

BAB II

LANDASAN TEORI SISTEM PROTEKSI GENERATOR

2.1. Generator

Generator sebagai komponen yang penting dari sistem tenaga listrik perlu mendapat perlindungan dan pemeliharaan dalam hal pengoperasiannya, karena apabila generator mengalami gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik maka kebutuhan akan tenaga listrik mungkin tidak akan terpenuhi.

Untuk dapat mengoperasikan generator dan melakukan tindakan pemeliharaan serta pemilihan sistem perlindungannya maka perlu terlebih dahulu harus diketahui prinsip kerja dari pada generator sebagai pembangkit tenaga listrik.

2.1.1. Prinsip Kerja Generator

Generator sinkron adalah suatu mesin AC yang dapat mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya berdasarkan hukum farraday tentang induksi elektromagnet, yaitu bila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet akan dibangkitkan gaya gerak listrik.

Konstruksi generator sehingga merupakan susunan feromagnetis yang terdiri dari dua bagian utama yaitu:

a. Bagian Diam

Disebut dengan stator atau jangkar, bagian ini mempunyai alur-alur yang memanjang dalamnya terdapat lilitan kumparan stator.

b. Bagian Berputar

Disebut dengan rotor, yaitu tempat dimana melilitnya lilitan medan yang dicatu dengan arus DC.

Mmf (magnetomotive force) yang sangat tinggi dihasilkan oleh arus lilitan medan bergabung dengan Mmf yang dihasilkan oleh arus dalam lilitan stator, sehingga fluks resultan pada celah udara antara stator dan rotor membangkitkan tegangan dalam kumparan lilitan stator dan menyebabkan terjadinya kompling magnetik antara medan stator dan rotor. Lilitan kumparan stator mengalir arus dari suatu generator ke beban listrik atau sistem.

Suatu generator sebagai sumber tegangan yang mencatu daya pada beban, besar frekwensinya ditentukan oleh kecepatan prime mover (Penggerak mula)nya dan banyaknya kutub.

Untuk kebutuhan catu daya yang besar maka generator sinkron dapat dijalankan dari generator sinkron tersebut agar keserempakan selalu terpelihara jika terjadi gangguan. Alasan utama bagi penggunaan sistem yang saling berhubungan (Interkoneksi) tersebut adalah adanya kesinambungan dalam penyediaan tenaga listrik dan mempunyai nilai ekonomi dalam pemakaiannya.

Bila suatu generator sinkron dihubungkan pada sistem interkoneksi yang besar dimana terdiri dari banyak generator sinkron lainnya, maka tegangan dan frekwensi pada terminal-terminal kumparan jangkar harus sama besar. Dengan demikian aruskumparan jangkar akan menghasilkan komponen medan magnetik celah udara yang berputar pada kecepatan yang serempak.

2.1.2. Generator Dengan Pengerak Mula Turbin Air

Generator dengan penggerak mula turbin air dapat dibedakan atas dua jenis yakni berdasarkan arah porosnya, yaitu:

a. Poros datar

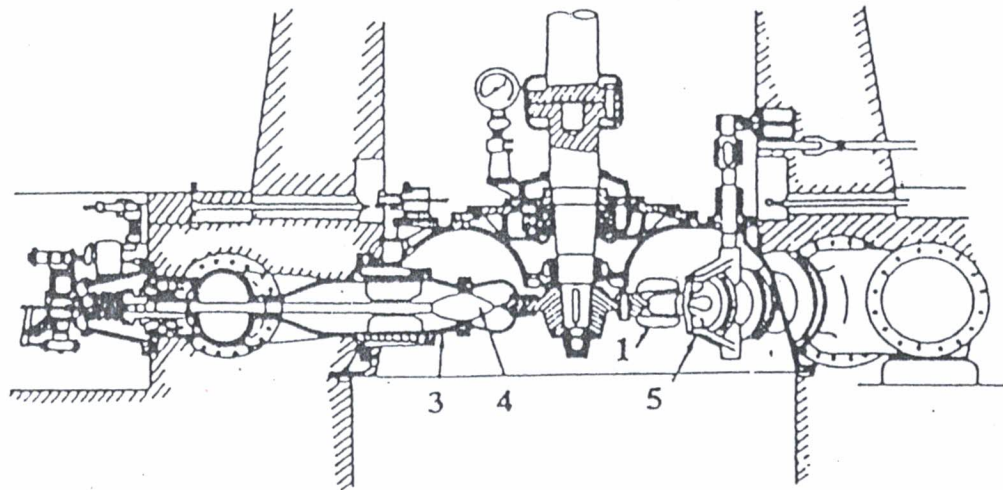
Jenis poros datar cocok digunakan untuk mesin-mesin berdaya kecil atau mesin-mesin berputar tinggi.

b. Poros tegak

Jenis poros tegak cocok digunakan untuk mesin-mesin berdaya besar atau mesin-mesin berputar rendah.

Penggunaan jenis poros tegak sangat baik digunakan pada generator turbin air jenis ini memerlukan luas ruangan yang lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan poros datar.

Konstruksi daripada generator turbin air dengan poros tegak dapat dilihat pada gambar 2.1. Kerangka stator biasanya dibagi dalam berbagai bagian untuk memudahkan pengangkutan. Inti stator terdiri atas segmen-segmen plat baja silikon yang tebalnya 0,35 – 1,5 mm yang dirapatkan, disusun berlapis-lapis dan diikat dengan plat-plat pada ujung oleh baut. Gulungan stator dibuat dari penghantar tembaga yang diisolasi dengan bentuk plat dengan penampang persegi panjang dan dibalut dengan pita mika sebagai isolasinya dan diresapi dengan damar (resin) atau persenyawaan sintesis.



GAMBAR 2.1

GENERATOR TURBIN AIR JENIS POROS TEGAK

Untuk rotor dikenal 2 (dua) macam jalur magnet, yaitu:

- Bentuk cincin

Dibuat dengan cara menyusun berlapis plat-plat baja berbentuk cincin tebal langsung pada laba-laba (spider) atau pada poros menurut arah aksialnya.

- Bentuk segmen

Bentuk yang dapat dilepas untuk memudahkan pengangkutan dari mesin berdaya besar dan berputar rendah.

Kutub dibuat dengan cara menyusun berlapis plat-plat baja setebal 1,6 – 3,2 mm dengan plat-plat ujung. Setelah gulungan medan magnet dipasang ujung dan baut-baut sert ditempatkan didalam alur yang terdapat pada bagian luar jalur magnet. Gulungan medan magnet dimasukkan ke dalam inti kutub magnet dengan leher

isolasi pada ujung atas bawahnya. Permukaan kutub magnet biasanya dilengkapi dengan gulungan peredam dan batang tembaga yang berfungsi meredam frekwensi harmonis yang lebih tinggi yang timbul pada hubung singkat yang tidak seimbang, untuk memperbaiki stabilitas sistem tenaga dan mengurangi gangguan serta mencegah sistem berputar semakin cepat (hunting).

Bantalan poros dorong terdiri atas metal jalan poros-dorong (roating thrust runner) yang berputar, metal duduk (stationary) dan penunjang metal duduk. Bantalan ini ditempatkan di dalam suatu wadah minyak dimana pendingin minyak dipasang di dalam atau di luar wadah minyak tersebut.

2.1.3. Pengaturan-pengaturan Pada Generator

Adanya perubahan tegangan dan frekwensi pada suatu generator akibat perubahan beban yang disuplainya menyebabkan dilakukannya pengaturan pada generator berupa pengaturan frekwensi dan tegangan. Apabila terjadi pengurangan atau penambahan beban pada generator akan menyebabkan frekwensi berubah sehingga perlu adanya pengaturan frekwensi kembali ke dalam normal yang dinamakan dengan pengaturan data dan frekwensi. Sedangkan bila sistem membutuhkan suplai daya yang reaktif maka dilakukan pengaturan daya reaktif yang sekaligus memperbaiki tegangan dalam sistem sehingga pengaturannya dinamakan dengan pengaturan daya reaktif dan tegangan.

Sebenarnya pengaturan daya dan frekwensi dengan pengaturan daya reaktif dan tegangan mempunyai hubungan dalam pengaturannya tetapi dalam penjelasannya dipisahkan agar dapat dipahami cara kerjanya dengan baik.

a. Pengaturan Daya dan Frekwensi

Terjadinya perubahan beban yang disuplai oleh suatu generator akan menyebabkan perubahan frekwensi, misalnya alat pengatur putaran dari mesin penggerak mula dikonstankan, maka kecepatan putaran generator akan turun sehingga frekwensi akan turun pula. Semua mesin penggerak mula dilengkapi dengan pengatur putaran yang disebut dengan govenor yang merupakan alat untuk mengatur daya dan frekwensi.

Kenaikan beban pada sistem menyebabkan kecepatan putaran dan frekwensi semua generator yang berinterkoneksi akan turun sebab kenaikan permintaan daya akan dipenuhi oleh energi kinetik dari mesin penggerak mula. Kenaikan permintaan daya ini menyebabkan meningkatnya fluida kerja yang masuk ke turbin karena govenor turbin akan membuka lebih besar dan dengan demikian terdapat kesetimbangan beban yang baru.

Jadi bila perubahan beban, govenor diatur sehingga diperoleh kembali kecepatan serempak sehingga frekwensi kembali ke keadaan normal.

b. Pengaturan Daya Reaktif dan Tegangan

Disamping menghasilkan daya aktif generator sinkron juga menghasilkan daya reaktif. Generator akan menyerap daya reaktif dari sistem bila penguatan medannya (eksitasi kurang). Kemampuan dari generator untuk membangkitkan

daya reaktif dibatasi oleh thermal rating dari pada stator dan rotor serta keliaran aksitasi.

2.2. Rele Proteksi

Rele proteksi dipasang pada sistem tenaga listrik untuk mendeteksi keadaan abnormal akibat gangguan atau keadaan yang tidak dikehendaki dalam daerah yang dilindungi.

Pemasangan rele proteksi bertujuan untuk menjamin kesinambungan pelayanan konsumen tenaga listrik serta mencegah kesusakan-kerusakan pada peralatan. Jadi rele proteksi bersama CB harus dapat mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem sehingga tidak menimbulkan kerusakan, ketidakstabilan atau terputusnya tenaga listrik.

2.2.1. Pandangan Umum Rele Proteksi

Rele proteksi adalah rele yang mendeteksi gangguan yang terjadi pada suatu sistem pembangkit, jaringan dan peralatan yang lainnya yang tak boleh dibiarkan berkepanjangan. Rele harus dilengkapi dengan pemutus untuk memutuskan gangguan dan alat tanda bahaya yaitu alarm sebagai pertanda jika ada gangguan.

Rele proteksi didefinisikan sebagai alat yang memberi perintah berupa sinyal untuk memutuskan hubungan dari sistem tenaga listrik dan juga mengerjakan tanda-tanda bahaya pada saat gangguan atau keadaan abnormal.

Untuk suatu sistem proteksi dapat dipilih kombinasi dari rele-rele yang sama atau berbeda typenya. Yang perlu diperhatikan adalah bahwa sistem proteksi

mencakup circuit breaker (CB) dan rele proteksi. Ini harus berfungsi bersama-sama sebagai satu kesatuan karena rele tanpa CB tidak ada artinya, begitu pula CB tanpa rele tidak akan berfungsi. Sistem proteksi atau rele proteksi tidak diperlikan bekerja selama sistem masih bekerja normal namun harus bekerja bila terjadi gangguan yang tak dapat dibiarkan berlangsung lama. Jika gangguan terlambat diatasi maka akan timbul kerusakan yang berat pada peralatan, jadi rele proteksi harus secepat mungkin bekerja sesudah adanya perintah untuk bekerja.

Penggunaan rele proteksi dibagi atas beberapa daerah sistem yang disebut sebagai daerah proteksi yang masing-masing membutuhkan suatu kelompok rele proteksi. Untuk mendapatkan keadndalan sistem proteksi maka dalam perencanaan rele proteksi harus memenuhi kriteria-kriteria sebagai berikut:

a. Reability

Kemampuan rele untuk dapat mendeteksi keadaan sistem.

b. Kecepatan kerja

Waktu yang digunakan untuk mengetahui/mengenal adanya gangguan harus sekecil mungkin.

c. Selektivitas

Dapat memilih CB mana yang harus terbuka, agar pelayanan tetap maksimum atau sedapat mungkin tidak diputuskan bila terjadi gangguan sesaat,

d. Ekonomis

Proteksinya maksimum dengan biaya pembuatan yang minimum.

e. Peralatan sederhana dan sedikit jumlahnya.

2.2.2. Prinsip Dasar Kerja Rele Proteksi

Semua rele proteksi pada dasarnya terdiri atas 3 (tiga) elemen, yaitu:

- Elemen penggerak
- Elemen yang dapat bergerak
- Seperangkat kontak-kontak

Rele proteksi dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis:

- a. Menurut waktu kerja
 - b. Menurut cara kerja atau detail mekanis
 - c. Menurut aplikasinya
- a. Waktu kerja

Waktu kerja diartikan sebagai lamanya waktu mulai dari saat elemen penggerak diaktifkan (energized) sampai kintak-kontak rele menutup. Waktu kerja dapat merupakan salah satu dari yang tersebut berikut ini.

- Sesaat/segera (instantaneous)

Dalam hal ini kontak-kontak rele menutup dengan segera sesudah arus dalam kumparan penggerak memiliki nilai yang telah ditentukan.

- Batas waktu tertentu (definite time limit)

Dalam hal ini ada interval waktu tertentu antara saat arus dalam kumparan penggerak melebihi yang sudah ditentukan dan saat kontak-kontak rele bekerja. Waktu tersebut seharusnya tidak tergantung pada jumlah arus yang melewati kumparan penggerak, tetapi sama untuk semua arus yang lebih besar dari arus yang telah ditentukan (setting current)

- Inverse time

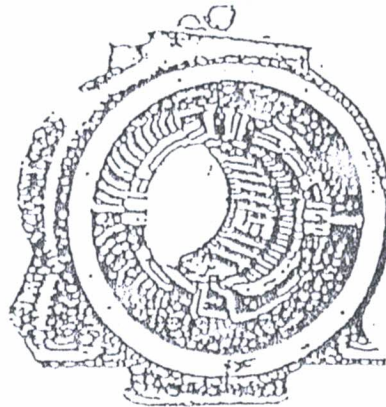
Dalam hal ini penundaan waktu berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Makin besar arus gangguan penundaan waktu makin kecil.

b. Detail Mekanis atau Prinsip Kerja

Jenis rele yang paling penting dapat dibagi dalam dua jenis berdasarkan detail mekanis atau prinsip kerjanya.

- Jenis Plunger

Jenis ini mempunyai kumparan berbentuk silinder yang dilengkapi dengan rangkaian magnetis luar dan sebuah “plunger” ditengah kumparan silinder tersebut. Bila arus atau tegangan yang dikenakan pada kumparan melebihi suatu harga tertentu (Pick-up value) maka plunger ditengahnya akan bergerak keatas dan mengoperasikan kedua kontak yang diam. Gaya F dibutuhkan untuk menggerakkan plunger unit sangat tergantung dari bentuk plunger, inti kumparan, struktur magnetis, disain kumparan dan shunt-shunt magnetis yang dipakai. Plunger bekerja secara instanteneous (tanpa perlambatan waktu), waktu kerjanya berkisar antara 5 sampai 50 mili detik dimana waktu kerja yang lebih lama terjadi disekitar nilai waktu kerja yang lebih lama terjadi disekitar nilai ambang (Treshold value) dari pick-up value. Unit rele yang diperlihatkan pada gambar 2.2. digunakan sebagai unit over current instantenous dengan harga drop-out (penutup kembali kontak normally open) yang tinggi.



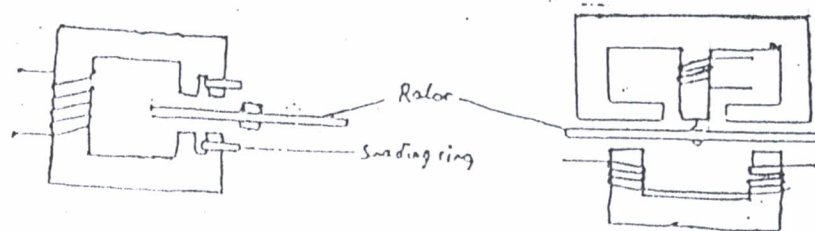
Gambar 2.2.
BAGAN DARI STATOR

- Jenis Induksi

Banyak jenis rele direncanakan dengan prinsip motor induksi dengan fase terbagi atau kutub terbelah. Prinsip dasar ini banyak digunakan dalam meter-meter jenis induksi. Torsi yang menggerakkan rele induksi ini diperoleh dari interaksi fluksi suatu elektromagnetik dengan fluksi dari arus yang terinduksi pada suatu cakram (piringan). Pada gambar 2.3. terlihat tiga buah kutub pada satu sisi dari cakram dan sebuah magnet pada sisi lainnya yang bereaksi terhadap ketiga kutub tadi secara bersamaan. Magnet tersebut dinamakan "keeper". Kumparan utama terdapat pada kaki kutub yang ditengah. Arus I pada kumparan utama menghasilkan fluksi (Φ) yang melewati celah udara dan piringan ke keeper, sebagian kecil dari fluksi menyimpang ke luar melalui celah udara yang ditepi.

Fluksi \emptyset kembali sebagai \emptyset_1 melalui kaki sebelah kiri dan sebagai \emptyset_r melalui kaki sebelah kanan, dimana $\emptyset = \emptyset_1 + \emptyset_r$. sebuah kumparan pada kaki kiri yang dihubung singkat menyebabkan \emptyset_1 tertinggal. Dengan demikian timbulah efek motor split phase yang prinsipnya sama dengan motor induksi satu fasa.

Fluksi \emptyset menginduksi tegangan V_s dan menyebabkan adanya arus I_s yang sefasa mengalir dalam kumparan tadi. Fluksi \emptyset_1 adalah fluksi total yang dihasilkan oleh udara piringan. Arus-arus kisar ini meimbulkan fluksi-fluksi lawan dan interaksi dari kedua set fluksi tersebut menimbulkan torsi (tenaga putaran) yang memutar piringan.



Gambar 2.3.
RELE JENIS INDUKSI

c. Aplikasi Rele

Aplikasi dari rele yang terpenting dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Rele arus :
 - Arus lebih
 - Arus kurang

- Rele arah :
 - Arus balik
 - Daya balik
 - Fasa terbalik
 - Poparitas terbalik

- Rele tegangan:
 - Tegangan kurang
 - Tegangan lebih

- Rele bantu :
 - Kontrol
 - Signal

- Rele differensial

- Rele jarak atai impedansi

2.2.3. Rele Proteksi Yang Digunakan Pada Generator

Gangguan-gangguan yang terjadi pada generator harus cepat dihindarkan sebelum menimbulkan kerusakan pada generator dan menyebabkan sistem menjadi tidak stabil. Untuk dapat memperbaiki kondisi gangguan, maka perlu diketahui jenis gangguan apa yang dapat terjadi pada generator sehingga dapat ditentukan jenis rele

proteksi yang dipasang untuk mengamankan generator tersebut. Jumlah rele proteksi yang dipasang akan berbeda-beda menurut ukuran dan kepentingan generator.

Rele-rele proteksi yang umum digunakan pada generator adalah sebagai berikut:

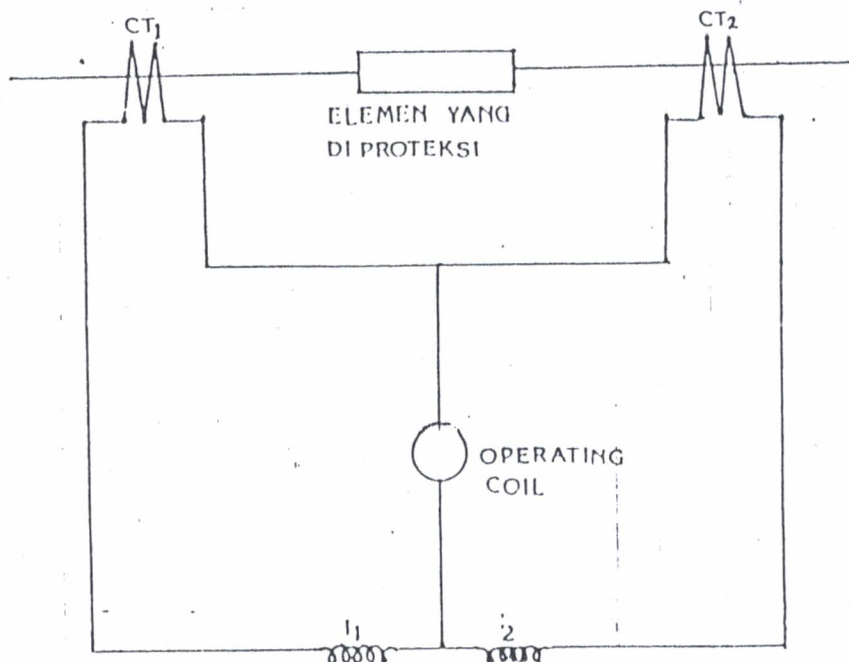
2.2.3.1. Rele Differensial

Definisi dari rele differensial adalah rele proteksi yang akan bereaksi bilamana dua atau besaran listrik yang sama, mempunyai hasil super posisi yang lebih besar dari suatu nilai yang telah ditentukan sebelumnya (setting).

Proteksi differensial terdiri dari dua jenis, yaitu:

- Longitudinal differensial protection
- Percentage differensial protection

A. Longitudinal differensial protection



Gambar 2.4. LONGITUDINAL DIFFERENSIAL RELAY .

Bentuk ini dikenal pula dengan circulating current type. Dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan hubung tanah ataupun gangguan hubung singkat satu fasa atau lebih pada belitan stator.

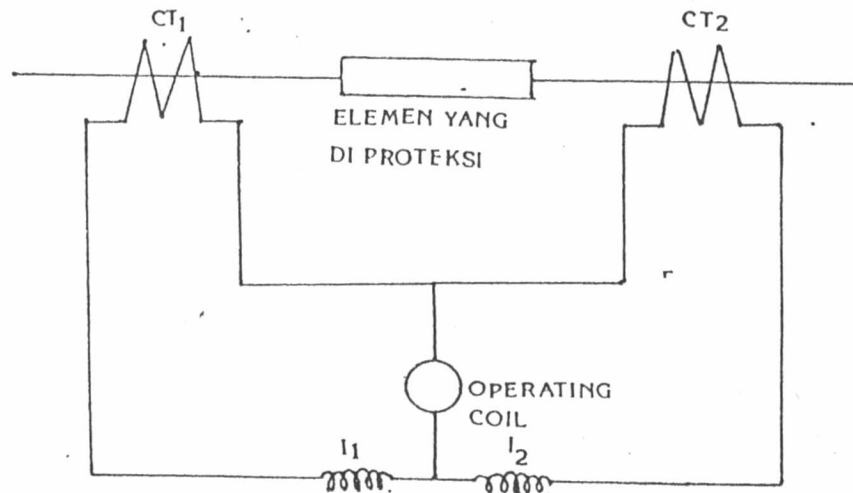
Dalam keadaan normal atau gangguan terjadi diluar daerah proteksi seharusnya tidak ada arus yang mengalir pada operating coil. Tetapi hal ini sulit diperoleh, karena:

- Sulit mendapatkan CT yang benar-benar identik
- Pada umumnya peletakan CT dan unit differensial yang sedemikian rupa dapat menyebabkan burden salah satu CT lebih besar dari yang lain.

Sehingga setting arus dari longitudinal differensial protection dibuat lebih besar dari arus yang lewat pada operating coil dalam keadaan operasi normal atau terjadi gangguan hubung singkat yang besar diluar daerah proteksi. Hal ini menyebabkan bisa terjdai gangguan yang kecil dimana arus sekunder gangguan lebih kecil dari arus setting maka rele tidak akan bereaksi.

B. Percentage differencial protection

Karena kelemahan dari longitudinal differencial protection maka dibuat percentage differencial protection.



Gambar 2.5. PERCENTAGE DIFFERENTIAL RELAY

Kerja daripada Percentage differential protection berdasarkan pada prinsip perbandingan arus pada fasa yang diproteksi. Jadi arus dalam tiap fasa, ada setiap sisi dari mesin dibandingkan dalam suatu rangkaian differensial dimana setiap perbedaan arus digunakan untuk mengerjakan rele. Dalam proteksi ini digunakan dua buah transformator arus (CT) dengan perbandingan belitan yang sama pada kesua ujung rangkaian. Percentage differential protection digunakan untuk memroteksi hubung singkat internal (dalam) pada suatu daerah proteksi yang ditentukan oleh suplai transformstor arus rele differensial. Bila hubung singkat terjadi disisi luar kedua transformstor arus, rele differensial tidak boleh pick-up. Jadi arus yang melalui CT₁ dan CT₂ sama besarnya dengan mengabaikan arus bocor internal yang kecil. Bila arus sekunder dari trafo arus CT₁ dan CT₂ masing-masing adalah i_1 dan i_2 sebagai arah yang positif maka dalam keadaan kerja normal arus yang melalui rele adalah:

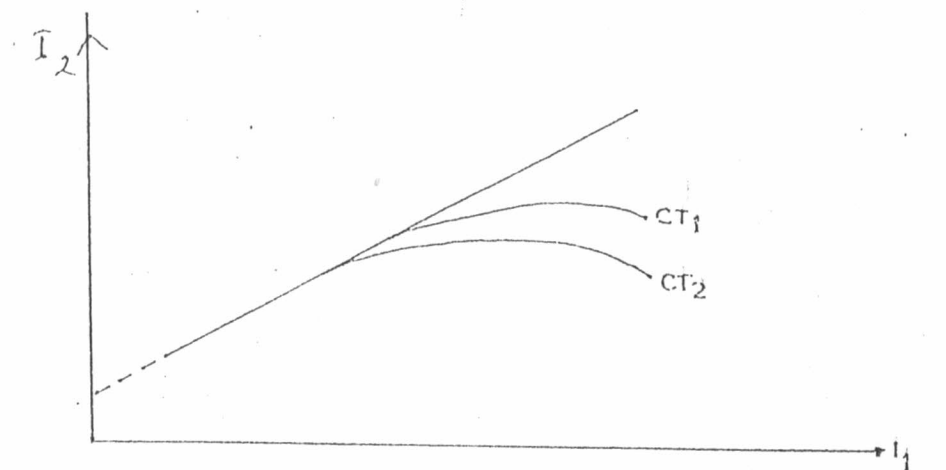
$$i_r = i_1 - i_2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Hubungan ini berlaku berdasarkan kenyataan bahwa impedansi kumparan rele R lebih kecil dibandingkan dari kumparan sekunder trafo arus, sehingga dapat dianggap bahwa arus-arus sekunder ini semua mengalir menuju kumparan rele.

Untuk keadaan yang ideal dan dalam keadaan kerja normal atau dalam keadaan hubung singkat yang terjadi diluar daerah proteksi, arus-arus sekunder dari trafo arus CT₁ dan CT₂ mempunyai besar yang sama namun berlawanan arah sehingga tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan rele differensial, yaitu:

$$i_r (\text{ideal}) = 0$$

Dalam keadaan yang sebenarnya tetap akan ada arus yang mengalir pada kumparan rele yaitu $I_{e1} - I_{e2}$ yang disebabkan adanya perbedaan arus-arus exciting atau arus magnetisasi.



Gambar 2.6.
KURVA 2 CT YANG TIDAK SAMA

Untuk transformator arus yang sama, selisih arus ini kecil pada keadaan normal. Maka untuk mencegah rele bekerja pada keadaan normal, rele harus diset diatas harga selisih arus-arus magnetasi ($I_{e1} - I_{e2}$).

Bila terjadi hubung singkat dalam daerah proteksi dan dimisalkan daya dicatu dari satu arah (gambar 2.7), maka arus yang mengalir ke kumparan rele adalah:

$$I_1 > I \text{ normal}$$

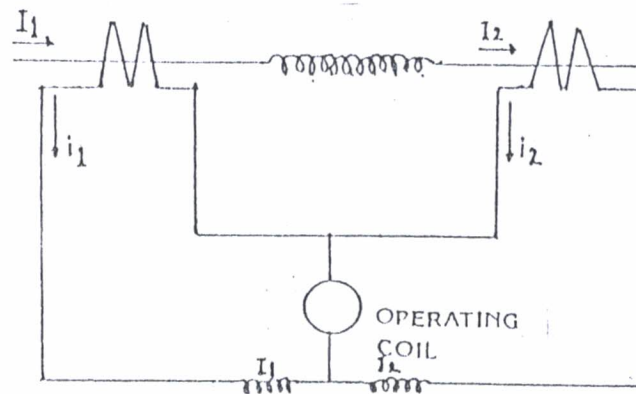
$$i_1 > i \text{ normal}$$

$$I_2 = 0$$

$$i_2 = 0$$

$$I_r = i_1 - i_2$$

rele akan bekerja



Gambar 2.7.

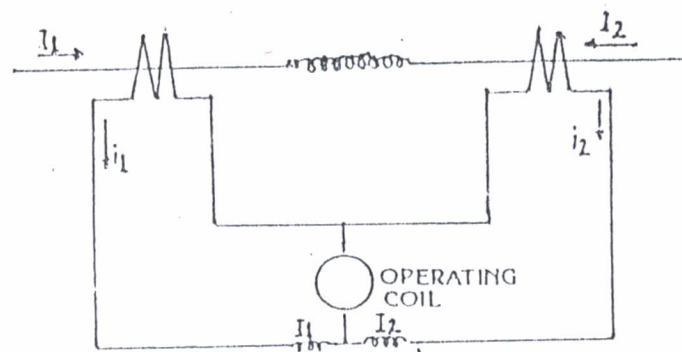
**GANGGUAN DALAM DAERAH PROTEKSI
DAYA DICATU DARI SATU SISI**

Hubung singkat yang terjadi didalam daerah proteksi dan dimisalkan daya dicatu dari kedua sisi (gambar 2.8) maka arus yang mengalir melalui rele differensial adalah jumlah dari kedua arus sekunder trafo arus, yaitu:

$$I_1 > I_n, I_2 > I_n \quad \text{sesuai arah panah}$$

$$i_1 > i_n, i_2 > i_n \quad \text{sesuai arah panah}$$

$$I_r = i_1 + i_2 \quad \text{rele akan bekerja}$$



Gambar 2.8.

**GANGGUAN DALAM DAERAH PROTEKSI
DAYA DICATU DARI KEDUA SISI**

Pada proteksi diatas, dalam keadaan normal arus yang terus mengalir di dalam rangkaian yang menghubungkan trafo arus tersebut disebut arus sirkulasi. Oleh sebab

itu kawat yang menghubungkan kedua trafo arus tidak boleh mempunyai nilai tahanan yang besar karena dapat menimbulkan kesalahan kerja pada trafo arus.

Trafo arus yang baik, akan menyebabkan suatu rele arus lebih di dalam rangkaian differensial dapat diset untuk bekerja lebih sensitif dan cepat. Akan tetapi di dalam prakteknya tidak ada dua transformator arus yang akan memberikan arus sekunder yang tepat sama. Perbedaan ini disebabkan karena variasi dalam pembuatan dan perbedaan beban sekunder yang mana panjang kabel-kabel rele tidak sama dan beban-beban meter atau instrumen yang tidak sama yang dihubungkan pada salah satu sekunder atau kedua sekunder trafo. Beda arus yang dihasilkan mengalir melalui rele. Untuk keadaan normal beda arus ini kecil, dan dapat menjadi besar jika arus hubung singkat mengalir akibat gangguan luar (external fault). Suatu rele arus lebih haruslah diset diatas arus gangguan maksimum yang disebabkan oleh gangguan diluar daerah proteksi.

Rele differensial persentase dapat mengatasi persoalan diatas tanpa mengurangi sensitivitasnya. Rele ini dilengkapi dengan belitan penahan (restraining coil) yang akan menerima arus sekunder trafo arus dan tidak akan mengerjakan rele bila terjadi arus besar akibat terjadinya gangguan luar. Rele differensial persentase mempunyai dua belitan penahan yang sama yang akan menghasilkan torsi untuk membuka kontak melawan torsi untuk menutup kontak dari belitan kerja (operating coil). Dengan kata lain belitan penahan membangkitkan suatu tegangan penahan untuk dibandingkan dengan tegangan yang dihasilkan oleh perbedaan arus.

Misalkan perbandingan jumlah belitan kerja dengan belitan penahan sama dengan N . jadi torsi kerja sebanding dengan $N^2(i_1 - i_2)$ mengalir ke dalam N belitan kerja. Pada belitan penahan akan mengalir arus i_1 pada salah satu belitan dan i_2 pada belitan lainnya.

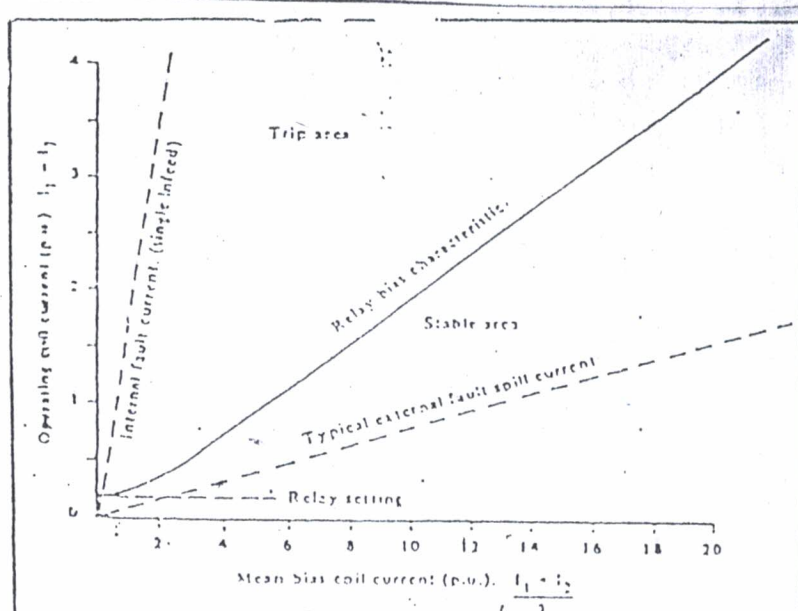
Jadi dapat diasumsikan $(i_1 + i_2/2)$ mengalir ke dalam belitan penahan, dan torsi penahan sebanding dengan $N^2(i_1 - i_2/2)^2$ oleh sebab itu rele akan pick-up bila torsi kerja lebih besar dari torsi penahan, yaitu:

$$N^2(i_1 - i_2)^2 > N^2(i_1 - i_2/2)^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Setting dari rele differensial persentase ditentukan dalam persen (%) atau sering disebut dengan "Slope".

$$Slope (\%) = \frac{i_1 - i_2}{\frac{i_1 + i_2}{2}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4.)$$

Gambar (2.9) memperlihatkan kurva karakteristik rele differensial persentase untuk keadaan gangguan luar dan gangguan dalam. Jadi untuk mendesai proteksi differensial dengan menggunakan dua transformator arus dengan karakteristik yang sama.



Gambar 2.9.

KURVA SETTING RELE DIFFERENSIAL PERCENTAGE

2.2.3.2. Rele Proteksi Hubung Tanah

Cara yang digunakan untuk mendeteksi gangguan hubung tanah pada rotor adalah:

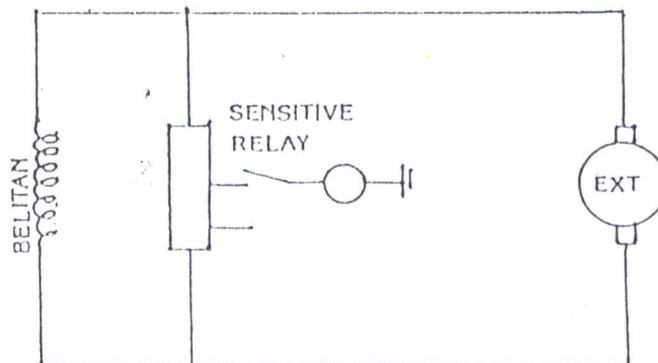
- a. Metode potensiometer
- b. Metoda injeksi AC
- c. Metode injeksi DC

Untuk lebih lanjut, akan diulas sebagai berikut:

- a. Metode Potensiometer

Skema dapat dilihat pada gambar 2.10. yang terdiri dari suatu center tapped resistor yang dihubungkan paralel dengan belitan medan utama, titik tengah resistor dihubungkan ke tanah melalui suatu rele tegangan.

Bila terjadi gangguan hubung tanah pada belitan medan maka akan menghasilkan tegangan pada rele, tegangan maksimum terjadi pada gangguan diujung belitan.



Gambar 2.10.

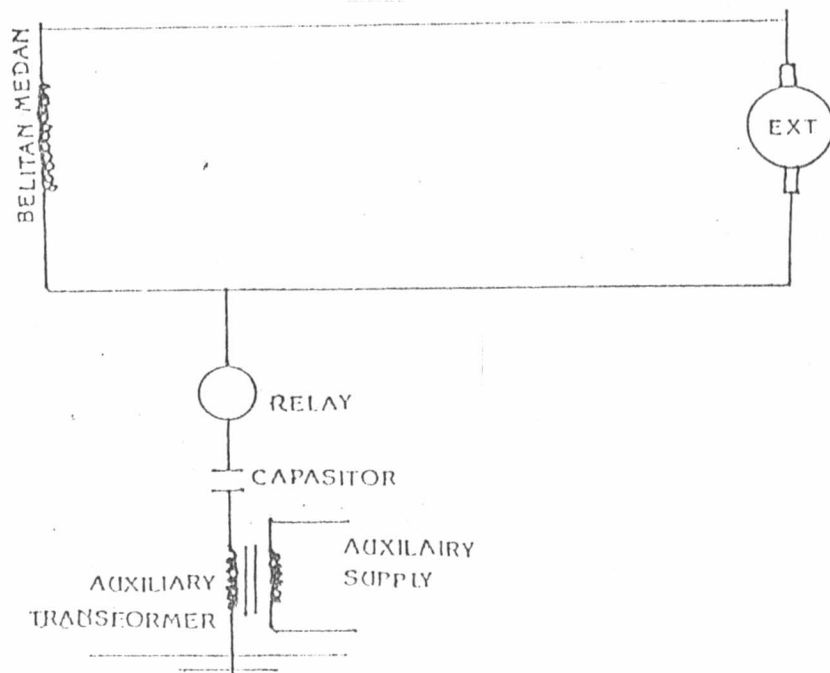
**PROTEKSI GANGGUAN TANAH PADA ROTOR
DENGAN METODA POTENSIOMETER**

Cara ini tidak memungkinkan untuk mendeteksi keseluruhan belitan rotor, karena masih mempunyai “daerah mati” yaitu pada titik tengah dari belitan. Untuk menolong daerah yang tidak dapat dideteksi ini, tiap tap dari potensiometer diubah dengan pertolongan saklar atau push button. Cara ini sangat sederhana dan biasanya rele disetting pada 5% tegangan exciter yang diperlukan. Dissipasi kira-kira 60 Watt.

b. Metode Injeksi AC

Metode ini skemanya dapat dilihat pada gambar 2.11. yang terdiri dari transformator bantu, yang mana sekunder dihubungkan diantara tanah dan salah satu sisi dari sirkit medan, melalui suatu kapasitor dan kumparan rele. Jika terjadi

gangguan dimanapun akan menyebabkan kenaikan arus yang dapat dideteksi oleh rele.

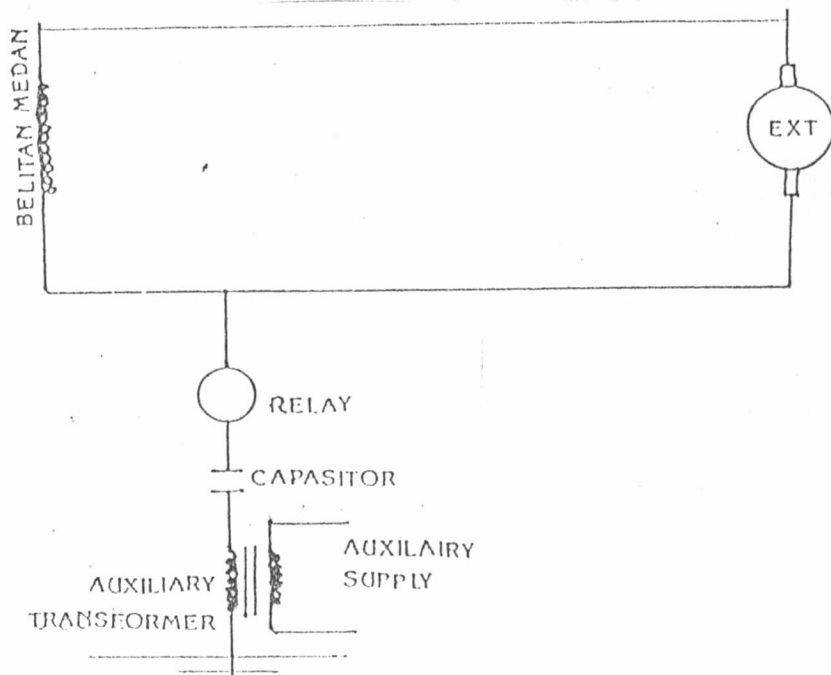


Gambar 2.11. PROTEKSI HUBUNG TAHAH ROTOR DENGAN METODA INJEKSI AC

Kapasitor gunanya untuk membatasi besaran arus dan mengblok tegangan medan yang normal dan mencegah discharge melalui transformator. Cara ini mempunyai keuntungan dibandingkan dengan cara potensiometer yaitu tidak mempunyai daerah mati. Kerugiannya, arus tetap mengalir ke tanah melalui kapasitansi dari belitan medan. Arus ini bisa mengalir ke bearing mesin yang dapat menyebabkan timbulnya erosi pada permukaan bearing.

c. Metode Injeksi DC

gangguan dimanapun akan menyebabkan kenaikan arus yang dapat dideteksi oleh rele.

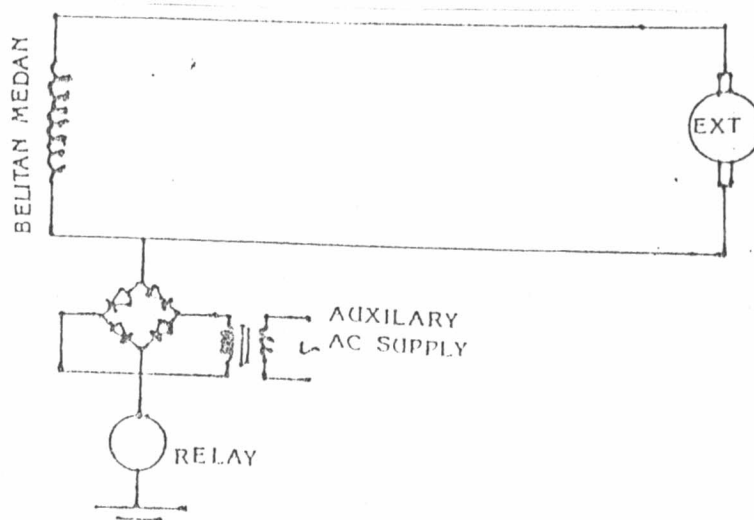


Gambar 2.11. PROTEKSI HUBUNG TAHAN ROTOR DENGAN METODA INJEKSI AC

Kapasitor gunanya untuk membatasi besaran arus dan mengblok tegangan medan yang normal dan mencegah discharge melalui transformator. Cara ini mempunyai keuntungan dibandingkan dengan cara potensiometer yaitu tidak mempunyai daerah mati. Kerugiannya, arus tetap mengalir ke tanah melalui kapasitansi dari belitan medan. Arus ini bisa mengalir ke bearing mesin yang dapat menyebabkan timbulnya erosi pada permukaan bearing.

c. Metode Injeksi DC

Metode injeksi DC skemanya dapat dilihat pada gambar 2.12. Daya output DC dari unit transformer rectifier dan membuat bias dari sisi positif sirkuit medan ke suatu tegangan negatif yang relatif dengan tanah.



Gambar 2.12.

PROTEKSI HUBUNG TAHAN ROTOR DENGAN METODA INJEKSI DC

Sisi negatif dari medan terdapat pada tegangan negatif yang lebih besar ke tanah. Jadi suatu gangguan hubung tanah pada setiap titik dalam belitan medan akan menyebabkan arus mengalir melalui transformer rectifier. Arus dibatasi oleh penambahan tahanan yang besar dan digunakan rele yang sensitif untuk mendeteksi arus ini. Arus gangguan berubah-ubah dengan berubahnya tempat gangguan tetapi tidak mengganggu kerja rele.

2.2.3.3. Rele Proteksi Terhadap Pengaliran Daya Balik

Untuk proteksi terhadap pengaliran daya balik pada generator dapat digunakan rele proteksi reverse power (rele daya balik). Generator bekerja sebagai

motor disebabkan oleh input penggerak mula yang kurang. Bila input tidak dapat mengatasi rugi-rugi, kekurangannya diberikan oleh daya nyata yang diserap dari sistem. Dengan demikian pada motoring of generator, daya nyata akan mengalir ke dalam mesin.

Reverse power rele (rele daya balik) adalah suatu rele yang khusus mendeteksi gangguan yang lain dari gangguan hubung singkat, rele ini adalah jenis directional unit (unit terarah) atau dengan kata lain hanya mendeteksi aliran daya satu fasa maupun tiga fasa, yang mana besaran penggerakannya adalah arus dan tegangan.

Jika arah arus berlawanan dengan arah setting maka torsi yang ditimbulkan adalah negatif, berarti rele tidak bekerja. Dalam hal ini rele akan pick-up untuk mengalirkan daya dalam satu arah (arah setting), dan akan reset untuk pengaliran daya yang berlawanan arah setting.

2.2.3.4 Rele Proteksi Tegangan Lebih

Proteksi tegangan lebih untuk mesin listrik dan sirkit arus dipergunakan untuk menghindari kerusakan yang disebabkan oleh tegangan lebih dan pemanasan yang berlebihan. Proteksi demikian terutama digunakan untuk memroteksi:

- Belitan dari mesin listrik dan sirkit arus yang lain akibat bahaya tegangan lebih.
- Laminasi besi dari mesin listrik akibat pemanasan yang berlebihan yang disebabkan oleh rugi-rugi besi yang tinggi.

- Konduktor stator yang terletak dekat celah udara pada mesin sinkron yang akibat pemansan yang berlebihan dari arus kisa yang diberikan oleh intensitas yang tinggi dari medan magnet radial.

Dalam suatu generator, tegangan lebih yang timbul dapat merusak isolasi kumparan generator. Kenaikan tegangan generator tidak boleh lebih dari 50% dari tegangan nominal. Biasanya 10% diatas dan dibawah tegangan nominal.

Rele yang digunakann dapat dari jenis waktu kebalikan (*inverse time*). Rele proteksi tegangan lebih merupakan proteksi cadangan (*back-up protection*) untuk pengatur tegangan (*automatic voltage regulator*).

2.2.3.4. Rele Proteksi Arus Lebih

Arus lebih dalam belitan stator dapat menyebabkan kenaikan temperatur, dan kenaikan temperatur dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan isolasi belitan stator. Pengaman terhadap arus lebih selain dimaksudkan untuk melindungi belitan stator terhadap gangguan hubung singkat, juga melindungi belitan stator terhadap temperatur lebih yang disebabkan oleh gangguan yang berlangsung lama dalam sisten jala-jala.

Pengman ini juga berfungsi sebagai pengaman cadangan jika rele differensial gagal melaksanakan tugasnya. Rele arus lebih biasanya diklasifikasikan sebagai berikut:

- Rele tanpa perlambatan waktu (*instantenous over current realy*)
- Rele dengan penghambat waktu tertentu (*defite time lag realy/ d.t.l*)

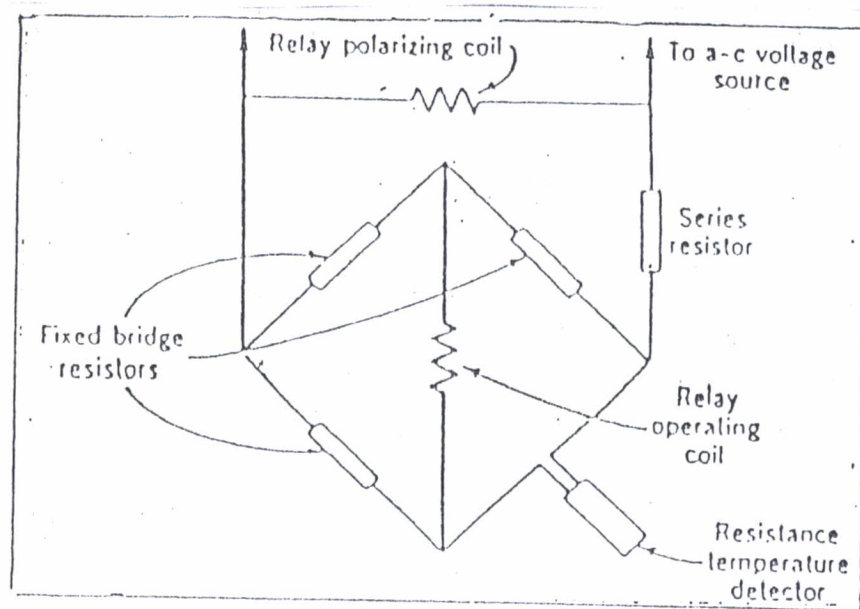
- Rele dimana hubungan antara arus dan waktu berbanding terbalik (inverse time over current relay)
- Kombinasi antara tipe ke 2 dan ke 3, disebut inverse definite minimum time lag relay (IDMTL relay)

Nilai setting berdasarkan arus kerja maksimum yang kontinyu yang dapat diizinkan.

2.2.3.6.1. Rele Proteksi Temperatur Lebih

Timbulnya panas yang berlebihan dalam belitan stator umumnya disebabkan oleh terjadinya beban lebih atau terjadi hubung singkat diluar maupun di dalam generator yang tidak segera diamankan. Hal ini dapat pula disebabkan oleh gangguan pada sistem pendinginan.

Untuk mendeteksi temperatur yang timbul dalam belitan stator, dapat dipakai detektor temperatur yang bekerja berdasarkan prinsip perubahan nilai tahanan akibat temperatur (prinsip thermocouple). Detektor diletakkan di beberapa tempat dalam belitan stator untuk mendapatkan hasil yang merata. Kemudian dengan menggunakan saklar pilih dapat dilihat temperatur dari masing-masing tempat dimana detektor diletakkan, detektor yang menunjukkan nilai temperatur tertinggi dipakai sebagai pedoman. Pengaman ini dapat dilengkapi dengan tanda bahaya atau alarm yang berupa lampu atau bunyi suara dan juga alat pemutus untuk melepaskan generator dari sistem.



Gambar 2.13.

PENGAMAN TEMPERATUR LEBIH PADA STATOR

Pada gambar 2.13, berlaku hubungan:

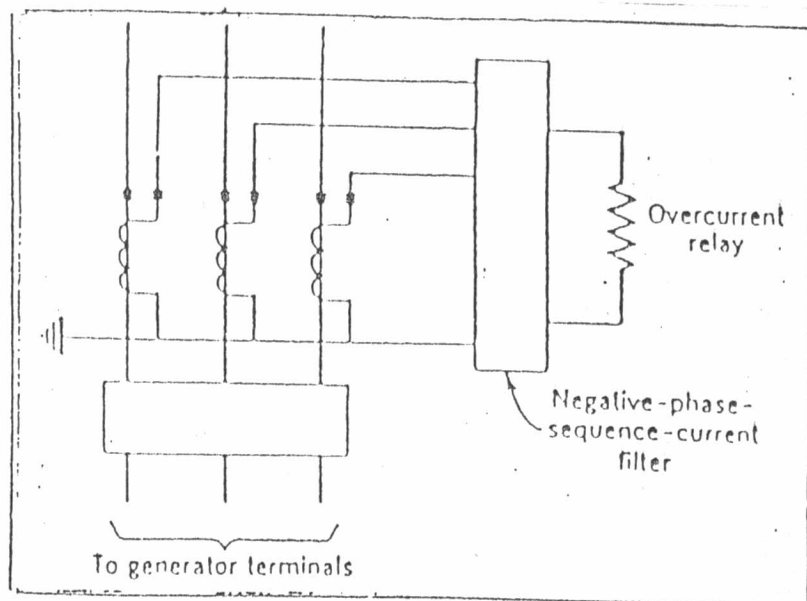
$$R_a \times R_b = R_c \times R_{t_{\text{normal}}} \dots \dots \dots (2.5)$$

R_t adalah tahanan yang berubah besarnya sesuai dengan temperatur. Selama temperatur belitan stator berada dalam batas yang diizinkan, maka nilai R_t normal dan arus yang melalui rele masih kecil sekali, sehingga rele tidak akan bekerja. Bila temperatur belitan stator naik mencapai nilai tertentu maka rele akan bekerja menutup kontakannya, membunyikan alarm dan sekaligus melepas circuit breaker.

2.2.3.5. Rele Beban Tidak Seimbang

Arus urutan negatif (negatif phase sequence current) akan timbul pada keadaan beban yang tidak seimbang atau gangguan yang tidak seimbang (misalnya hubung singkat dua fasa atau hilangnya salah satu fasa). Dengan demikian gejala

timbulnya arus urutan negatif dapat digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan-gangguan tertentu dalam generator maupun diluar generatir. Untuk mengetahui ada tidaknya arus urutan negatif, maka dapat dipakai filter arus urutan negatif seperti tampak pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.14.

FILTER ARUS URUTAN NEGATIF

Pengaman dengan menggunakan arus urutan negatif sebagai penggerak rele ini sangat berguna untuk mengamankan gangguan tak seimbang dalam generator maupun diluar generator.

Kalau sumber ketidakseimbangan berada dalam sistem jala-jala, semua generator berdekatan akan dipengaruhi. Jika gangguan tidak seimbang belum hilang setelah beberapa waktu tertentu, maka pengaman harus melepas generator dari sistem. Jadi pengaman ini harus dilengkapi dengan penundaan waktu.

Pada saat terjadi gangguan seperti terbakarnya konduktor (satu fasa hilang), gangguan tak simetris akan dihasilkan arus urutan positif, negatif dan nol. Arus urutan negatif akan menghasilkan fluksi yang akan memotong rotor pada dua kali kecepatan rotasi, karena itu akan terinduksi arus yang dua kali besarnya dalam medan sistem dan badan rotor. Arus kisar yang dihasilkan sangat besar dan menyebabkan pemanasan yang besar pada rotor. Arus ini akan mengalir pada permukaan rotor. Rugi-rugi I^2R pada rotor cepat berkembang menjadi panas yang dapat merubah sifat mekanis dan sifat listrik dari bagian-bagian yang dialirinya.

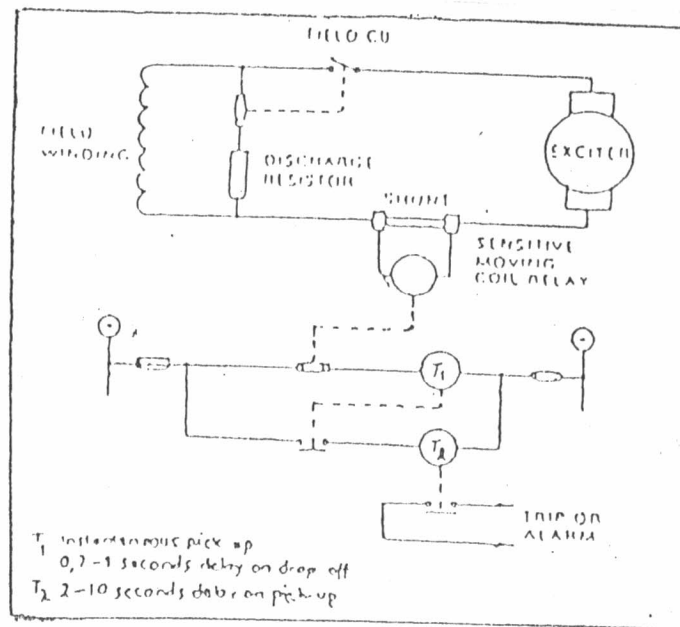
2.2.3.8.1 Rele Proteksi Hilangnya Penguatan Medan

Penguatan medan akan hilang pada suatu generator sinkron, jika terjadi gangguan pada rangkaian kumparan medannya (misalnya jika terjadi hubung terbuka atau hubung singkat dalam rangkaian penguatnya). Pada saat tegangan penguatan berubah menjadi nol. Fluks magnet yang dihasilkan turun. Bersamaan dengan itu putaran rotor naik, daya aktif relatif konstan dan tegangan terminal perlahan-lahan turun. Setelah fluks magnetis hilang seluruhnya, daya reaktif masuk dari sistem jala-jala ke generator induksi menghasilkan daya aktif, menyerap daya reaktif serta berputar diatas kecepatan sinkronnya. Bila sistem dapat memenuhi kebutuhan daya reaktif yang diperlukan, maka tegangan sisten tidak akan terganggu tetapi apabila tidak maka akan turun dan kestabilan generator yang terhubung paralel akan terganggu.

Bila suatu generator sinkron tidak dapat bekerja sebagai generator induksi, output mesin akan sedikit berisolasi seperti osilasi rotor bila kehilangan medan penguat, akan menyebabkan kehilangan sinkronisasinya. Kehilangan sinkronisasi ini tidak memerlukan tripping dengan segera kecuali kalau disertai dengan penurunan tegangan terminal yang dapat mengancam kestabilan sistem. Apabila satu bagian atau seluruhnya dari mesin sinkron tersebut kehilangan medan penguat maka daya reaktif dari sistem akan mengalir ke dalam mesin. Jadi output KW dikontrol oleh input penggerak mula dan output KVAR dikontrol oleh medan eksitasi.

Hilangnya penguatan medan menyebabkan penurunan arus tetapi karena arus penguatan berubah-ubah maka setting daripada rele harus lebih kecil dari arus penguatan minimum. Relé arus kurang dengan penundaan waktu dapat dipakai untuk mendeteksi bila arus penguatan medan hilang.

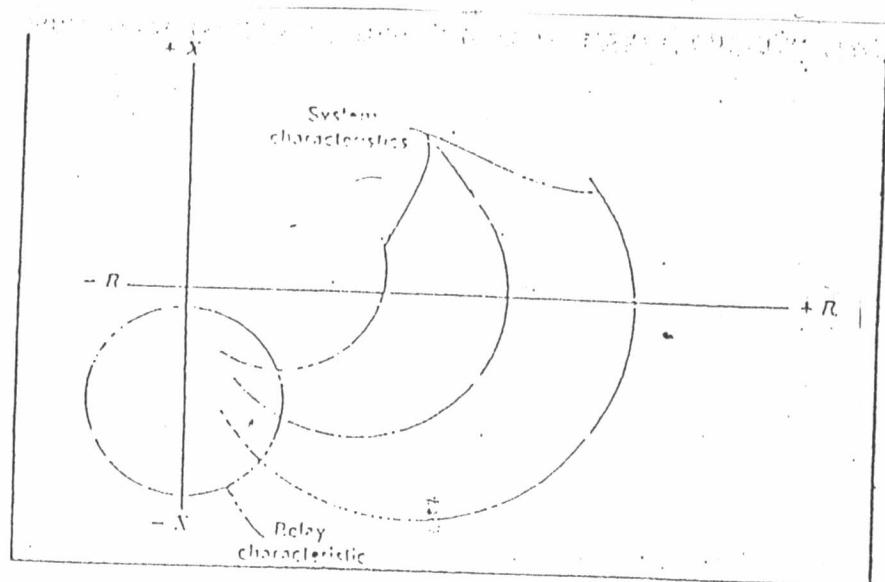
Relé arus kurang (under current) dengan penundaan waktu seperti tampak pada gambar dibawah, dapat dipakai sehingga tidak terjadi kesalahan operasi.



Gambar 2.15.

RELE PROTEKSI HILANGNYA PENGUATAN MEDAN

Rele pengaman lain yang dapat digunakan untuk mengamankan gangguan hilangnya medan adalah rele impedansi jenis rele offset mho yang mendeteksi perubahan reaktansi bila terjadi hilangnya penguatan medan. Rela offset mho diatur untuk bekerja hanya jika hilangnya excitasi menyebabkan penurunan terminal.



Gambar 2.16. RELE HILANGNYA PENGUATAN MEDAN DAN KARAKTERISTIK SISTEM

2.2.3.6. Rele Proteksi Putaran Lebih

Meskipun putaran generator tergantung dari putaran penggerak mulanya dan putaran penggerak mula sudah diatur dengan governor pengatur kecepatan namun dapat terjadi governor mengalami kerusakan.

Bila suatu generator bekerja sendiri menanggung beban lebih dan tiba-tiba melepas bebannya suatu gangguan atau bila generator sedang bekerja paralel terlepas dari sistemnya maka pada generator tersebut akan terjadi putaran lebih.

Untuk generator yang bekerja sendiri, putaran lebih akan menyebabkan naiknya frekwensi dan bila generator itu tidak dilengkapi dengan pengatur tegangan otomatis (AVR) maka putaran lebih dapat menaikkan tegangan genetaror. Untuk mendeteksi putaran lebih pada generator digunakan rele kecepatan lebih (Over speed).