماتور

Sudden pressure relay

ترمومترهای روغن و سیم پیچ

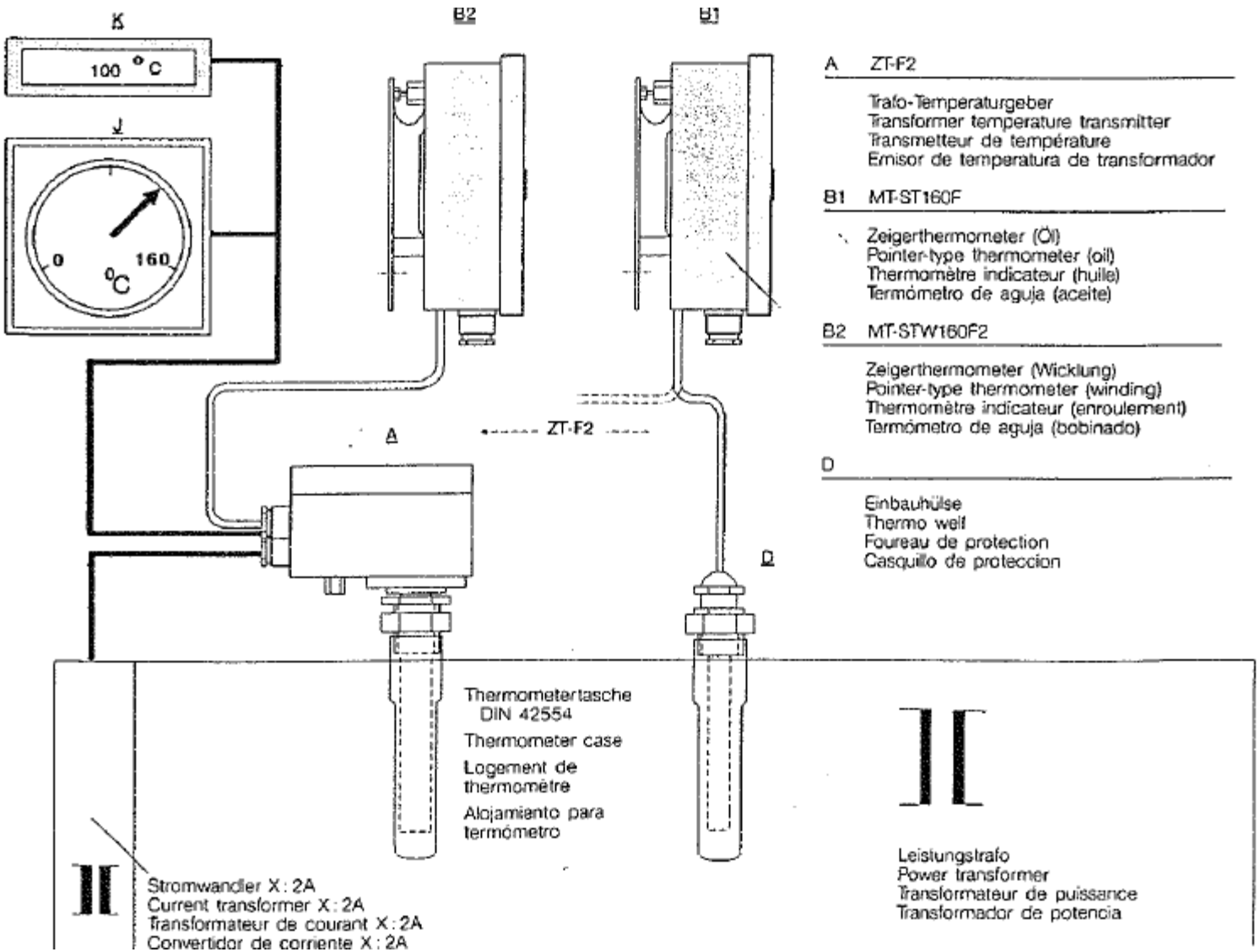
ترمومترهای روغن و سیم پیچ برای مونیتورینگ دمای روغن و سیم پیچ ترانسفورماتور و همچنین حفاظت ترانسفورماتور در مقابل خطاها و یا شرایط کاری که می تواند باعث افزایش دمای روغن و سیم پیچ از حد معین شود بر روی ترانسفورماتور نصب می شود.

بطور کلی ترمومترهای روغن و سیم پیچ برای کارکردهای زیر در نظر گرفته می شوند:

۱- نشان دادن و مونیتورینگ دمای روغن و سیم پیچ ترانسفورماتور

۲- ارسال سیگنال آلارم و یا تریپ به سیستم کنترل ترانسفورماتور در صورتیکه دماهای روغن و یا سیم پیچ از حد در نظر گرفته شده تجاوز کنند.

۳- روشن و خاموش کردن تجهیزات سیستم خنک کننده (در صورت استفاده از پمپ و فن در سیستم خنک کنندگی ترانسفورماتور) در صورتیکه دمای روغن و یا سیم پیچ از حد معینی بیشتر شود. ترموتر روغن می تواند بصورت مستقیم دمای روغن ترانسفورماتور را از طریق حسگر خود که در قسمت بالای درپوش نصب می شود حس کند ولی ترمومتر سیم پیچ دمای سیم پیچ را بصورت غیر مستقیم اندازه گیری می کند.



A ZT-F2

Trafo-Temperaturgeber
Transformer temperature transmitter
Transmetteur de température
Emisor de temperatura de transformador

B1 MT-ST160F

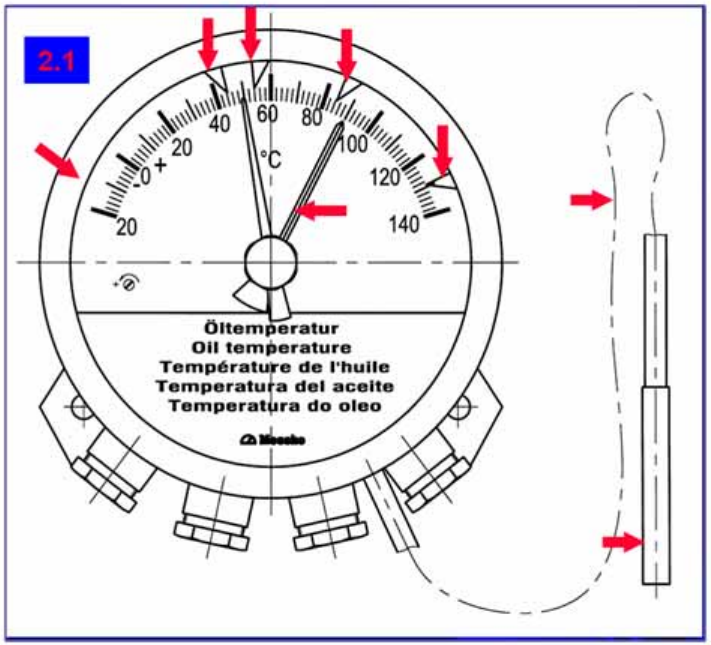
Zeigerthermometer (Öl)
Pointer-type thermometer (oil)
Thermomètre indicateur (huile)
Termómetro de aguja (aceite)

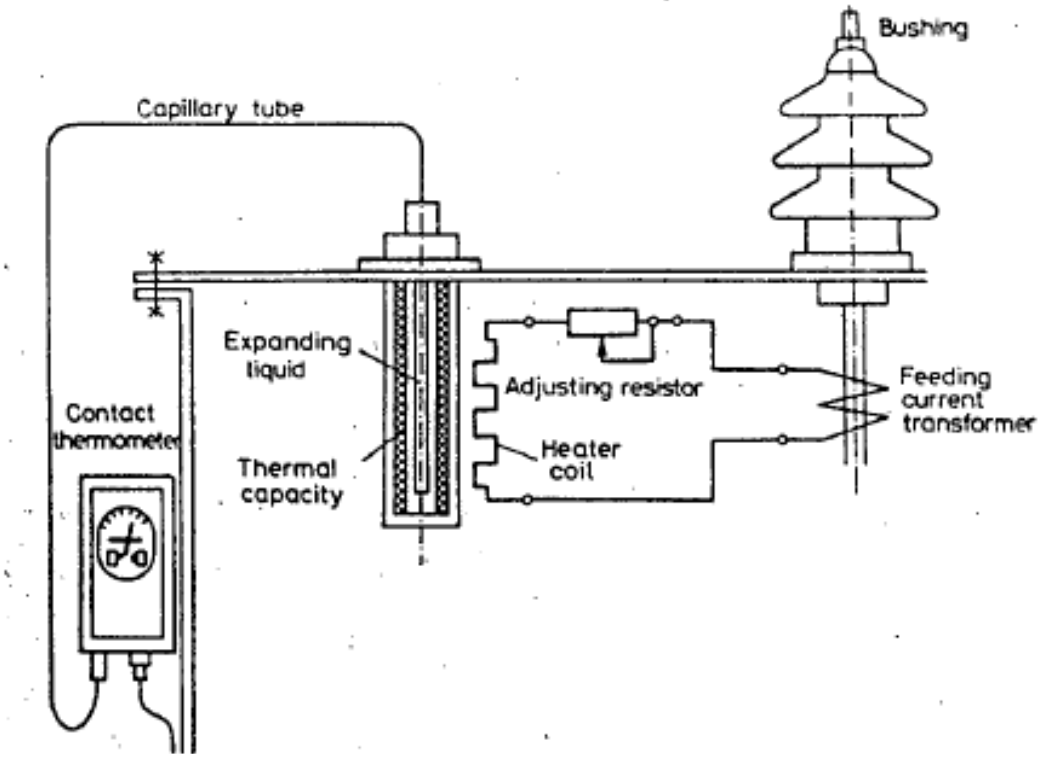
B2 MT-STW160F2

Zeigerthermometer (Wicklung)
Pointer-type thermometer (winding)
Thermomètre indicateur (enroulement)
Termómetro de aguja (bobinado)

D

Einbauhülse
Thermo well
Fourreau de protection
Casquillo de protección


2.1
-0+
20
40
60
80
100
120
140
°C
Öltemperatur
Oil temperature
Température de l'huile
Temperatura del aceite
Temperatura do oleo


Bushing
Capillary tube
Expanding liquid
Contact thermometer
Thermal capacity
Adjusting resistor
Heater coil
Feeding current transformer

جریان هجومی ترانسفورماتور

- وقتی که یک ترانسفورماتور برقدار می شود، جریان مغناطیس کننده و یا جریان تحریک گذرایی در سیستم جاری می شود که به آن جریان هجومی ترانسفورماتور می گویند. این جریان گذاری هجومی می تواند به عنوان یک خطای داخلی در ترانسفورماتور توسط رله دیفرانسیل تشخیص داده شود. دامنه این جریان می تواند به ۸ تا ۲۵ برابر جریان نامی ترانسفورماتور (بسته به قدرت ترانسفورماتور و ابعاد آن) برسد.

- فاکتورهایی که بر روی دامنه و مدت زمان تداوم جریان هجومی تأثیر گذارند عبارتند از:

۱- قدرت و ابعاد اکتیوپارت ترانسفورماتور

۲- قدرت سیستم

۳- مقاومت اهمی مدار و سیستم

۴- نوع ورق هسته استفاده شده در ترانسفورماتور

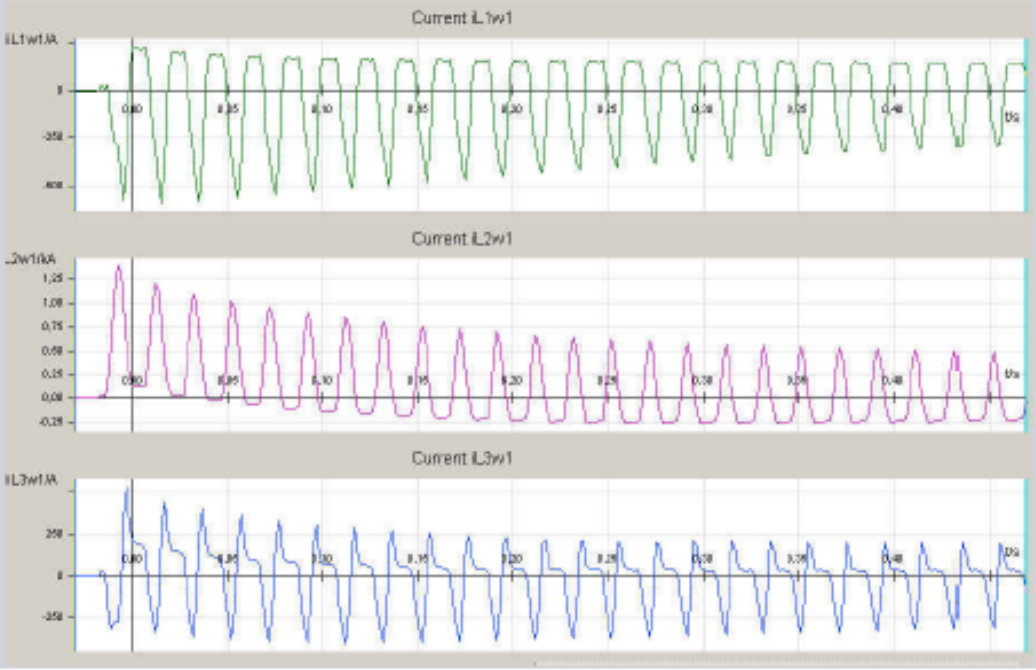
۵- پس ماند هسته

۶- نحوه برقدار شدن ترانسفورماتور

شکل زیر جریان هجومی را برای یک ترانسفورماتور شبکه که اندازگیری شده است نشان می دهد.

Example of an Inrush Current

A unit transformer (I_N = 396 A) was switched on from the high voltage side

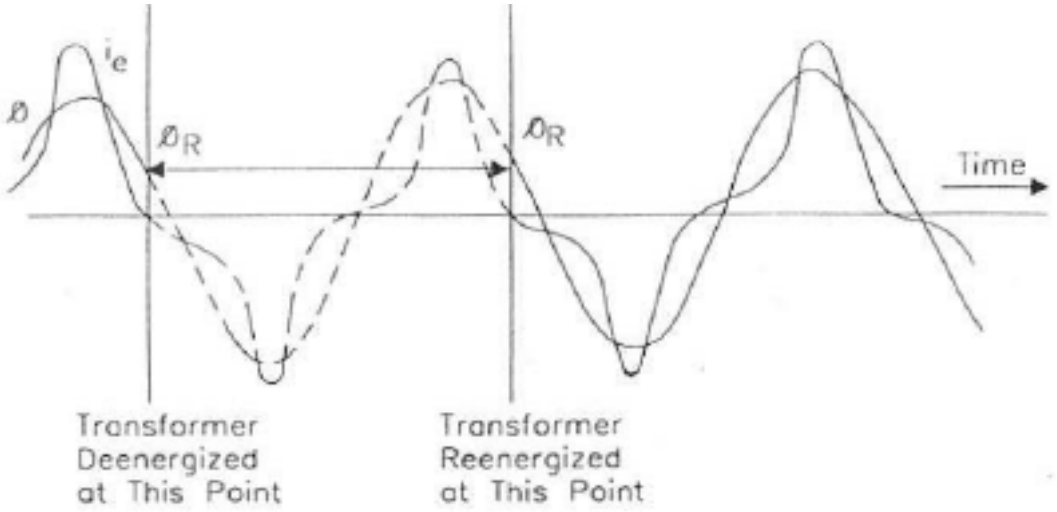


- وقتی که یک ترانسفورماتور بدون برق می شود جریان آن صفر می گردد اما شار در هسته صفر نمی شود و مقدار آن در هسته به ϕR مـی رسد.

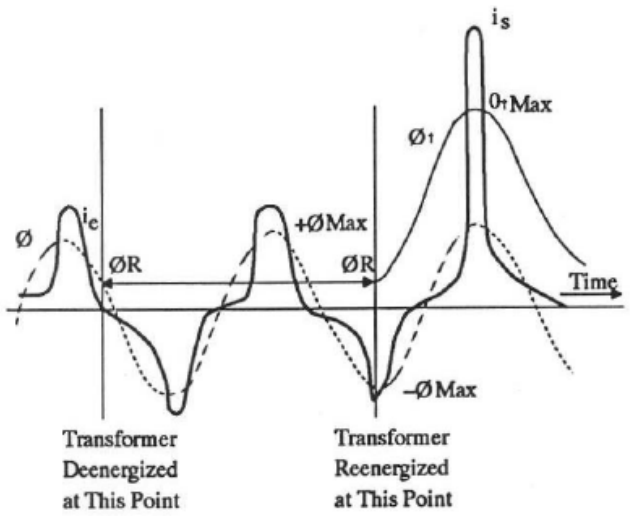
اگر ترانسفورماتور دو مرتبه برقدار شود چنانچه در نقطه ای از شکل موج که معادل شار پس ماند هسته است عمل تحریک ترانسفورماتور انجام شود، جریان هجومی در ترانسفورماتور وجود نخواهد داشت.

- هر چند، در عمل کنترل لحظه کلید زنی عملاً غیر ممکن است و در هر صورت حالت گذرا در شکل موج جریان وجود خواهد داشت.

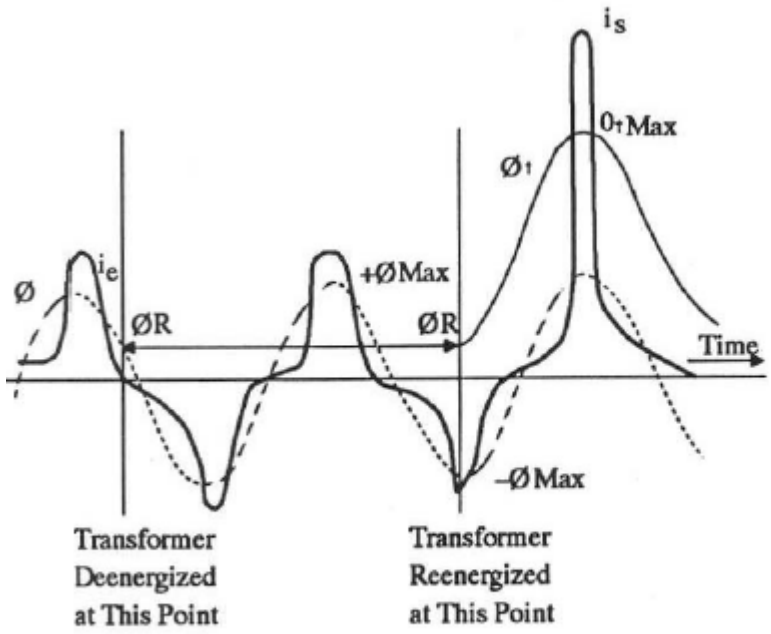
شکل



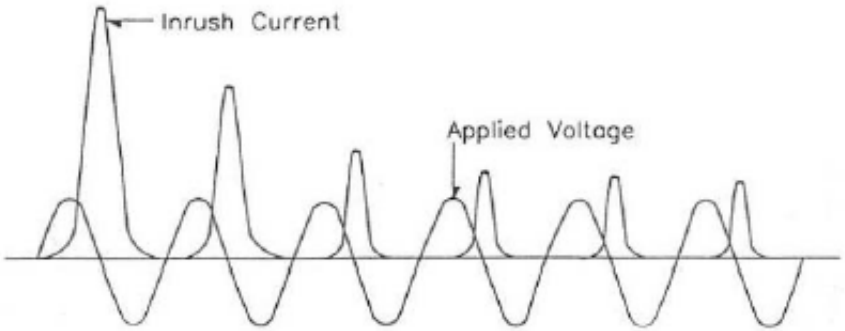
- اگر ترانسفورماتور در لحظه ای که شار در حداکثر مقدار منفی خود می باشد $(-\phi_{max})$ برقدار شود، از آنجاییکه شار پس ماند مقدار مثبت دارد و شار در هسته نمی تواند به یکباره و آناً تغییر مقدار بدهد، به جای شروع ا زمقدار $-\phi_{max}$ ، از مقدار ϕR شروع و منحنی ϕ_t را دنبال خواهد کرد.



- شکل موج ϕ_t غیر سینوسی است. ترانسفورماتور برای دامنه معینی از شار و اندوکسیون در هسته آن طراحی شده اسـت ولـی ϕ_t بـا ایـن شکل موج Super Saturation را بوجود می آورد و باعث یک پیک در شکل موج جریان می شود.



- شار پس ماند در هسته می تواند مقدار مثبت و یا منفی داشته باشد و بسته به لحظه کلید زنی می تواند باعث افزایش و یـا کاسـتن دامنـه جریان هجومی شود.
- در چند سیکل اول، جریان هجومی به شدت میرا می شود، ولی بعد از آن از شدت میرایی کاسته شده و چند ثانیه طول می کشد تا کلاً از بین برود.
- ثابت زمانی مدار $\left(\frac{L}{R}\right)$ یک مقدار ثابت نیست، بلکه اندوکتانس و یا L با مقدار اشباع هسته ترانسفورماتور تغییر میکند.



- در چند سیکل اول درصد اشباع هسته بالا و مقدار L پایین است بنابراین میرایی سریع اتفاق میافتد ولی بعد از چنـد سـیکل از آنجـا کـه مقاوت اهمی سیم پیچ ها باعث میرا شدن شکل موج می شود از درصد اشباع هسته کاسته شده و مقدار L افزایش می یابد. در بعضی

از آزمایشات مشخص شده است که ثابت زمانی جریان هجومی از ۱۰ سیکل برای ترانسفورماتورهای کوچک تا یک دقیقه برای ترانسفورماتورهای بزرگ متغیر است.

- مقاومت اهمی مدار (اعم از ترانسفورماتور و شبکه) میزان میرایی را مشخص می کند.
- ترانسفورماتورهای ژنراتور و یا نزدیک به نیروگاههای بزرگ به علت پایین بودن درصد میرایی از جریان هجومی با تداوم بیشتری از نظر زمان برخوردارند.
- ترانسفورماتورهای بزرگ به علت بزرگ بودن اندوکتاس اشان از جریان هجومی با تدوام زمانی بیشتری برخوردارند.
- ترانسفورماتورهایی که در فاصله زیادی با منابع ولتاژ قرار دارند و یا به خطوط طولانی تری اتصال یافته اند به علت مقاومت اهمی بالای خطوط از جریان هجومی با میرایی بیشتری برخوردارند.

حفاظت های الکتریکی

۱- حفاظت دیفرانسیل

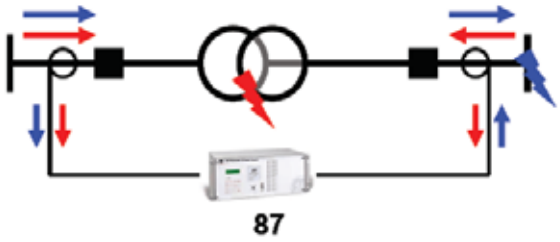
۲- حفاظت Overcurrent

۳- حفاظت earth fault

۴- حفاظت Restricted earth fault

حفاظت دیفرانسیل

- این حفاظت جریان ورودی و جریان خروجی ترانسفورماتور را مقایسه میکند
- اگر این جریانها مساوی باشند هیچ خطایی در ناحیه حفاظتی وجود ندارد.
- اگر این جریانها مساوی نباشد این وضعیت به عنوان خطا در نظر گرفته میشود.



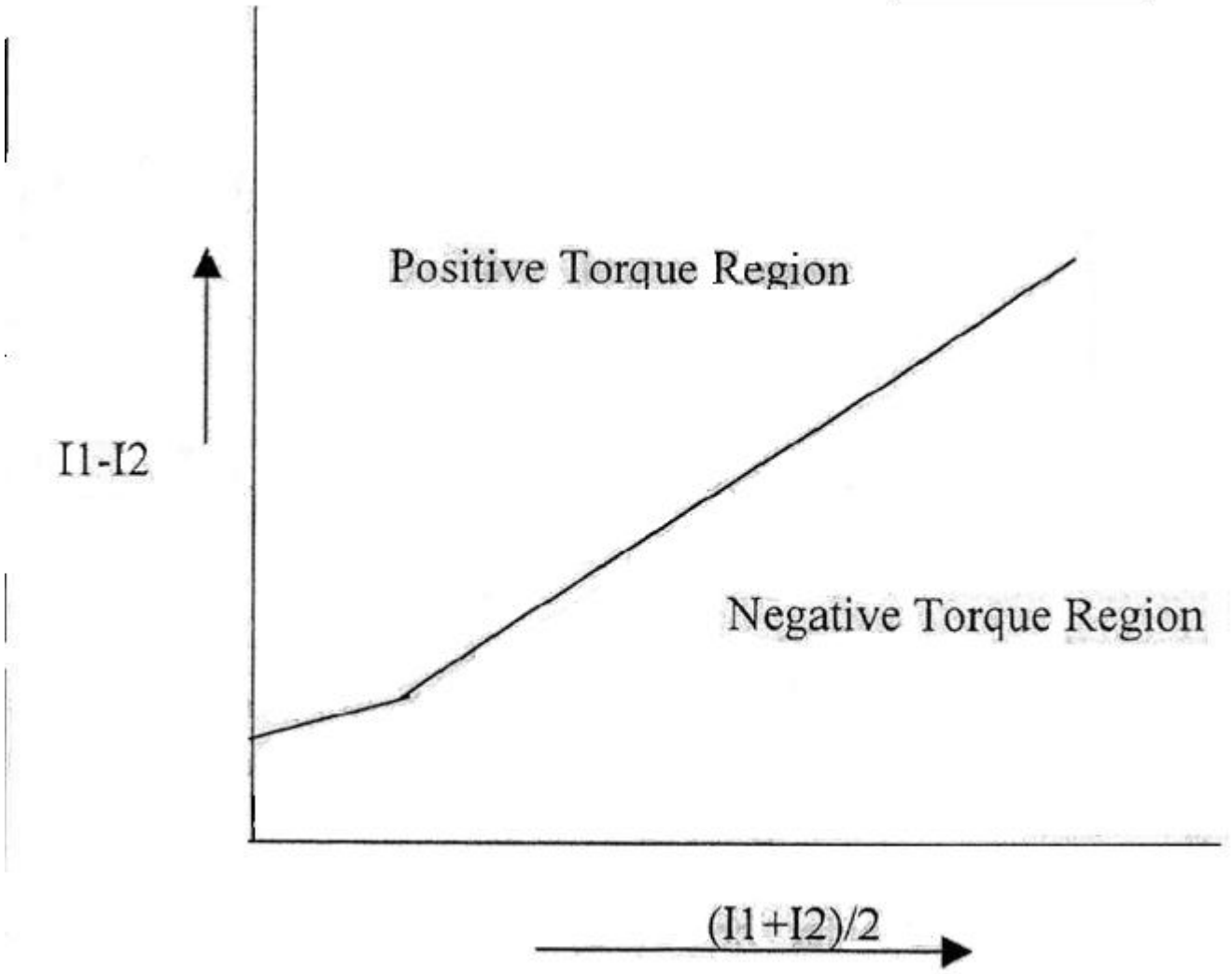
- حفاظت دیفرانسیل معمولاً برای ترانسفورماتورهای بزرگتر از 10MVA بعنوان حفاظت Main در نظر گرفته می شود.
- حساسیت حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور به اندازه حساسیت حفاظت دیفرانسیل ژنراتور نیست.
- کاربرد حفاظت دیفرانسیل در ترانسفورماتورهای تکفاز (ترانسفورماتورهای تکفاز که مجموعاً تشکیل یک مجموعه ۳ فاز را می دهند. در ترانسفورماتورهای زیگزاگ و در ترانسفورماتورهای با چند سیم پیچ و اتو ترانسفورماتورها از پیچیدگی خاصی برخوردار است.
- کاربرد حفاظت دیفرانسیل همراه با مسائلی است که باید در نظر گرفته شوند:

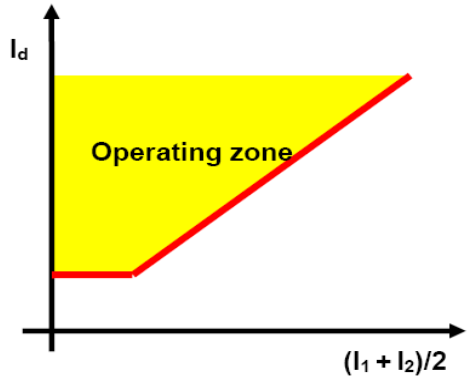
۱- کلید تنظیم ولتاژ و درصد تنظیم ولتاژ

۲- نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان

۳- گروه برداری سیم پیچ ها و اختلاف 30 در ولتاژ فاز در اتصال ستاره – مثلث

۴- جریان مغناطیسی کننده و جریان هجومی


Positive Torque Region
I1-I2
Negative Torque Region
(I1+I2)/2



- برای جلوگیری از miss-operation ناحیه کارکرد رله دیفرانسیل به دو بخش تقسیم می شود.

- از آنجاییکه رله دیفرانسیل جریان هجومی را به عنوان خطای داخلی در نظر میگیرد، چند روش برای تشخیص بین جریان هجومی و جریـان خطـا وجود دارد:

۱- کاهش حساسیت رله به شکل موجهای جریان که دارای offset dc هستند.

۲- تشخیص هارمونیک دوم

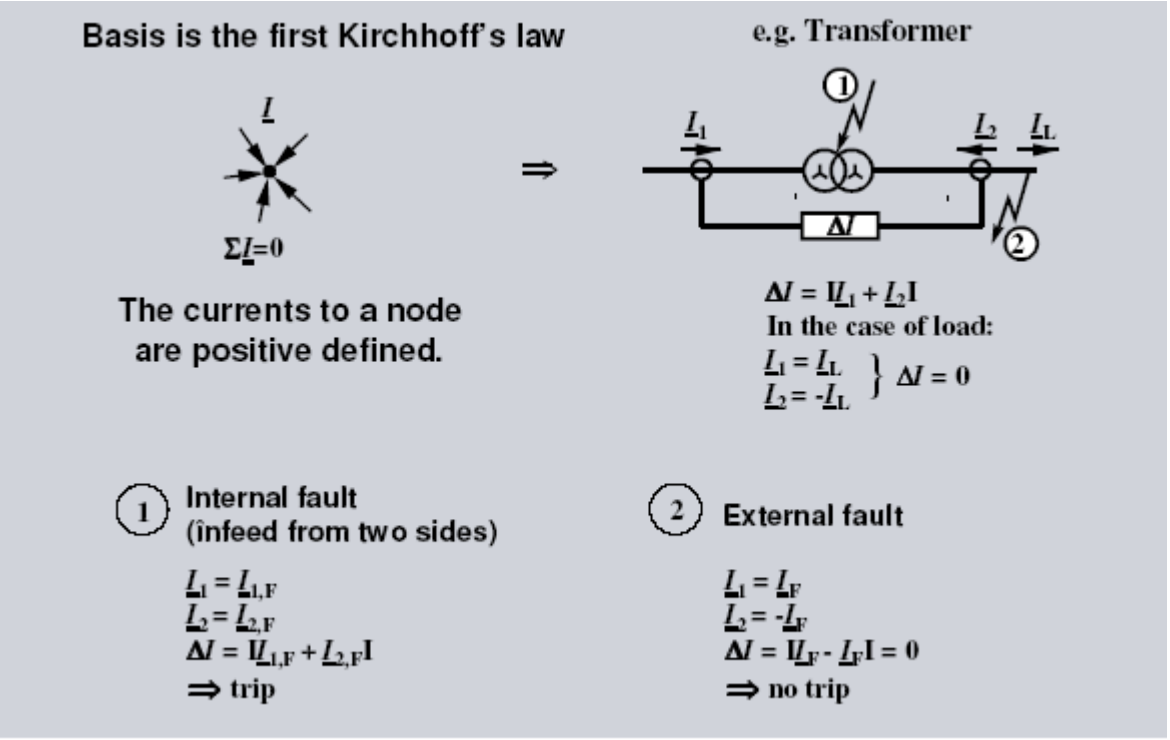
۳- غیر فعال کردن رله دیفرانسیل در پروسه برقدار کردن ترانسفورماتور

۴- تأخیر زمانی

- حفاظت دیفرانسیل نباید در شرایط زیر عمل نماید:

۱- در صورتیکه خطا در خارج از ترانسفورماتور اتفاق بیافتد

۲- در صورت اختلاف جریان اولیه و ثانویه در صورت تغییر tap



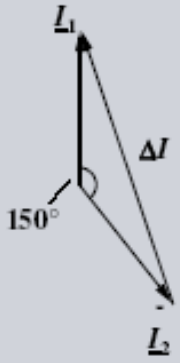
- جریان جاری شده در رله باید در هنگام کارکرد عادی ترانسفورماتور و در حالت وجود خطا در خارج از ترانسفورماتور نزدیک صفر باشد.
- در هنگام setting یک رله دیفرانسیل دریک ترانسفورماتور، باید اختلاف جریان tap های حداکثر و حداقل در نظر گرفته شوند.

- جریان Pick up یا bias setting با در نظر گرفتن یک حاشیه اطمینان (safety margin) از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{Bias setting} = \frac{|I_1 - I_2|}{(I_1 + I_2)/2}$$

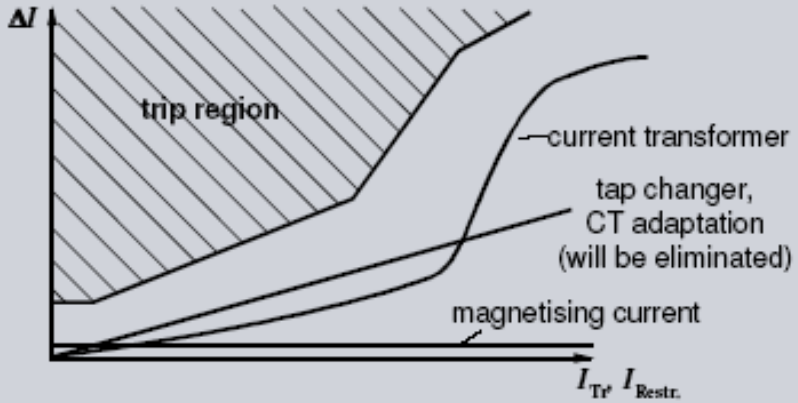
- رله های نیومریک numerical relays از تکنیکهایی مانند بلوکه کردن هارمونیکها و همچنین تشخیص شکل موج جریان استفاده می کنند.
- در رله های نیومریک numerical relays می توان گروه اتصال ترانسفورماتور را وارد نمود و CT ها را به شکل ستاره متصل نمود.

1. Vector group (e. g. Yd5)



⇒ **vector group adaptation**

2. Different CT´s, tap changer, magnetising current



⇒ **restraint function (stabilising) is necessary**

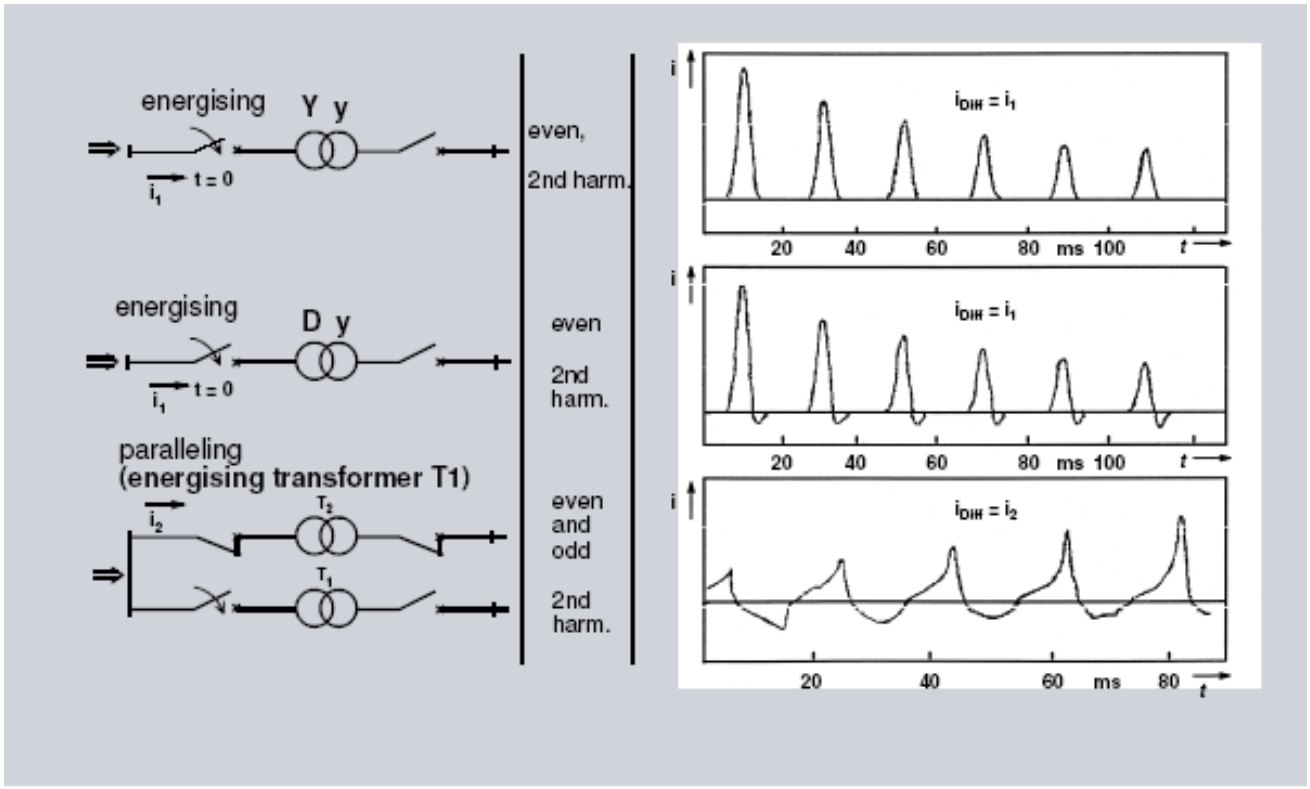
- $\Delta I = f(I_{restr.})$
- $I_{restr.} = |\underline{I}_1| + |\underline{I}_2|$

3. Dynamic currents

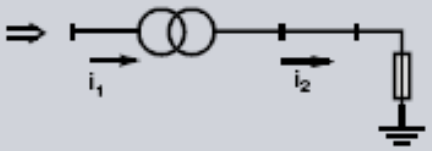
- inrush current
- overflux (overexcitation)
- CT saturation during external faults

⇒ **blocking via harmonics**

⇒ **saturation detector**


energising
Y y
t = 0
i_1
even,
2nd harm.
energising
D y
t = 0
i_1
even
2nd
harm.
paralleling
(energising transformer T1)
i_2
T_2
T_1
even
and
odd
2nd
harm.
i
$i_{DIH} = i_1$
20
40
60
80
ms
100
t
i
$i_{DIH} = i_1$
20
40
60
80
ms
100
t
i
$i_{DIH} = i_2$
20
40
60
ms
80
t

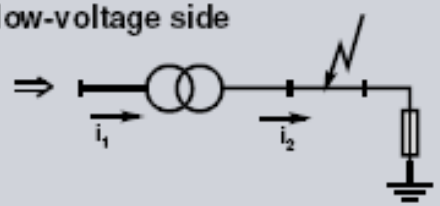
Over-excitation
$U_{Tr} > U_N$



odd

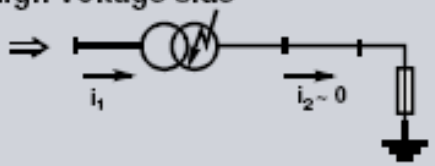
3rd and 5th harm.

External short circuit **with saturation of the CTs at the low-voltage side**

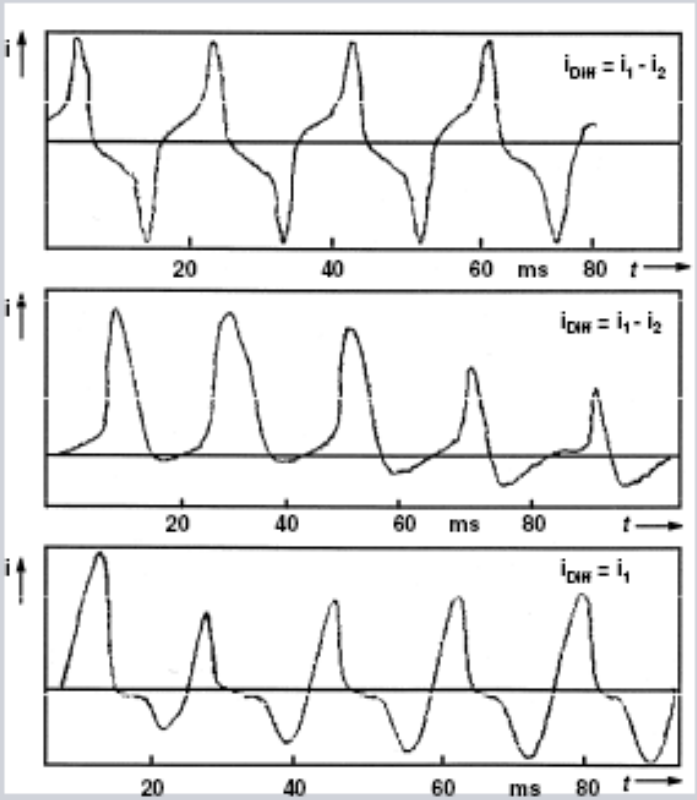


even and odd

internal short circuit **with saturation of the CTs at the high-voltage side**

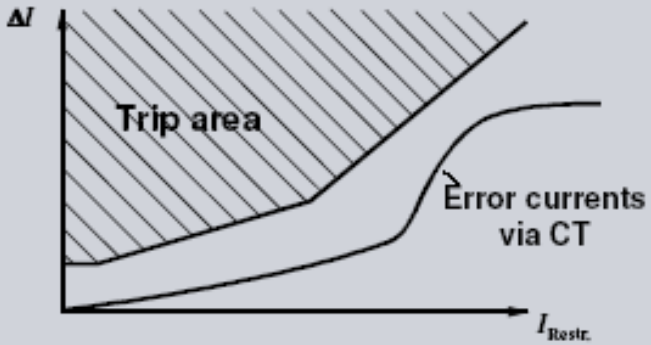


even and odd



Basic principle can be nearly direct used.

1. Stabilising characteristic



⇒ identically current transformers

⇒ sensitive setting is possible

2. Transients ⟷ sensitive settings

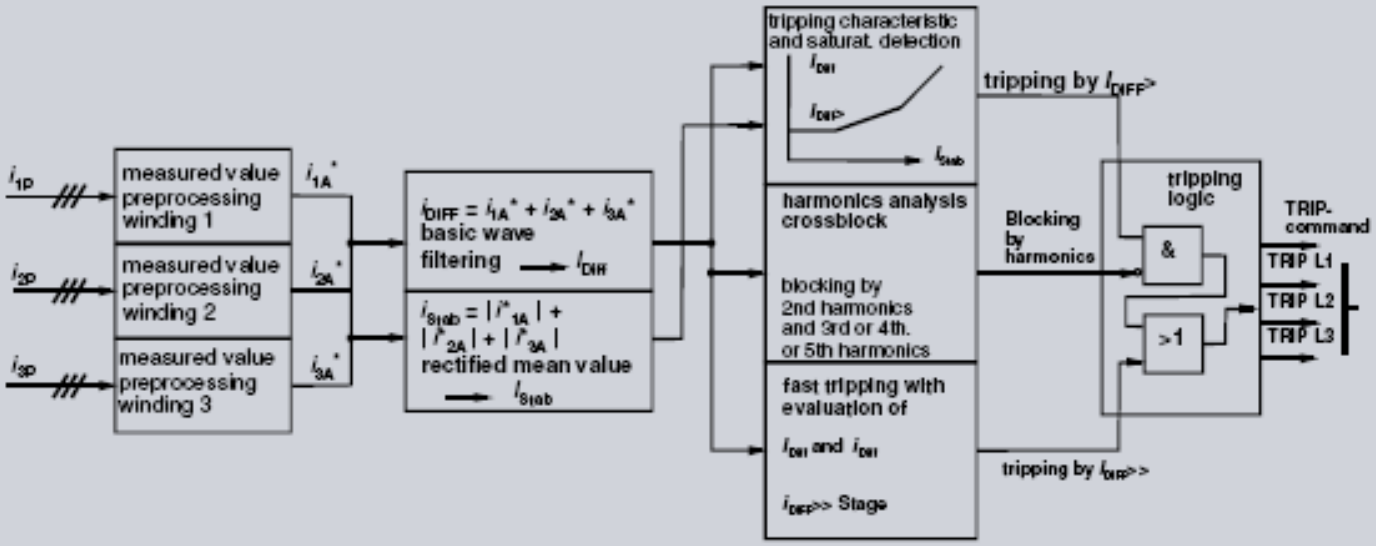
generators: external short circuit with large dc time constants

motors: start-up currents

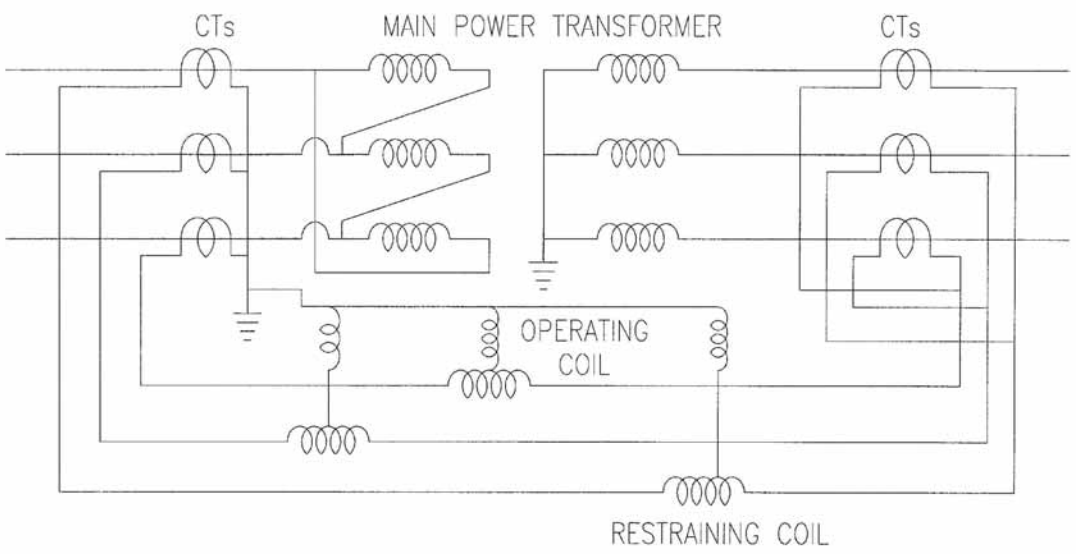
transient transfer features of a CT are important (dc component)

Insensitive settings at

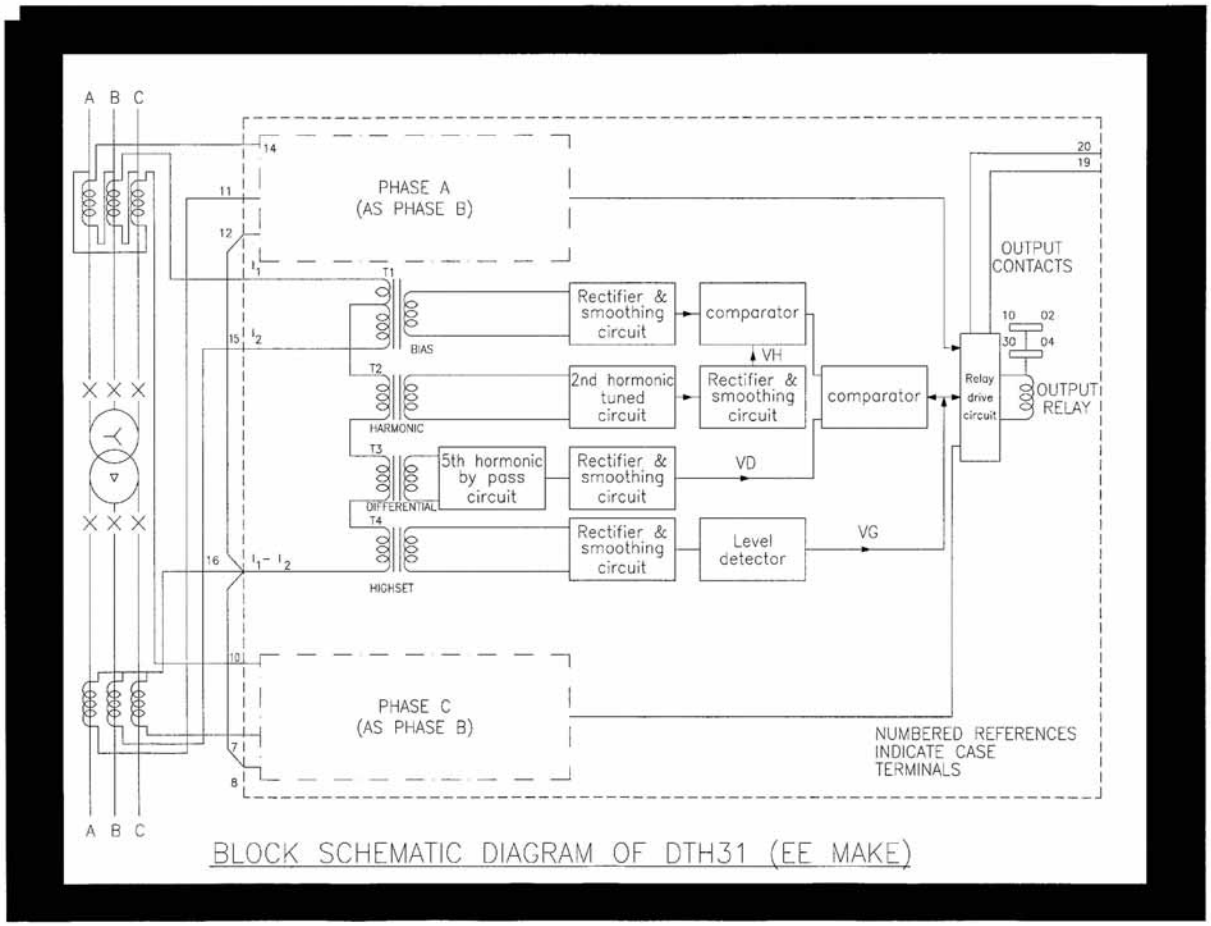
- matching transformers in the secondary circuit
- different primary CTs
- different burden

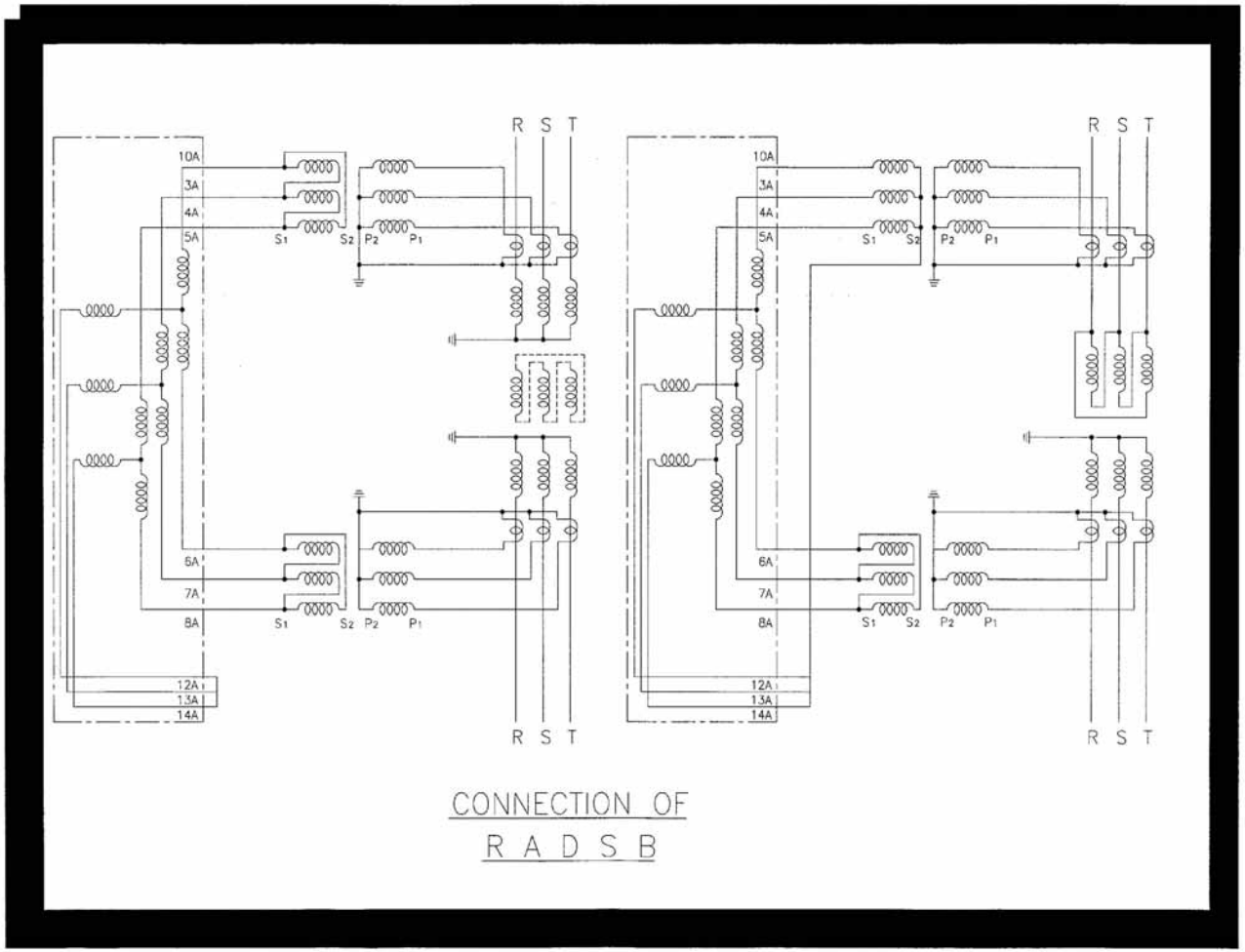


i_{1P}, i_{2P}, i_{3P}	sampling values from winding 1, 2, 3
i^*_{1A}, i^*_{2A}, i^*_{3A}	values after vector group and CT matching
I_{Diff}	basic wave contents in the differential current
i_{Diff}	differential current
I_{Stab}	rectified mean value of the stabilising current
i_{Stab}	stabilising current



DIFFERENTIAL RELAY CONNECTIONS FOR A DELTA–STAR TRANSFORMER


A B C
PHASE A
(AS PHASE B)
PHASE C
(AS PHASE B)
T1
BIAS
T2
HARMONIC
T3
DIFFERENTIAL
T4
HIGHSET
Rectifier & smoothing circuit
comparator
VH
2nd hormonic tuned circuit
Rectifier & smoothing circuit
comparator
5th hormonic by pass circuit
Rectifier & smoothing circuit
VD
Rectifier & smoothing circuit
Level detector
VG
Relay drive circuit
OUTPUT CONTACTS
10
02
30
04
OUTPUT RELAY
20
19
NUMBERED REFERENCES INDICATE CASE TERMINALS
BLOCK SCHEMATIC DIAGRAM OF DTH31 (EE MAKE)

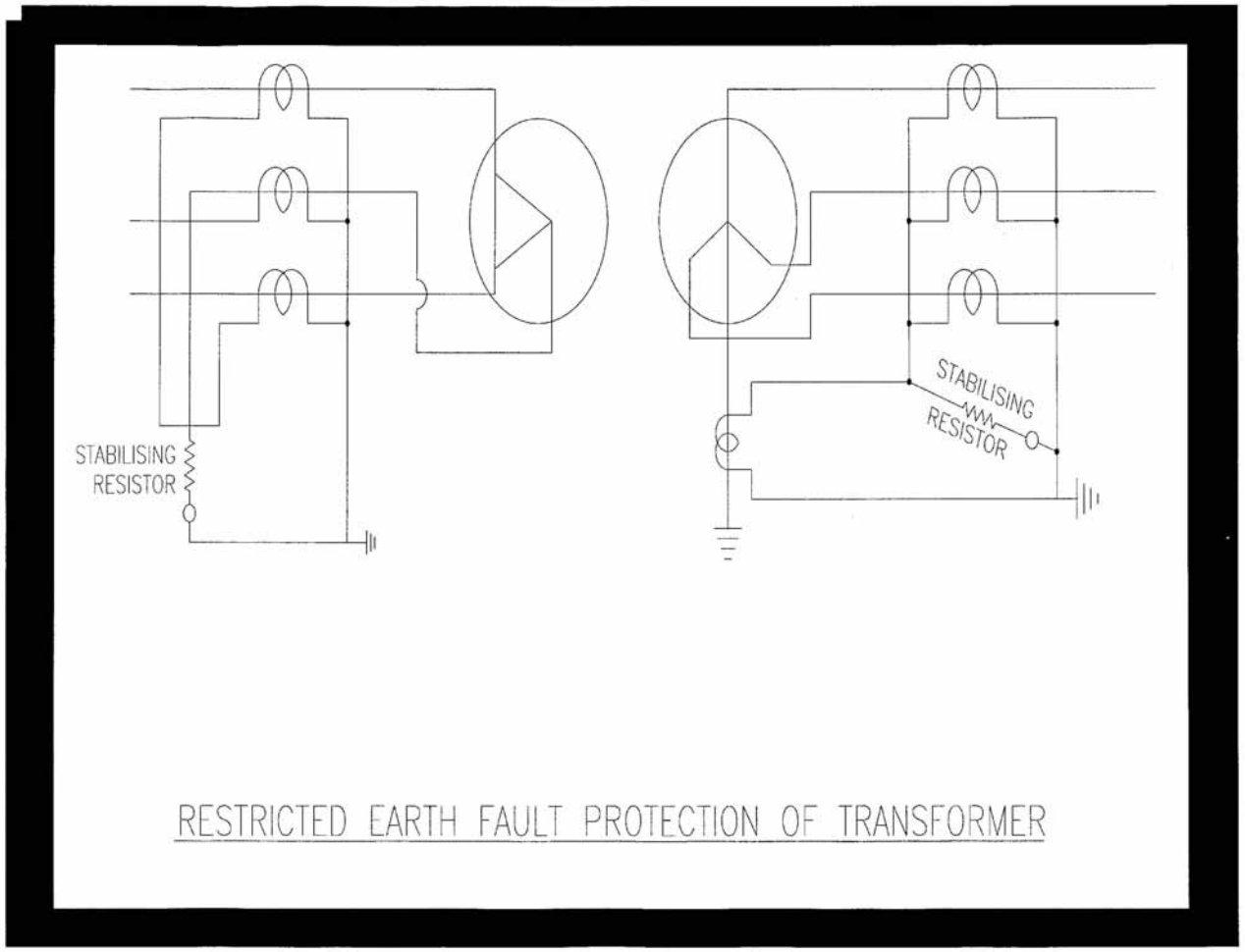


CONNECTION OF

R A D S B

حفاظت Restricted earth fault

- این حفاظت و رله آن فقط برای خطاهای داخلی ترانسفورماتور با جریان های پایین که رله دیفرانسیل قادر به تشخیص آنها نیست عمل می کند.
- برای خطاهای بیرون از محدوده حفاظتی (ترانسفورماتور) هیچ جریانی از رله REF نمی گذرد، مگر در صورتیکه یک CT اشباع شود. بنابراین حداقل جریان Pick up بر روی 10% In یا 20% In میتواند set شود.
- بر مبنای جریان خطا، مقاومت پایدار کننده stabilizing resistor بر مبنای مقداری انتخاب می شود که رله برای خطاهای خارجی وقتی که یک CT اشباع می شود عمل نکند و فقط برای خطاهای داخلی به شکل Instantaneous عمل نماید.



RESTRICTED EARTH FAULT PROTECTION OF TRANSFORMER

مثال:

Fault current $I_f = 2500A$

C.T ratio $= 300/1A$

Secondary fault current $= \frac{2500}{300} = 8.33A$

$R_{CT} =$ C.T resistance $= 5\Omega$

$T_L =$ Lead resistance $= 3\Omega$

$V_K = I_f * (R_{CT} + R_L) = 8.33 * (5+3) = 66.64$volts

$V_K =$ Voltage developed across C.T (saturated)

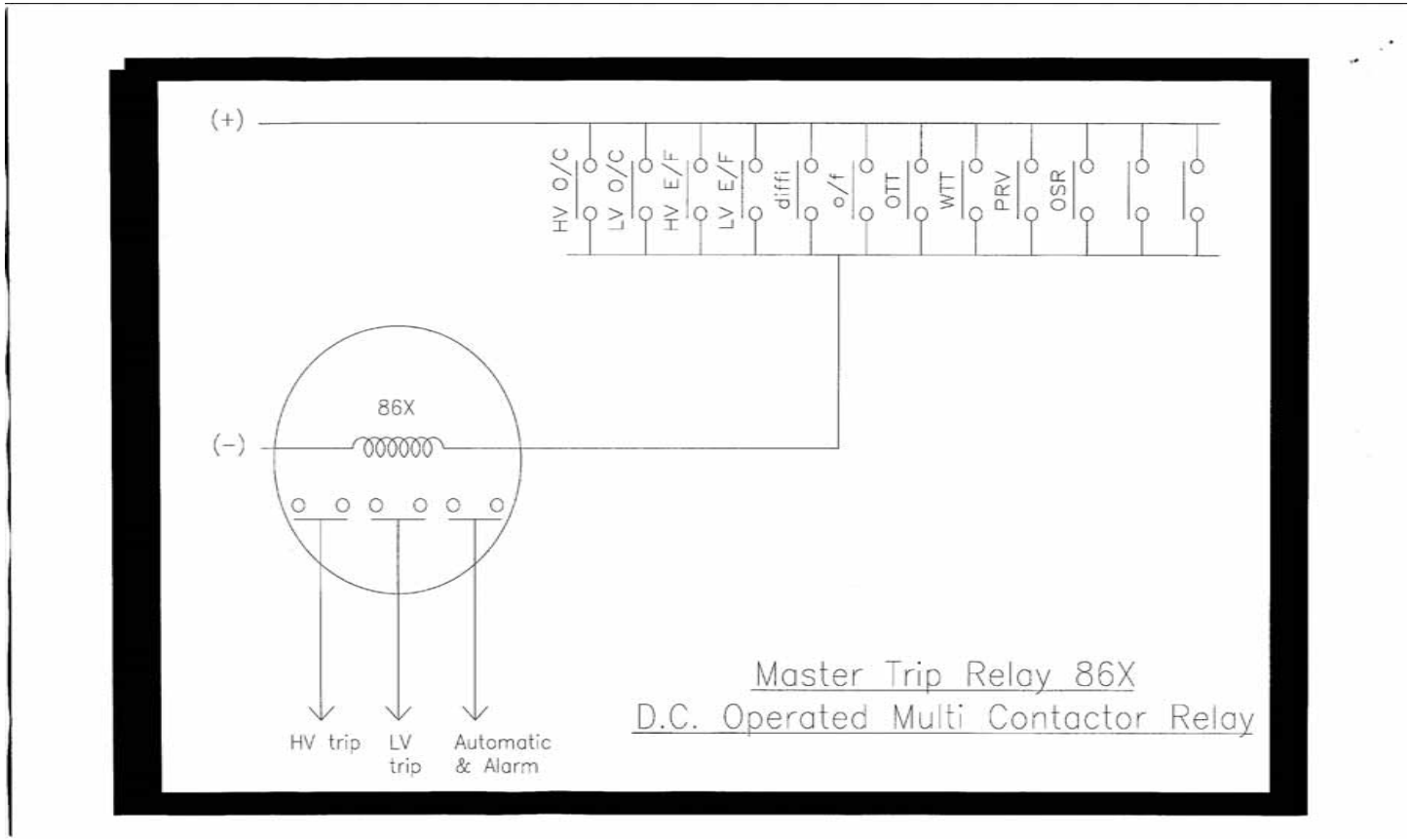
Relay burden $= 1VA$

Relay operating curren $= 0.2A$ (set value)

Relay operating voltage V_R

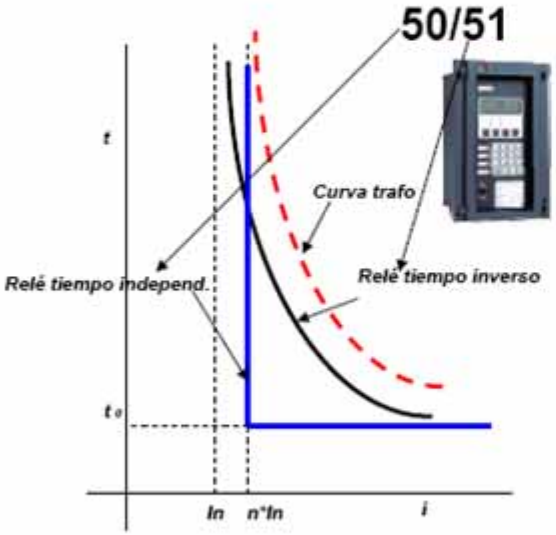
$$V_R = \frac{\text{Relay burden}}{\text{Relay operating current}} = \frac{1}{0.2} = 5\text{volt}$$

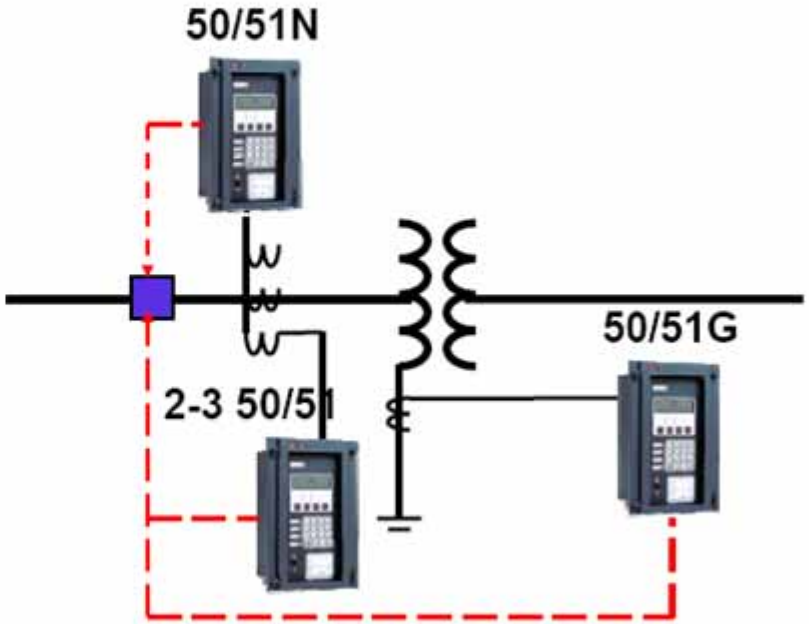
$$\text{Stabilizing resistor} = \frac{V_K - V_R}{I_{set}} = \frac{66.64 - 5}{0.2} \Rightarrow S_R = 308.2\Omega \cong 310\Omega$$



حفاظت Overcurrent

- حفاظت Overcurrent یا اضافه جریان (Device 50/51) برای ترانسفورماتورهای با قدرت کمتر از 10 MVA بعنوان حفاظت main و برای ترانسفورماتورهای با قدرت بالاتر از 10 MVA به عنوان حفاظت Back up حفاظت Differential در نظر گرفته می شود.
- حفاظت Overcurrent باید بگونه ای set شود که مانع از اضافه بارگیری Overloading ترانسفورماتور نشود.
- حفاظت Overcurrent از نوع Inverse معمولاً بهترین حالت را برای Coordination با سایر رله ها بدست می دهد.
- عملکرد سریع در خطاهای شدید در رله Overcurrent توسط واحد Instantaneous تأمین می شود.
- واحد Instantaneous برای حداکثر ۱۲۵٪ حداکثر خطا set میشود.
- جریان setting رله Overcurrent باید بالاتر از حد جریان هجومی در نظر گرفته شود. در بعضی مواقع استفاده از واحد Instantaneous امکانپذیر نیست چون مقدار جریان خطا پایین است.
- در مورد اتو ترانسفورماتورها و ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه رله Overcurrent حفاظت مناسبی برای سیم پیچ سوم که توان آن پایین است بدست نمیدهد.


50/51
t
Curva trafo
Relé tiempo independ.
Relé tiempo inverso
t o
In
n*In
i

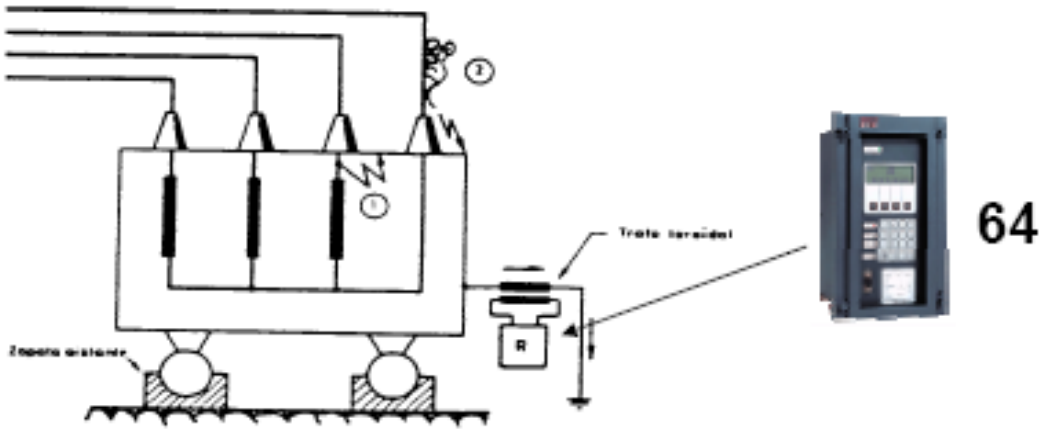

50/51N
50/51G
2-3 50/51

حفاظت اضافه تحریک Overfluxing protection

- وضعیت اضافه تحریک در ترانسفورماتور در حالت اضافه ولتاژ و یا افت فرکانس اتفاق میافتد.
- وضعیت اضافه تحریک باعث افزایش اندوکسیون در هسته و افزایش تلفات آن و نهایتاً گرم شدن هسته می شود.
- وضعیت اضافه تحریک نباید باعث ارسال سیگنال trip شود.
- رله های با منحنی مشخصه Inverse و Definite time delay برای این حفاظت استفاده می شوند.

حفاظت جریان نشتی از تانک ترانسفورماتور

- این حفاظت می تواند جریان عبوری از تانک به زمین را در صورت بروز خطایی مثل اتصال کوتاه داخلی در ترانسفورماتور تشخیص دهد.
- این حفاظت اساساً بر مبنای یک رله Overcurrent عمل می کند.
- در این سیستم حفاظت رله اتصال و عبور جریان از بوشینگ و یا اکتیوپارت به زمین را تشخیص می دهد.
- در این سیستم حفاظتی تانک باید کاملاً نسبت به زمین ایزوله شده باشد و از یک ترانسفورماتور جریان برای زمین کردن تانک استفاده می شود.



ضمیمه شماره ۱

DEVICE CODE

DEVICE CODE

Protection functions

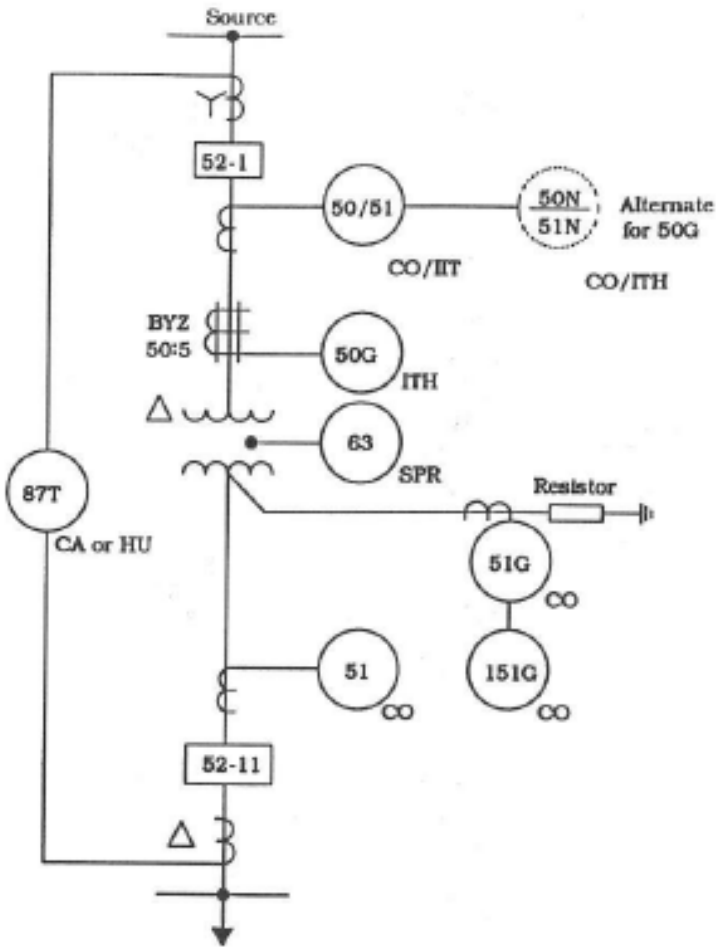
List of functions

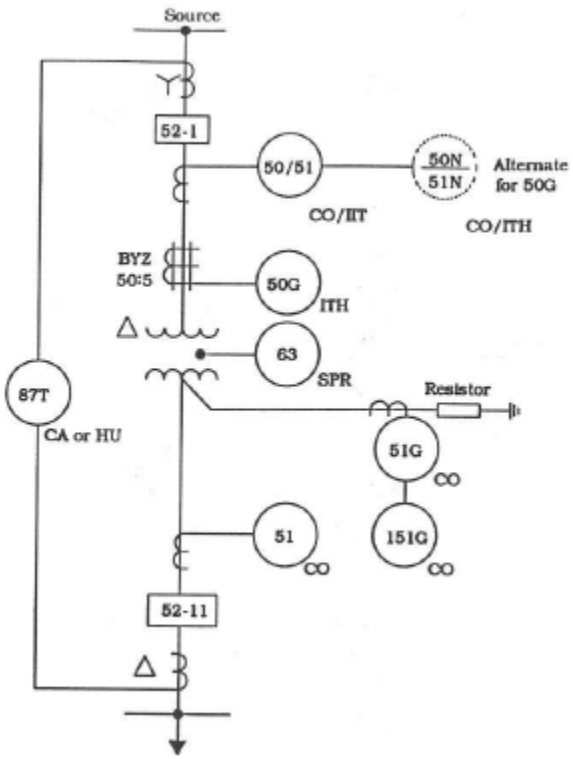
The main protection functions are listed with a brief definition in the table below.
They are listed in numerical order by ANSI C37.2 code.

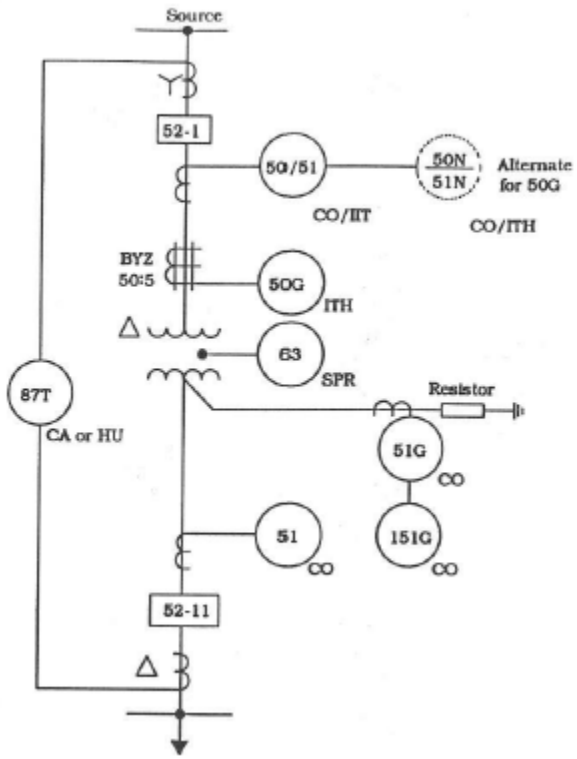
ANSI code	Name of function	Definition
12	Overspeed	Detection of rotating machine overspeed
14	Underspeed	Detection of rotating machine underspeed
21	Distance protection	Impedance measurement detection
21B	Underimpedance	Back-up phase-to-phase short-circuit protection for generators
24	Flux control	Overfluxing check
25	Synchro-check	Check before paralleling two parts of the power system
26	Thermostat	Protection against overloads
27	Undervoltage	Protection for control of voltage sags
27D	Positive sequence undervoltage	Protection of motors against operation with insufficient voltage
27R	Remanent undervoltage	Check on the disappearance of voltage sustained by rotating machines after the power supply is disconnected
27TN	Third harmonic undervoltage	Detection of stator winding insulation earth faults (impedant neutral)
32P	Directional active overpower	Protection against active overpower transfer
32Q	Directional reactive overpower	Protection against reactive overpower transfer
37	Phase undercurrent	3-phase protection against undercurrent
37P	Directional active underpower	Protection against active underpower transfer
37Q	Directional reactive underpower	Protection against reactive underpower transfer
38	Bearing temperature monitoring	Protection against overheating of rotating machine bearings
40	Field loss	Protection of synchronous machines against faults or field loss
46	Negative sequence / unbalance	Protection against unbalanced phase current
47	Negative sequence overvoltage	Negative sequence voltage protection and detection of reverse rotation of rotating machines
48 - 51LR	Excessive starting time and locked rotor	Protection of motors against starting with overloads or reduced voltage, and for loads that can block
49	Thermal overload	Protection against overloads
49T	RTDs	Protection against overheating of machine windings
50	Instantaneous phase overcurrent	3-phase protection against short-circuits
50BF	Breaker failure	Checking and protection if the circuit breaker fails to trip after a tripping order
50N or 50G	Instantaneous earth fault	Protection against earth faults: 50N: residual current calculated or measured by 3 CTs 50G: residual current measured directly by a single sensor (CT or core balance CT)
50V	Instantaneous voltage-restrained phase overcurrent	3-phase protection against short-circuits with voltage-dependent threshold
50/27	Inadvertent generator energization	Detection of inadvertent generator energization
51	Delayed phase overcurrent	3-phase protection against overloads and short-circuits
51N or 51G	Delayed earth fault	Protection against earth faults: 51N: residual current calculated or measured by 3 CTs 51G: residual current measured directly by a single sensor (CT or core balance CT)
51V	Delayed voltage-restrained phase overcurrent	3-phase protection against short-circuits with voltage-dependent threshold
59	Overvoltage	Protection against excessive voltage or sufficient voltage detection
59N	Neutral voltage displacement	Insulation fault protection
63	Pressure	Detection of transformer internal faults (gas, pressure)
64REF	Restricted earth fault differential	Earth fault protection for star-connected 3-phase windings with earthed neutral
64G	100% generator stator earth fault	Detection of stator winding insulation earth faults (impedant neutral power systems)
66	Successive starts	Protection function that monitors the number of motor starts
67	Directional phase overcurrent	3-phase short-circuit protection according to current flow direction
67N/67NC	Directional earth fault	Earth fault protection depending on current flow direction (NC: Neutral compensated)
78	Vector shift	Vector shift disconnection protection
78PS	Pole slip	Detection of loss of synchronization of synchronous machines
79	Recloser	Automated device that recloses the circuit breaker after transient line fault tripping
81H	Overfrequency	Protection against abnormally high frequency
81L	Underfrequency	Protection against abnormally low frequency
81R	Rate of change of frequency (ROCOF)	Protection for fast disconnection of two parts of the power system
87B	Busbar differential	3-phase protection against busbar internal faults
87G	Generator differential	3-phase protection against internal faults in AC generators
87L	Line differential	3-phase protection against line internal faults
87M	Motor differential	3-phase protection against internal faults in motors
87T	Transformer differential	3-phase protection against internal faults in transformers

ضمیمه شماره ۲

دیاگرام تک خطی حفاظتی شماتیک برای ترانسفورماتور


Source
52-1
50/51
50N
51N
Alternate
for 50G
CO/IIT
CO/ITH
BYZ
50:5
50G
ITH
63
SPR
Resistor
87T
CA or HU
51G
CO
51
CO
151G
CO
52-11


Source
52-1
50/51
50N
51N
Alternate
for 50G
CO/IIT
CO/ITH
BYZ
50:5
50G
ITH
63
SPR
Resistor
87T
CA or HU
51G
CO
51
CO
151G
CO
52-11


Source
52-1
50/51
CO/IIT
50N
51N
Alternate
for 50G
CO/ITH
BYZ
50:5
50G
ITH
63
SPR
Resistor
87T
CA or HU
51G
CO
51
CO
151G
CO
52-11