

BAB III

RELE PROTEKSI GANGGUAN ARUS BALIK PADA GENERATOR

3.1. PENGERTIAN RELE PROTEKSI GANGGUAN ARUS BALIK PADA GENERATOR

Gangguan arus balik pada suatu generator sangat berbahaya karena akan menyebabkan generator itu beroperasi sebagai motor dalam keadaan sinkron (Generator paralel). Artinya, sekarang terjadi aliran daya dari sistem ke turbin. Keadaan ini selain dapat merusak turbin juga akan menimbulkan gangguan pada sistem pembangkit (generator paralel). Sebab jika penguatan generator itu tidak berubah, berarti mesin tersebut akan tetap mengirimkan daya reaktif, sementara mesin juga tetap akan menerima daya aktif dari sistem pembangkit atau generator lainnya.

Oleh karena itu untuk mengatasi gangguan arus balik pada generator tersebut digunakan rele daya yang akan dapat mendeteksi pembalikan arah aliran arus. Output dari rele daya ini akan mengoperasikan rangkaian pembukaan pemutus tenaga (PMT) yang dalam hal ini menggunakan Circuit Breaker (CB) sebagai pemutusny.

3.2. PENGERTIAN DASAR RELE PROTEKSI

Ferkataan rele banyak dijumpai di dalam bidang-bidang yang berhubungan dengan sistem tenaga listrik, namun disamping itu istilah rele banyak kita jumpai dalam bidang telekomunikasi dan dalam bidang kontrol.

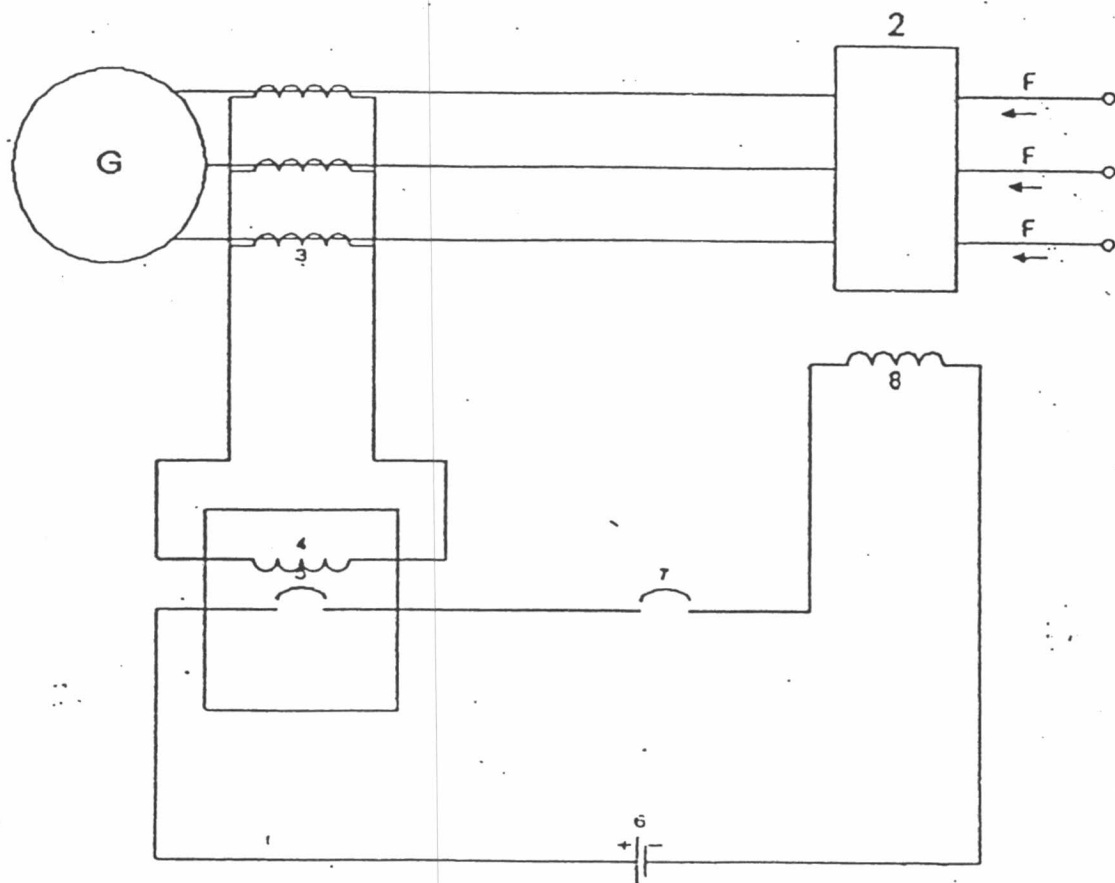
Rele proteksi sistem tenaga atau rele proteksi adalah rele yang bertanggung jawab atas kondisi kerja yang tidak normal dalam sistem tenaga listrik, dimana rele akan mengontrol pembukaan pemutus daya (CB) untuk memutus arus yang mengalir dan mengisolasi bagian yang terganggu dari sistem serta meminimumkan penghentian pelayanan setelah rele tersebut mendeteksi gangguan pada sistem.

Dengan adanya rele proteksi ini, maka operasi pembukaan pemutus daya (CB) digunakan untuk memisahkan bagian-bagian yang terganggu, yang dapat dilakukan dengan cepat dan selektif. Namun rele proteksi ini tidak mampu untuk mencegah terjadinya kesalahan, dia hanya dapat meminimumkan gangguan hingga batas yang diinginkan.

3.3. PRINSIP PENGAMAN DENGAN RELE PROTEKSI

Untuk mengetahui prinsip kerja rele proteksi dalam mengamankan suatu sistem tenaga listrik, maka gambar 3.1

dibawah ini akan mencoba mengilustrasikan suatu rangkaian kontrol dasar untuk operasi pembukaan pemutus tenaga (FMT).



GAMBAR 3.1

RANGKAIAN DASAR RELÉ PROTEKSI ¹

1) Baringin Nababan.N.U. "Studi Relé Proteksi Generator".
ITB, Bandung, 1990, Hal. 32

KETERANGAN :

1. Generator
2. PMT
3. Trafo arus
4. Rele (R)
5. Kontak rele
6. Batere
7. Saklar kontak bantu
8. Kumparan pembuka
9. Lokasi gangguan

Jika dimisalkan terjadi gangguan arus balik dari arah titik F, yang sebelumnya rele telah mendeteksi turunnya daya dari generator yang terganggu, maka rele proteksi yang dipasangkan pada rangkaian sekunder pada trafo arus (TA) akan bekerja menutup kontak rele. Karena kontak rele ini dipasang seri dengan kumparan pembuka, maka arus listrik akan mengalir dari kutub positif menuju kutub negatif dari batere dan mengerjakan kumparan pembuka untuk melakukan pembukaan pemutus tenaga (CB). Setelah pemutus tenaga membuka maka kontaktor saklar bantu (7) yang terpasang seri dengan rangkaian akan turut membuka sehingga aliran dari batere akan ikut terputus pula.

Kontak saklar bantu ini interlock dengan kontak pembukaan pemutus tenaga (CB), sehingga jika Circuit Breaker (CB) membuka maka kontaktor bantu akan ikut membuka. Demikian sebaliknya, apabila Circuit Breaker (CB) menutup maka kontaktor saklar bantu akan turut menutup pula.

3.4. SIFAT-SIFAT DASAR RELE PROTEKSI

Rele proteksi sebagai peralatan untuk mengontrol pembukaan pemutus daya (PMT) pada kondisi tidak normal pada sistem haruslah bekerja dengan baik dan efisien.

Rele proteksi yang baik dan efisien harus memiliki empat sifat atau syarat dasar yaitu :

1. Keandalan
2. Selektifitas
3. Kecepatan operasi

Tanpa ketiga sifat dasar diatas, maka rele tidak akan bekerja secara efisien dan ekonomis.

3.4.1. KEANDALAN

Keandalan diartikan sebagai kemampuan rele yang dapat bekerja dengan baik dalam mengatasi gangguan dan kemampuan rele dalam menghindari operasi yang tidak diperlukan, dimana maksudnya bahwa rele haruslah dapat

melakukan proses penutupan kontak rele secara efektif dan benar, meskipun dalam keadaan yang sangat tidak menguntungkan, misalnya pada rele yang tidak terawat dalam jangka waktu yang lama.

3.4.2. SELEKTIFITAS

Sifat selektifitas dari suatu rele proteksi adalah kemampuan rele untuk menentukan secara cermat dalam mengamati dan mengatasi gangguan dan FMT mana yang harus dikerjakan yang terdekat dengan titik gangguan. Dengan kata lain selektifitas rele berhubungan dengan kemampuan rele untuk mengisolasi hanya bagian yang terganggu saja.

3.4.3. KECEPATAN OPERASI

Rele proteksi harus dapat memutuskan bagian yang terganggu dengan secepat mungkin. Hal ini disebabkan, jika rele proteksi dapat bekerja dengan cepat maka beberapa hal penting dapat dicapai antara lain :

1. Mempercepat tercapainya kembali stabilitas sistem.
2. Mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan.
3. Memperkecil timbulnya gangguan pada konsumen.
4. Mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan

lainnya akibat gangguan yang terjadi.

3.5. KLASIFIKASI RELE PROTEKSI LISTRIK

Rele proteksi listrik adalah rele proteksi yang bekerja berdasarkan pengukuran-pengukuran besaran listrik, karena dalam sistem proteksi juga dijumpai rele proteksi yang bekerja berdasarkan pengaruh tekanan atau temperatur.

Berdasarkan komponen yang digunakan maka rele proteksi listrik dapat diklasifikasikan dalam dua katagori, yaitu :

1. Rele elektromagnetik
2. Rele statik

3.5.1. RELE ELEKTROMAGNETIK

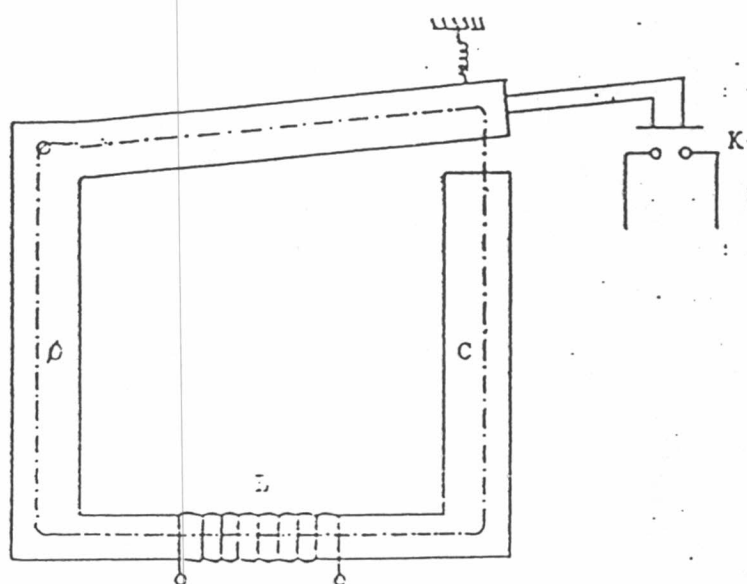
Rele elektromagnetik adalah rele yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Elemen utama dari rele ini adalah kumparan dan inti besi serta adanya jangkar yang bergerak karena gaya elektromagnetik yang ditimbulkan oleh kumparan yang dilalui oleh arus listrik.

Rele ini dapat dibedakan dalam dua tipe, yaitu :

1. Tipe jangkar tarik
2. Tipe induksi

3.5.1.1. TIPE JANGKAR TARIK

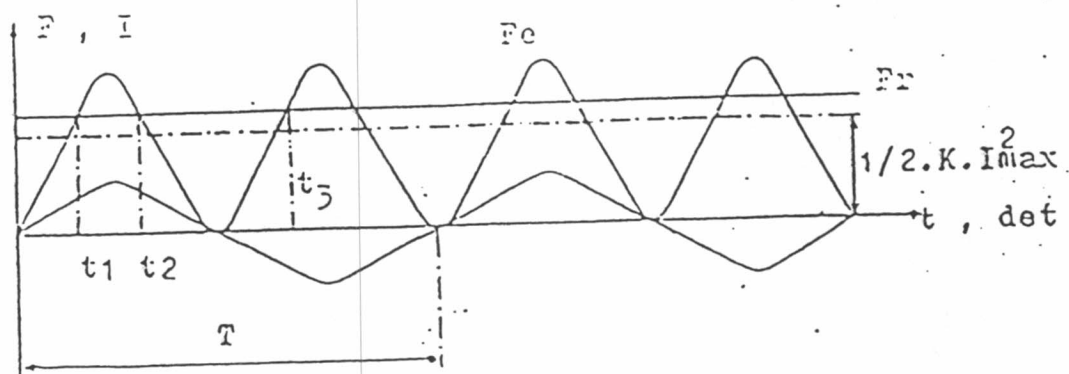
Gambar 3.2 dibawah ini mengilustrasikan skema dasar rele elektromagnetik tipe jangkar tarik yang terdiri dari kumparan L, inti C dan jangkar yang bergerak karena tarikan gaya elektromagnetik untuk menutup kontak K.



GAMBAR 3.2
TIPE JANGKAR TARIK 2

- 2) Ravindranalh, B. and Chader, M. "Power System Protection and Switchgear". Malaviya Reg Eng Col Jaipur, Hal. 37

Arus yang mengalir pada kumparan akan menimbulkan suatu aliran fluks pada inti besi dan celah udara. Pada celah udara akan timbul gaya tarik yang akan menarik jangkar. Jika gaya tarik elektromagnetik ini lebih besar dari gaya lawan pegas maka jangkar akan ditarik dan akan menutup kontak rele.



GAMBAR 3.3

KURVA ARUS DAN GAYA ELEKTROMAGNETIK YANG DITERAPKAN PADA KUMPARAN JANGKAR

Jika arus yang mengalir pada kumparan adalah arus searah (DC) maka gaya tarik yang dihasilkan adalah konstan, jika gaya ini lebih besar dari gaya lawan pegas maka kontak rele akan menutup dengan baik. Jika arus yang

mengalir pada kumparan adalah arus bolak balik (AC) maka gaya elektromagnetik adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_e &= K \cdot I^2 \\
 &= K (I_{\text{mak}} \sin \omega t)^2 \\
 &= 1/2 K (I_{\text{mak}}^2 - I_{\text{mak}}^2 \cos 2\omega t)
 \end{aligned}$$

Dimana : F_e = Gaya elektromagnetik

K = Konstanta

Terlihat bahwa gaya elektromagnetik tersebut terdiri dari dua komponen yaitu $1/2 K I_{\text{mak}}^2$ komponen yang tidak tergantung terhadap waktu dan komponen $1/2 K I_{\text{mak}}^2 \cos 2\omega t$ yang tergantung terhadap waktu. Sehingga gaya F_e setiap saat dapat digambarkan seperti pada gambar 3.3 diatas.

Jika gaya lawan pegas adalah (F_r) maka kontak rele akan menutup pada selang waktu $T_1 - T_2$ dan membuka pada selang waktu $T_2 - T_3$. Hal ini akan menyebabkan kontak rele bergetar dan ini akan merusak kontak rele tersebut.

3.5.1.2. TIPE INDUKSI

Rele tipe induksi ini mempunyai prinsip kerja dasar yang sama dengan arus motor bolak-balik. Pada rele tipe

induksi terdapat kumparan beserta inti besi yang disebut stator dan sebuah bagian yang berputar yang disebut rotor. Rele tipe induksi ini dapat digolongkan menjadi dua bagian, tergantung pada bentuk rotornya, yaitu rotor yang berbentuk disk disebut rele tipe disk dan rotor yang berbentuk cup disebut rele induksi tipe cup.

Kopel yang ditimbulkan pada rotor adalah disebabkan oleh interaksi antara fluksi bolak-balik yang ditimbulkan arus induksi dipermukaan rotor dengan fluksi bolak-balik yang menembus permukaan rotor.

Prinsip kerja rele tipe induksi dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini. Fluksi magnet ϕ_1 dan ϕ_2 menembus sebuah fluksi masing-masing berbeda fasa 90° dengan fluksi penyebabnya. Interaksi antara ϕ_1 dengan I_2 dan ϕ_2 dengan I_1 akan menghasilkan kopel yang akan mengerakkan disk.

Maka kita dapat menurunkan persamaan kopel rele tersebut sebagai berikut :

$$\bar{\phi}_1 = \phi_1 \sin \omega t$$

$$\bar{\phi}_2 = \phi_2 \sin (\omega t + \epsilon)$$

$$I_1 \phi_1 = d \bar{\phi}_1 / dt = \omega \phi_1 \cos \omega t$$

$$I_2 \phi_2 = d \bar{\phi}_2 / dt = \omega \phi_2 \cos (\omega t + \epsilon)$$

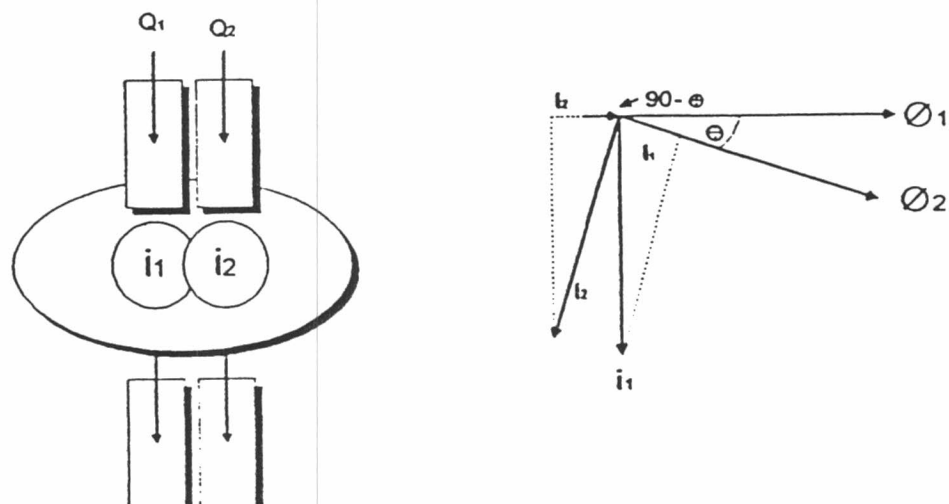
Persamaan kopel adalah :

$$T_e = \bar{\phi}_2 i_1 \phi_1 - \bar{\phi}_1 i_2 \phi_2$$

$$T_e = \phi_2 \sin(\omega t + \theta) \cdot \omega \phi_1 \cos \omega t - \phi_1 \sin \omega t$$

$$\dots \omega \phi_2 \cos(\omega t + \theta)$$

$$T_e = \omega \phi_2 \phi_1 \sin \theta$$



GAMBAR 3.4

PRINSIP KOPEL RELE INDUKSI ³

³) Weedy, B. M. "Sistem Tenaga Listrik". Southamton, Hal. 566

Dengan demikian dapat dilihat, bahwa kopel rele tipe induksi tergantung pada besarnya fluksi ϕ_1 dan ϕ_2 serta perbedaan fase antara ϕ_1 dan ϕ_2 . Kopel maksimum terjadi pada beda fase 90° atau 270° dan kopel akan nol jika beda fasenya 0° atau 180° .

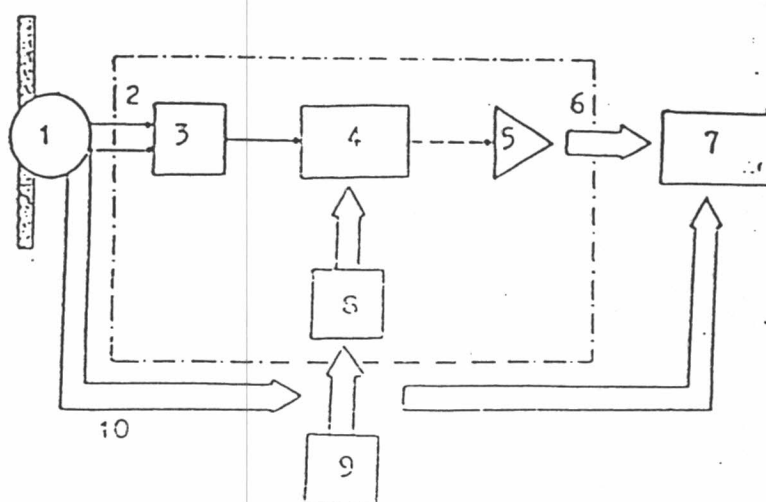
3.5.2. RELE STATIK

Rele proteksi statik adalah suatu rele yang melakukan pengukuran besaran listrik yang ditunjukkan, didalam rangkaian statik yang dibuat untuk memberikan sinyal output ke rangkaian tripping ketika kondisi normal terlewati. Pada rele statik ini tidak ditemukan elemen-elemen yang bergerak.

Sinyal output ini akan mengoperasikan rangkaian tripping yang dapat berupa rangkaian elektronik ataupun rangkaian elektromagnetik. Jika rangkaian tripping merupakan rangkaian elektronik juga, maka tipe rele ini disebut tipe rele statik penuh, pada jenis ini tidak didapati elemen-elemen yang bergerak. Jika rangkaian tripping merupakan rangkaian elektromagnetik maka rele seperti ini disebut rele semistatik, pada rele ini terdapat kontak-kontak yang digerakkan oleh kumparan.

3.5.2.1. KONTRUKSI DASAR RELE STATIK

Pada dasarnya rele statik adalah mengubah sinyal analog biner dengan fungsi-fungsi pengukuran variabel - variabel seperti arus, tegangan, sudut fasa atau frekwensi dan nilai-nilai yang dihasilkan dengan defferensial, integrasi selalu muncul dalam besaran-besaran analog dari rangkaian input suatu rele dan untuk rele statik variabel-variabel ini dirubah dulu kedalam bentuk biner sebelum masuk kedalam rele.



GAMBAR 3.5

BLOK DIAGRAM DASAR RELE STATIK ⁴

4) Madhava Rao, T.S. "Power Protection Static Relays".
Tata Mcgvar Hill, 1984, Hal. 6

Elemen-elemen yang membangun suatu rele proteksi statik dapat dilihat pada gambar 3.5 diatas.

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| ————→ Sinyal analog | 4. Elemen pengukuran |
| ———— Aliran output | 5. Elemen output |
|→ Sinyal biner | 6. Sinyal output |
| 1. Rangkaian pengukur | 7. Elemen kontrol |
| 2. Sinyal pengukuran | 8. Elemen catural |
| 3. Elemen konverter | 9. Rangkaian pengukur suplai |

Sinyal-sinyal yang diperoleh secara analog dalam bentuk variabel kontinu dari rangkaian pengukur trafo arus dan tegangan, dimasukkan kepada konverter unit proteksi. Elemen pengukuran ini akan dioperasikan ketika sinyal input mencapai nilai tertentu. Elemen output menguatkan sinyal biner yang lemah dan mentransfer ke satu atau lebih elemen kontrol. Elemen kontrol ini menyelenggarakan fungsi sinyal pembuka seperti pembukaan PMT dan lain-lain. Arus yang diberikan ke elemen pengukur atau elemen output berasal dari elemen catu daya. Daya ini dapat dihasilkan dari sumber tegangan bantu atau dari rangkaian pengukur itu sendiri.

3.5.2.2. KEUNTUNGAN RELE STATIK

Rele statik secara umum mempunyai keuntungan - keuntungan sebagai berikut :

1. Operasi yang sangat cepat dan tahan lama serta tahan terhadap guncangan.
2. Perawatannya mudah, tidak mengakibatkan pergeseran komponen dan gesekan pada bantalan.
3. Selektifitas dan kecepatan operasi dapat dikembangkan.
4. Karakteristik rele yang ideal dapat diperoleh dengan menggunakan rangkaian semi konduktor.
5. Energi yang dibutuhkan dalam rangkaian sangat rendah.

3.6. CIRCUIT BREAKER (CB)

Pemutus daya / circuit breaker (CB) adalah suatu peralatan listrik yang dapat menghubungkan dan memutuskan rangkaian listrik dalam keadaan normal dan tidak normal yang dilengkapi dengan alat pemadam busur api. Penggunaannya pada sistem pembangkit berfungsi untuk memutuskan rangkaian listrik bila terjadi gangguan pada sistem.

Adapun prinsip kerja dari Circuit Breaker (CB) secara garis besar adalah sebagai berikut :

Rangkaian tripping coil akan men-trip-kan / membuka CB setelah mendapat sinyal dari OCR (Over Current Relay) yang mendeteksi adanya arus balik pada sistem pembangkit.

Femutus daya yang digunakan untuk pengaman pada sistem pembangkit di PLTGU Gresik berbeda untuk setiap rating tegangannya.

Pada tegangan 350 V digunakan pengaman / CB dengan pemutus udara (Air Break Circuit Breaker) sebagai media isolasi pemadam busur api listriknya. Circuit Breaker ini digunakan pada tegangan rendah dan tegangan menengah sampai 12 KV.

Sedangkan pada tegangan sistem 6 KV, 150 KV dan 500 KV digunakan jenis pengaman (CB) dengan gas SF₆ sebagai media isolasi pemadam busur api listriknya.

Gas SF₆ adalah suatu gas yang baik untuk media pemadam busur api karena mempunyai sifat dielektrik yang baik serta mempunyai sifat pemadam, dimana pada tekanan tertentu yang ditiap sepanjang busur api akan menjadi gas yang akan mengambil panas dari busur api, sehingga berakibat akan mengecilnya diameter dari busur api dan akhirnya padam.

3.7. PRINSIP RELE DAYA PADA GANGGUAN ARUS BALIK

Rele daya biasanya ditempatkan pada panel board pembangkit tenaga sebagai alat pelindung terhadap gangguan arus balik yang terjadi pada generator. Dengan menggunakan rele daya maka dapat dicegah mengalirnya arus ke generator yang mengakibatkan generator bekerja sebagai motor sinkron. Gejala ini baru akan timbul apabila generator dioperasikan secara paralel dengan generator-generator yang lain.

Besaran yang digunakan untuk mendeteksi gangguan arus balik adalah besaran daya, besaran ini dapat berupa :

1. Daya aktif
2. Daya reaktif

Rele daya ini merupakan suatu rele yang berarah yaitu rele yang bekerja bila dilalui oleh aliran arus pada arah aliran tertentu, dalam hal ini arah aliran ke generator.

Dengan memperhatikan diagram skematik dari rele daya berarah pada gambar 3.6 dan diagram vektor dari rele daya berarah pada gambar 3.7 maka kita dapat mengetahui karakteristik kerja rele daya.

Dimana : I_r ; Arus pada trafo arus

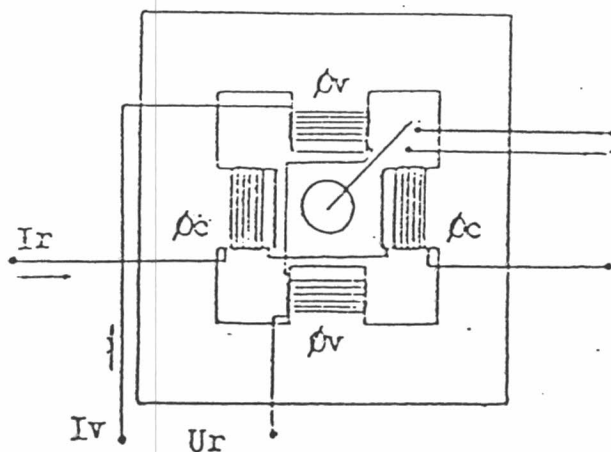
I_v ; Arus pada trafo tegangan

U_r ; Tegangan yang dipakai pada kumparan rele

tegangan .

ϕ_c ; Fluksi yang ditimbulkan oleh I_r

ϕ_v ; Fluksi yang ditimbulkan oleh I_v

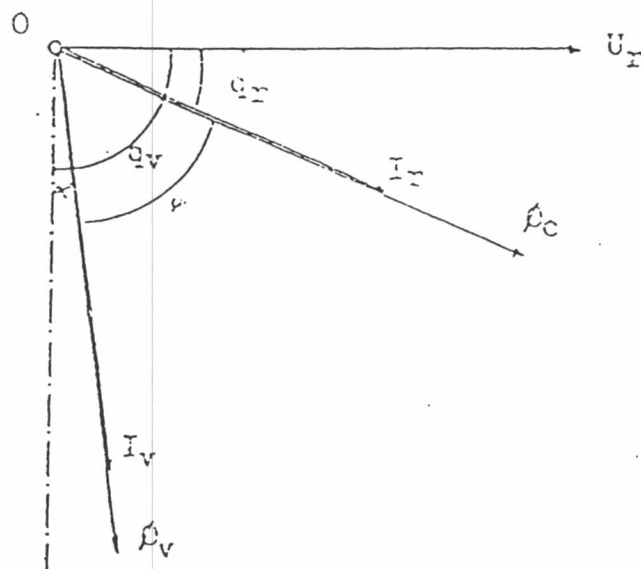


GAMBAR 3.6

DIAGRAM SKEMATIK RELE DAYA BERARAH⁵

Arus I_r yang melalui trafo arus akan menghasilkan fluksi ϕ_c dalam celah udara pada tegangan U_r , maka pada trafo tegangan akan mengalir arus I_v yang akan menghasilkan fluksi ϕ_v .

5) Hadi Sutrisno, Ir. "Sistem Pengaman Tenaga Listrik". ITS. Hal. 90



GAMBAR 3.7
DIAGRAM VEKTOR

Dua arus steady yang dihasilkan rotor, yaitu I_{cr} oleh fluksi ϕ_c dan I_{cv} merupakan penyebab timbulnya momen putar T yang bekerja pada motor, dimana :

$$T = K_L \cdot \phi_v \cdot \phi_c \sin (\phi_v \cdot \phi_c)$$

Gambar 3.7 memberikan suatu diagram vektor dari rele dimana rugi-rugi inti diabaikan dan karenanya fluksi ϕ_c dan fluksi ϕ_v , masing-masing digambarkan sefasa dengan I_r dan I_v yang dibangkitkannya.

Vektor arus I_r tertinggal terhadap vektor tegangan U_r sebesar sudut θ_r . Diantara tegangan U_r dan arus I_v dalam trafo tegangan, sudut fasa θ_r adalah sebesar :

$$\theta_r = \arctan \frac{X_v}{R_v}$$

Dimana X_v dan R_v adalah reaktansi dan resistansi dari belitan trafo tegangan.

Selanjutnya untuk suatu sistem magnetik yang tidak jenuh dapat diasumsikan bahwa fluksi sebanding dengan arus yang dihasilkan oleh fluksi tersebut, maka :

$$\phi_c = I_r$$

$$\phi_v = U_v \text{ (karena arus } I_r = U_r \text{)}$$

Sehingga :

$$T = K \cdot U_r \cdot I_r \sin \omega$$

$$T = K \cdot U_r \cdot I_r \sin (90^\circ - \alpha - \theta_r)$$

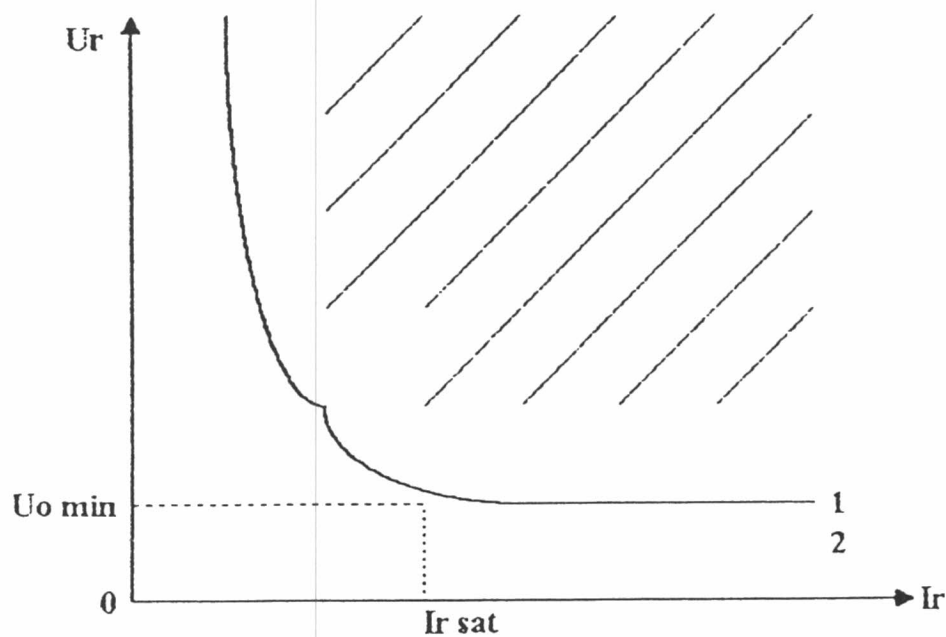
$$T = K \cdot U_r \cdot I_r \cos (\theta_r + \alpha)$$

Dimana :

ω = sudut antara ϕ_c dan ϕ_v

$\alpha = 90^\circ - \theta_r$, yang disebut sudut internal dari rele.

Bila momen yang dibangkitkan oleh rele melebihi momen lawan dari pegas dan mempunyai tanda positif, maka rele akan beroperasi dan memutar rotor rele untuk menutup kontak. Selanjutnya rele daya pada suatu sudut ϕ_r akan beroperasi bila daya P_r yang diterima kumparan-kumparan rele sama atau melebihi daya operasi P_o yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya lawan pegas.



GAMBAR 3.8

KARAKTERISTIK VOLT - AMPERE ⁵⁾

⁵⁾ Studi Relé Proteksi Generator, Op cit. Hal. 38

Dari persamaan momen diatas, momen tergantung pada U_r , I_r dan $\cos (\theta_r + \alpha)$. Untuk $\cos (\theta_r + \alpha)$ yang konstan biasanya pada saat terjadi gangguan, tegangan U_r akan turun. Oleh sebab itu harus ditetapkan bahwa pemilihan besaran-besaran untuk rele haruslah pada daerah operasi pada daerah karakteristik Volt-Ampere rele daya berarah, seperti pada gambar 3.8.

Dengan memperhatikan persamaan momen maka dapat diperoleh tiga kemungkinan dengan memperhatikan persamaan $\cos (\theta_r + \alpha)$, yaitu :

Untuk $\alpha = 0$

Keadaan ini diperoleh bila reaktansi dari kumparan tegangan lebih dominan atau $X_v \gg R_v$.

Sehingga :

$$T = K.U_r.I_r \cos \theta_r$$

Jika pada saat $\alpha = 0$ harga momen (T) akan sebanding dengan daya reaktif, sehingga rele daya ini disebut rele daya aktif.

Untuk $\alpha = 90^\circ$

Keadaan dimana harga resistansi kumparan tegangan rele

lebih dominan atau $R_v \gg X_v$.

Sehingga diperoleh :

$$T = K.U_r.I_r \cos (90^\circ - \phi_r)$$

$$T = K.U_r.I_r \sin \phi_r$$

Jadi pada saat $\alpha = 90^\circ$ harga momen T akan sebanding dengan daya reaktif, sehingga rele daya ini dinamakan rele daya reaktif.

Untuk $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

Rele daya dengan harga α terletak antara 0° hingga 90° ini disebut tipe kombinasi, dimana nilai momen maksimum diperoleh pada saat $\phi_r = -\alpha$, dimana $\cos (\phi_r + \alpha) = 1$.

3.6.1. FUNGSI SISTEM RELE DAYA

Secara umum rele daya memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Memberi tanda bahaya atau membuka FMT (CB) sehingga dapat memisahkan / mengisolasi sebagian dari sistem itu selama terjadi gangguan.
2. Memutuskan hubungan antara generator yang terganggu dengan generator yang bekerja normal

apabila terjadi, aliran arus balik generator, sehingga akan mengurangi kerusakan pada generator dan penggerak mulanya.

3. Membatasi pengaruh kesalahan dengan memutuskan bagian yang terganggu dari bagian yang sehat sehingga stabilitas sistem tidak terganggu.

Dengan demikian terlihat bahwa sistem rele daya ini memegang peranan penting dalam mengurangi pengaruh kesalahan dan mengurangi kerusakan pada saat terjadi gangguan.