

MAKALAH

RANCANG BANGUN RELE STATIS PHASA TIDAK SEIMBANG DAN PENGUJIANNYA PADA MOTOR INDUKSI TIGA PHASA



OLEH :

**IR. M. SUPARLAN, MS
NIP. 19570606 198703 1 002**

**Karya ilmiah telah diseminarkan
Untuk melengkapi persyaratan kenaikan Jabatan Fungsional
Dari Lektor ke Lektor Kepala**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
NOVEMBER 2013**

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam aplikasinya motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada industri-industri besar, sebagai alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis guna menggerakkan beban. Sesuai dengan ketentuan yang dikeluarkan oleh National Electrical Code (NEC) tahun 1971 yaitu, pada setiap rangkaian pelayanan motor arus bolak-balik harus dilengkapi dengan tiga buah rele proteksi beban lebih. Rele proteksi adalah suatu rele yang digunakan untuk menghubungkan dan atau memutuskan secara automatic suatu peralatan atau bagian dari sistem listrik dari sumber daya pada suatu kondisi tertentu.

Ditinjau dari tipenya maka rele proteksi dapat dibagi menjadi dua yaitu: rele elektromekanik dan rele statis. Rele statis yang menggunakan komponen semi konduktor ini memiliki kelebihan dan kekurangan, kelebihannya antara lain; pemakaian daya pada rangkaian pengukuran kecil tidak ada bagian yang aus karena gesekan dan tahan terhadap guncangan. Adapun kekurangan dari rele statis yaitu harganya relatif mahal dibandingkan dengan rele elektromekanik. Oleh sebab itu pada industri besar banyak menggunakan rele elektromekanik dari pada rele statis. Bertitik tolak dari kekurangan yang ada pada rele statis maka peneliti berkeinginan untuk merancang bangun suatu peralatan kontrol elektronik yaitu rele statis fasa tidak seimbang. Gangguan yang dapat terjadi pada oprerasi suatu motor induksi tiga fasa tidak hanya gangguan beban lebih tetapi masih ada jenis gangguan lainnya yang dapat terjadi antara lain adalah gangguan fasa tidak seimbang. Rele proteksi beban lebih yang ada pada rangkaian pelayanan motor arus bolak-balik (AC) tidak dapat memproteksi gangguan fasa tidak seimbang, karena rele beban lebih tidak dapat merasakan adanya perbedaan besaran arus dan tegangan yang terjadi pada kondisi tegangan fasa tidak seimbang dengan demikian maka pada rangkaian pelayanan motor arus bolak-balik arus dilengkapi dengan rele proteksi fasa tidak seimbang selain tiga buah rele proteksi beban lebih (NEC1971).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam rancang bangun rele statis fasa tidak seimbang adalah :

1. Merancang bangun elemen sensor untuk mendapatkan besaran ukur sebagai sinyal masukan rele statis, dimana pada kondisi operasi tegangan fasa seimbang besaran ukur yang dihasilkan oleh elemen sensor sama dengan nol. Sebaliknya pada kondisi tegangan fasa tidak seimbang besaran ukur yang dihasilkan tidak sama dengan nol.
2. Merancang bangun suatu rangkaian yang menggunakan penguatan operasional (Ic Op-amp) dan komponen semikonduktor. Rangkaian statis ini akan memberikan sinyal pelepasan hubungan pada saklar daya bila motor induksi beroperasi pada kondisi tegangan fasa tidak seimbang. Pada kondisi operasi tegangan fasa seimbang rele statis tidak akan bekerja.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Membuat suatu elemen sensor medan magnetik yang menghasilkan besaran ukur tegangan induksi sebagai sinyal masukan rele statis pada kondisi tegangan fasa tidak seimbang
2. Merancang bangun suatu rangkaian rele statis fasa tidak seimbang yang memenuhi persyaratan teknis sebagai rele proteksi motor induksi tiga fasa.

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini adalah :

1. Diharapkan dapat memberikan masukan dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dibidang rele statis untuk proteksi motor induksi tiga fasa
2. Menambah wawasan ilmiah dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi guna melaksanakan Tridarma Perguruan Tinggi.

BAB II

TIJAUAN PUSTAKA

British Standard (BS: 142-1966) mendefinisikan rele sebagai berikut :

- a. Rele adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mengontrol suatu rangkaian elektrik secara tidak langsung, dengan memanfaatkan perubahan gejala fisik yang terjadi pada rangkaian elektrik tersebut ataupun rangkaian lainnya.
- b. Rele proteksi adalah suatu rele yang digunakan untuk menghubungkan dan atau memutuskan secara automatic suatu peralatan atau bagian dari sistem listrik dari sumber daya pada suatu kondisi tertentu.

Rele statis fasa tidak seimbang yang dirancang bangun pada dasarnya adalah mengubah besaran ukur menjadi sinyal listrik yang setara. Besaran ukur harus mempunyai dua tugas, pertama, besaran ukur harus menggerakkan alat proteksi, ini disebut bereaksi. Kedua, besaran ukur harus menentukan waktu, berapa besar waktu antara saat terjadi kesalahan dan saat perintah pelepasan saklar daya. Hal ini disebut proses. Sehubungan dengan tugas diatas maka alat proteksi mempunyai bagian-bagian yang disebut bagian pereaksi dan bagian pemeroses. Selain dari pada itu ada lagi yang disebut bagian pelepasan, bagian ini umumnya tidak menggunakan besaran ukur, hanya melanjutkan perintah pelepasan ke saklar daya. Rele statis yang dirancang bangun dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian sensor, bagian pemeroses dan bagian pereaksi.

2.1 Bagian Sensor

Bagian sensor ini berfungsi untuk mendeteksi perubahan gejala fisik yang terjadi pada kondisi tertentu. Yang dimaksud dengan gejala fisik adalah besaran listrik, seperti tegangan, arus, daya dan impedansi atau besaran yang disebabkan oleh proses listrik.

Besaran ukur sebagai sinyal masukkan rele statis diperoleh dengan memanfaatkan adanya proses induksi elektromagnetik. Untuk mendapatkan persamaan tegangan induksi elektromagnetik pada suatu toroidal yang ditempatkan mengelilingi penghantar yang dialiri arus listrik, berikut ini akan diuraikan mengenai kuat medan magnet, fluksi

magnet dan kerapatan fluksi magnet pada suatu titik disekitar penghantar yang dialiri arus listrik.

Menurut Hukum Ampere, kuat medan magnet disuatutitik disekitar penghantar yang dialiri arus I adalah :

$$\oint H \cdot dL = I$$

Didapatkan

$$H = \frac{I}{2\pi r} \text{ (AT/m)} \dots\dots\dots (1)$$

Kerapatan fluksi didefinisikan dalam bentuk persamaan :

$$B = \mu \cdot H \text{ (Wbr/m)}^2 \dots\dots\dots (2)$$

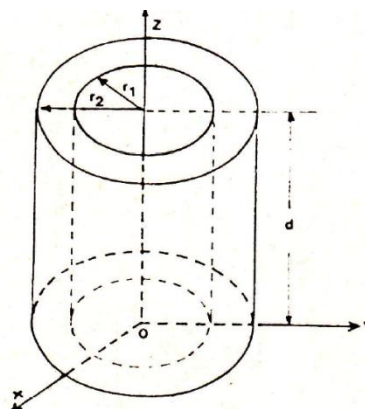
Dengan memasukkan persamaan (1) ke dalam persamaan (2), didapatkan kerapatan fluksi magnetik disekitar penghantar yang dialiri arus I, yaitu :

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I}{2\pi r} \text{ (Wbr/m}^2) \dots\dots\dots (3)$$

Fluksi magnet yang menembus suatu luas permukaan didefinisikan dalam bentuk persamaan :

$$\phi = \int_s B \cdot ds \dots\dots\dots (4)$$

Fluksi magnetik yang terdapat disekitar penghantar yang dialiri arus I yang berimpit dengan sumbu Z menembus suatu bidang toroidal secara radial yang meluas dari $r = r_1$ ke $r = r_2$ dan dari $Z = 0$ ke $Z = d$, seperti terlihat pada gambar 2.1, didapat dengan memasukkan persamaan (3) ke persamaan (4)



Gambar 2.1 Penampang Inti Toroidal

$$\Phi = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I \cdot d}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ (Wbr)} \dots\dots\dots(5)$$

Menurut Hukum rangkaian Ampere, kuat medan magnet pada suatu toroidal dengan N lilitan yang ditempatkan yang mrngelilingi penghantar yang dialiri arus I adalah :

$$\oint H \cdot dL = N \cdot I$$

$$H = \frac{N \cdot I}{2\pi r} \text{ (AT/m)} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan memasukkan persamaan (6) ke persamaan (2), didapatkan kerapatan fluksi magnet disuatu titik pada toroidal dengan N lilitan yang ditempatkan mengelilingi penghantar yang dialiri arus I adalah :

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N \cdot I}{2\pi r} \text{ (Wbr/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(7)$$

Fluksi magnet yang menembus luas permukaan toroidal untuk N lilitan dengan penampang inti seperti pada gambar 1, didapatkan dengan masukkan persamaan (7) ke persamaan (4), yaitu :

$$\Phi = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N \cdot I \cdot d}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ (Wbr)} \dots\dots\dots(8)$$

Dengan memasukkan harga permeabilitas relatif bahan paramagnetik ($\mu_r = 1$) sebagai bahan inti toroidal, maka didapatkan fluksi magnet pada toroidal yang ditempatkan mengelilingi penghantar yang dialiri arus I adalah :

$$\Phi = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I \cdot d}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ (Wbr)} \dots\dots\dots(9)$$

Induktansi suatu induktor (P.N.Murgatroyd,1989) didefinisikan dalam bentuk persamaan:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I} \text{ (H)} \dots\dots\dots(10)$$

Dengan memasukkan persamaan (9) ke persamaan (10), didapatkan persamaan induktansi toroidal, yaitu :

$$L = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot d}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ (H)} \dots\dots\dots(11)$$

Menurut persamaan Maxwell dalam bentuk integral. Tegangan induksi (ggl) pada toroidal dengan N lilitan yang ditempatkan mengelilingi penghantar yang dialiri arus I adalah :

$$e = -d\phi/dt = -\frac{d}{dt} \int B \cdot ds \dots\dots\dots(12)$$

Dengan memasukkan persamaan (9) ke persamaan (12), didapatkan:

$$e = -d/dt \left[\frac{\mu_0 \cdot N \cdot I \cdot d}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \right] \dots\dots\dots(13)$$

Untuk $I(t) = I_m \sin wt$, maka persamaan tegangan induksi pada toroidal dengan inti bahan paramagnetik, yang ditempatkan mengelilingi penghantar yang dialiri arus bolak-balik ($I_m \sin wt$) adalah:

$$e = -\frac{N \cdot \omega \cdot d \cdot \mu_0 \cdot I_m \cdot \cos wt}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ (volt)} \dots\dots\dots(14)$$

Tegangan induksi (ggl) yang dinyatakan dalam harga efektif adalah :

$$e_{eef} = -\frac{N \cdot \omega \cdot d \cdot \mu_0 \cdot I_{eef}}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ (volt)} \dots\dots\dots(15)$$

Menurut C.F.Wagner (1933), besarnya tegangan induksi resultan yang dihasilkan oleh tiga buah toroidal yang dihubungkan secara paralel dan ditempatkan pada penghantar sistem tiga fasa pada kondisi tegangan seimbang akan sama dengan nol, dengan beda sudut fasa 120 derajat.

Hubungan ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$e_{resultan} = e_r \angle 0^\circ + e_s \angle 120^\circ + e_t \angle 240^\circ = 0 \text{ (volt)} \dots\dots\dots(16)$$

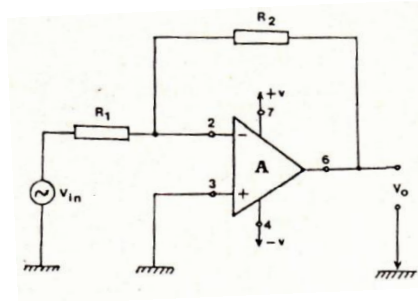
Dimana e_r, e_s dan e_t adalah tegangan induksi pada toroidal diphasa r, s dan t. Dalam kondisi ini tegangan fasa seimbang $e_r = e_s = e_t$. dan sebaliknya pada kondisi tegangan fasa tidak seimbang tegangan induksi yang dihasilkan tidak sama dengan nol, hubungan ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$e_{resultan} = e_r \angle 0^\circ + e_s \angle 120^\circ + e_t \angle 240^\circ \neq 0 \text{ (volt)} \dots\dots\dots(17)$$

2.2 Bagian Pemesos

Bagian pemesos berfungsi mengubah besaran ukur yang dihasilkan bagian sensor menjadi besaran ukur tegangan yang setara dengan arus ukur. Karena besaran ukur keluaran bagian sensor sangat kecil maka pada bagian pemesos besaran ukur tersebut akan dikuatkan dengan menggunakan dua buah penguat oprasional (Ic Op-amp). Ic Op-amp yang pertama adalah sebagai penguat pembalik dan yang kedua adalah sebagai integrator.

Rangkaian dasar penguat pembalik seperti pada gambar 2.2, dimana tegangan masukan dihubungkan ke terminal masuk negatif.

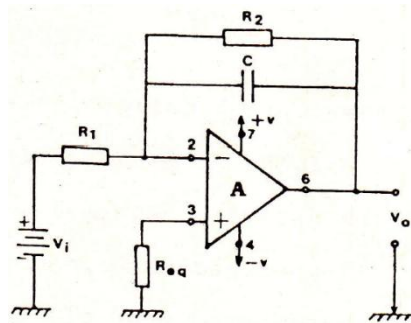


Gambar 2.2 Rangkaian Dasar Penguat Pembalik

Walter G.Jung (1980), besarnya tegangan keluaran penguat pembalik ditentukan oleh perbandingan harga tahanan pada terminal masukan R_1 dan tahanan umpan balik R_2 , yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i \dots\dots\dots(18)$$

Untuk mendapatkan sinyal gelombang tegangan keluaran penguat pertama yang tidak mengandung ripple maka pada penguat kedua digunakan integrator. Diagram rangkaian integrator seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Rangkaian Integrator

Besarnya tegangan keluaran integrator dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$V_0 = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t V_i \cdot dt \dots\dots\dots(19)$$

Besarnya tahanan pada terminal masukan integrator adalah :

$$R_1 = \frac{V_i \cdot t}{V_0 \cdot C} \dots\dots\dots(20)$$

Arthur B.W (1984), untuk mempertahankan sifat suatu integrator pada order frekuensi yang diinginkan, harga tahanan R_2 minimum dapat ditentukan dengan persamaan :

$$R_2 = \frac{1}{2\pi f_1 C} \dots\dots\dots(21)$$

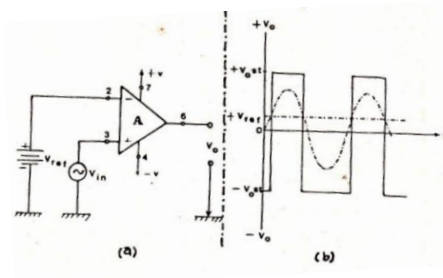
Dimana f_1 adalah frekuensi operasi rendah, idealnya harga tahanan R_2 sebesar 10 kali atau lebih dari harga yang diberikan pada persamaan (21).

Besarnya nilai tahanan R_{eq} sama dengan kombinasi paralel dari tahanan R_1 dan R_2 .

2.3 Bagian Preaksi

Bagian preaksi adalah bagian yang menentukan bekerja atau tidaknya rele statis. Bagian ini pada prinsipnya adalah membandingkan tegangan keluaran dari bagian pemroses terhadap tegangan acuan, pada bagian preaksi ini digunakan penguat operasional (Ic Op-amp) sebagai pembanding tegangan, bentuk tegangan keluaran komparator ini adalah gelombang persegi. Selanjutnya gelombang persegi ini akan diubah menjadi gelombang pulsa jarum penyalaan thyristor dengan menggunakan Programmble Unijunction Transistor (PUT).

Prinsip kerja komparator tak-membalik yaitu, bila tegangan pada terminal masukan positifnya lebih besar dari tegangan acuan pada terminal masukan negatifnya maka tegangan keluarannya akan berada pada batas ambang kejenuhan positifnya sebaliknya bila tegangan pada terminal masukan positifnya lebih kecil dari tegangan acuan maka tegangan keluarannya akan berada pada batas ambang kejenuhan negatifnya. Diagram rangkaian komparator tak-membalik seperti pada gambar 2.4.

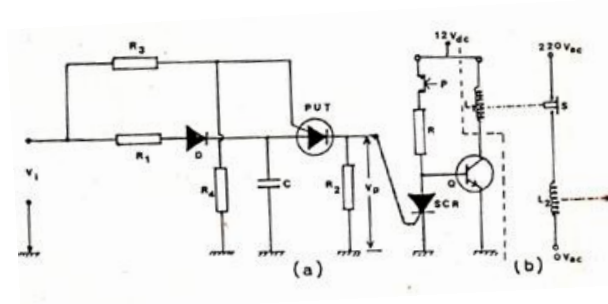


Gambar 2.4 (a) Rangkaian dasar Komparator Tak-membalik

(b) Bentuk Tegangan keluaran

Menurut Milton Kaufman (1978) bahwa batas ambang kejenuhan positif dan negatif pada tegangan keluaran komparator adalah sebesar kurang lebih 12 volt. Menurut Robert .F. Coughlin (1987), Ic Op-amp yang baik digunakan sebagai komparator adalah Ic Op-amp yang mempunyai slew-rate ± 50 volt /mikro detik yaitu Ic Op-amp tipe LM 311 atau LM 318.

Dipilihnya PUT untuk mendapatkan gelombang pulsa jarum karena tegangan gate PUT dapat diprogram dengan mengatur besarnya hargns tahanan pembagi tegangan sesuai dengan yang diinginkan. PUT adalah piranti tiga terminal yang bekerja sebagai saklar peka tegangan. Rangkaian pembentuk pulsa jarum dengan PUT seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5 (a) Rangkaian Pembentuk Pulsa Jarum Dengan PUT
(b) Rangkaian Bantu Pelepasan

Untuk mengaktifkan PUT, tegangan anoda harus lebih besar 0,7 volt dari tegangan gate PUT. Dengan memakai aturan pembagi tegangan (voltage divider rule) pada $I_G = 0$, didapatkan hubungan :

$$V_G = \frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot V_i = \eta V_i \dots \dots \dots (22)$$

Dimana :

$$\eta = \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

Besarnya tahanan gate ekuivalen adalah :

$$R_{G(ek)} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3+R_4} = \eta \cdot R_3$$

Sehingga didapatkan :

$$R_3 = \frac{R_{G(ek)}}{\eta} \dots \dots \dots (23)$$

$$R_4 = \frac{R_G}{(1-\eta)} \dots\dots\dots(24)$$

Besarnya tahanan pada anoda PUT adalah :

$$R_1 = \frac{V_i - V_A}{I_A} \dots\dots\dots(25)$$

Besarnya pada katoda PUT adalah :

$$R_2 = \frac{V_p - V_v}{I_A} \dots\dots\dots(26)$$

Gelombang pulsa jarum keluaran PUT dimaksudkan untuk penyalaan thyristor (SCR) seperti yang terlihat pada gambar 5(b). Transistor Q dimaksudkan sebagai saklar elektronis yaitu untuk menghubungkan dan atau memutuskan aliran arus pada kumparan magnetisasi L_1 . Pada kondisi operasi tegangan fasa seimbang PUT tidak menghasilkan pulsa jarum, sehingga SCR akan menahan terhadap kedua arah tegangan V_{AK} , akibatnya arus akan mengalir melalui transistor dan akibatnya kumparan magnetisasi L_1 mendapatkan arus magnetisasi sehingga kontak 5 akan tertutup. Karena kontak 5 tertutup maka arus akan mengalir ke kumparan magnetisasi L_2 sehingga kontak pada saklar daya akan tertutup. Pada kondisi operasi tegangan fasa tidak seimbang dan sinyal tegangan integrator lebih besar dari tegangan acuan, maka PUT akan menghasilkan pulsa penyalaan pada SCR, setelah SCR menyala arus akan mengalir dari anoda ke katoda. Akibat arus yang semula mengalir melalui transistor Q akan mengalir melalui SCR sehingga kumparan magnetisasi L_1 akan kehilangan arus magnetisasi akibatnya kontak 5 akan terbuka, dengan demikian maka kumparan magnetisasi L_2 akan kehilangan arus magnetisasi sehingga kontak pada saklar daya akan tertutup.

Dari persamaan (9) dan persamaan (15) terlihat bahwa tegangan induksi yang terbesar terdapat pada ukuran jari-jari luar dan tinggi toroidal yang terbesar dengan ukuran jari-jari dalam tetap serta jumlah lilitan toroidal yang terbesar. Dari uraian ini maka ukuran toroidal sebagai elemen sensor perlu dibatasi sesuai dengan perencanaan yang diinginkan.

Pada bagian pemeroses digunakan dua buah penguat operasional yaitu sebagai penguat pembalik dan sebagai integrator. Ic Op-amp yang digunakan sebagai penguat pembalik adalah tipe LF 355. Menurut Robert .F. Coughlin (1987), Ic Op-amp tipe LF 355 mempunyai unjuk kerja yang baik untuk penguatan sinyal dc dan ac dengan arus bias masukkan yang sangat kecil dan penguatan yang stabil. Milton Kaufman (1978), Ic

Op-amp yang umum digunakan sebagai integrator adalah Ic Op-amp tipe μA 741, karena Ic Op-amp tipe ini mempunyai penguatan yang tinggi, jangkauan tegangan operasi yang luas dan kestabilan temperatur yang tinggi, sehingga mempunyai unjuk kerja yang baik sebagai integrator .

Pada bagian pereaksi digunakan rangkaian komparator dan rangkaian pembentuk pulsa jarum. Menurut Arthur B. William (1984), Ic Op-amp tipe LM 318 sangat sesuai digunakan sebagai komparator, karena Ic Op-amp tipe ini mempunyai Slew-rate sebesar 50 V/mikro detik. Dipilihnya PUT untuk mendapatkan gelombang pulsa jarum, karena tegangan gate PUT dapat diprogram dengan mengatur besarnya harga tahanan pembagi tegangan sesuai dengan yang diinginkan. Dalam pembuatan rele elektronik phasa tidak seimbang digunakan PUT tipe 2N 6027, karena PUT tipe ini membutuhkan arus dan tegangan yang kecil dimana untuk mengaktifkan PUT tipe ini dibutuhkan tegangan sebesar 0,7 volt.

BAB III

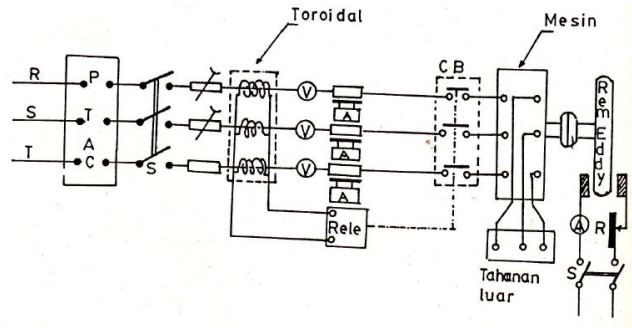
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancang bangun yaitu pembuatan rele statis fasa tidak seimbang dan pengujiannya pada motor induksi tiga fasa yang beroperasi pada kondisi tegangan fasa seimbang dan tidak seimbang. Adapun langkah kerja penelitian ini dapat disusun sebagai berikut:

1. Langkah pertama merancang bentuk dan ukuran serta jumlah lilitan kumparan toroidal sebagai elemen sensor, menentukan tipe Ic Op-amp yang cocok untuk digunakan pada bagian pemroses dan preaksi, menentukan besaran komponen dan besarnya penguatan tegangan yang sesuai untuk masing-masing bagian.
2. Langkah kedua adalah tahap pembuatan rele statis, pekerjaan yang dilakukan adalah melilit ini toroidal dengan kawat email, menyusun komponen semikonduktor dan Ic Op-amp pada PCB yang sudah dilay-out dan dilanjutkan dengan penyolderan. Bahan-bahan yang digunakan adalah plat aluminium, kawat email 0,2 mm, kabel elektronik, vernis, timah, PCB, tahanan potensio, terminal, saklar on-off, voltmeter, switch rele, transformator untuk catu daya, tool set dan lain-lain.
3. Langkah ketiga adalah pengujian rele statis yang dibuat di Laboratorium Penelitian dan Konversi Energi elektrik ITB Bandung (1990). Alat-alat yang digunakan dalam pengujian rele ini adalah motor induksi tiga fasa, tahanan geser, amperemeter, voltmeter, kontaktor, circuit breaker, pengatur tegangan dan oscilloscope. Dari hasil pengujian ini dapat diketahui besarnya tegangan induksi efektif yang dibangkitkan oleh elemen sensor, tegangan keluaran penguat pembalik dan integrator serta tegangan acuan yang dibutuhkan untuk mengerjakan rele statis. Selain itu, juga dilakukan pemotretan bentuk tegangan keluaran bagian sensor pada kondisi tegangan fasa seimbang yang tergambar pada oscilloscope dan bentuk tegangan keluaran penguat dan integrator.

Prosedur pengujian rele statis pada motor induksi tiga fasa dan dapat disusun sebagai berikut :

Mula-mula buat rangkaian motor induksi tiga fasa seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Rangkaian Motor Induksi Pada Pengujian Rele

Ptosedur pengujian dan pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Atur tahanan luar motor induksi pada posisi maksimum dan tahanan geser pada posisi minimum.
2. Masukkan switch S dan naikan tegangan secara bertahap hingga mencapai harga nominalnya.
3. Setelah motor berputar, tahanan luar motor dihubung singkat dilanjutkan dengan pembebanan motor pada beban penuh dengan mengatur besarnya tahanan R pada rem eddy current.
4. Buat salah satu fasa pengantar tidak seimbang dengan mengatur tahanan geser.
5. Setelah didapatkan harga persentase tegangan fasa tertentu melalukan pengamatan dan catat besarnya harga arus yang mengalir pada masing-masing fasa dan besar tegangannya.
6. Selanjutnya tegangan acuan diturunkan secara bertahap hingga pada suatu harga dimana rele bekerja, catat besarnya harga tegangan keluaran bagian sensor, penguat pembalik dan integrator serta besarnya tegangan acuan.
7. Lakukan langkah (4) dan (5) untuk harga persentase tegangan fasa yang berada dan lakukan pengamatan seperti langkah 6.
8. Ambil photo tegangan keluaran bagian sensor pada kondisi tegangan fasa seimabang dan tidak seimbang serta tegangan keluaran penguat pembalik dan integrator untuk suatu harga persentase tegangan fasa tidak seimabang tertentu.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan dan Pembuatan Rele Statis

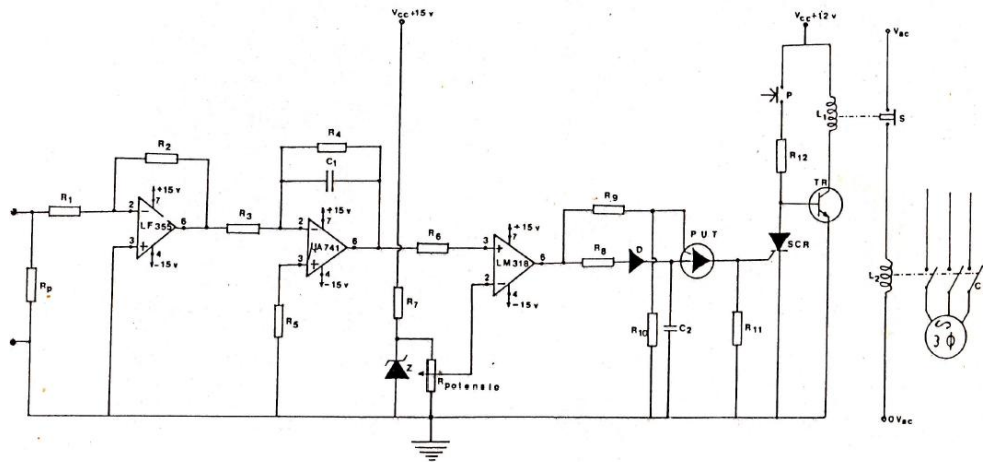
Ukuran toroidal yang diambil dalam perancangan dan pembuatan elemen sensor hanya dibatasi pada ukuran sebagai berikut :

- a) Tinggi toroidal (d) = 3 cm = 0,03 meter,
- b) Jari-jari dalam toroidal (r_1) = 0,6 cm = 0,006 meter,
- c) Jari-jari luar toroidal (r_2) = 1,4 cm = 0,014 meter dan
- d) Jumlah lilitan toroidal (N) = 300 lilit.

Besaran komponen pada rangkaian rele statis phasa tidak seimbang dari hasil perancangan adalah sebagai berikut :

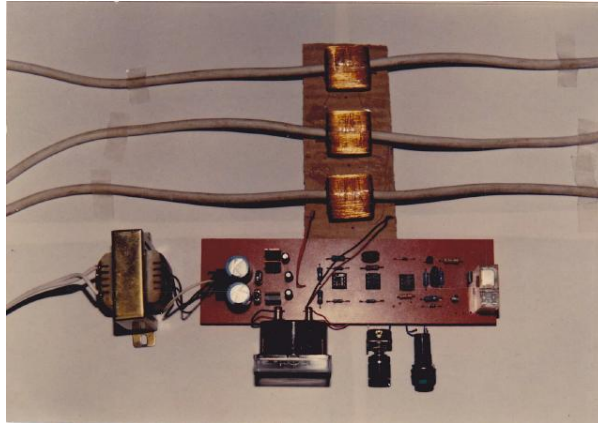
- a) Tahanan : $R_p = 1 \text{ M ohm}$; $R_1 = 10 \text{ ohm}$; $R_2 = 5 \text{ K ohm}$; $R_3 = 15 \text{ K ohm}$; $R_4 = 47 \text{ K ohm}$; $R_5 = 10 \text{ K ohm}$; $R_6 = 1 \text{ K ohm}$; $R_7 = 100 \text{ ohm}$; $R_8 = 400 \text{ ohm}$; $R_9 = 12 \text{ K ohm}$; $R_{10} = 4 \text{ K ohm}$; $R_{11} = 100 \text{ ohm}$; $R_{12} = 100 \text{ ohm}$.
- b) Kapasitor : $C_1 = 0,2 \mu\text{F}$ dan $C_2 = 0,2 \mu\text{F}$.
- c) Dioda : D : IN 2N6027 dan Z : IN 5151 (12 volt).
- d) Thyristor : PUT : 2N6027 dan SCR : 2N5064.
- e) Transistor : TR : BD 139.

Diagram rangkaian rele statis phasa tidak seimbang yang dirancang bangun seperti terlihat pada gambar 4.1

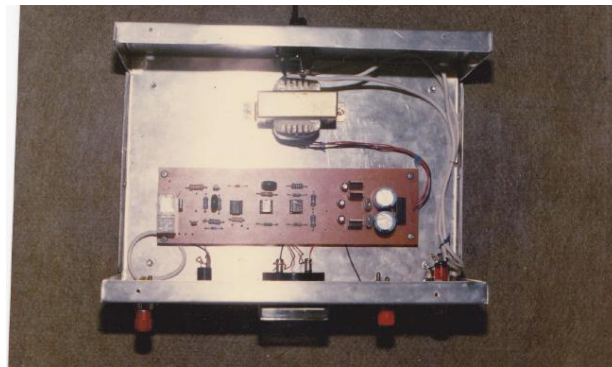


Gambar 4.1 Diagram Rangkaian Rele Statis Yang Dirancang Bangun

Hasil pembuatan rele statis seperti terlihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3



Gambar 4.2 Rele elektronik fase tidak seimbang yang dibuat

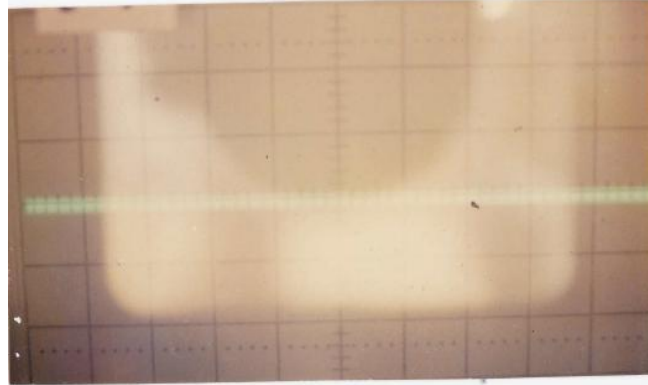


Gambar 4.3 Bentuk fisik rele statis fase tidak seimbang (tampak atas)

4.2 Hasil Pengujian

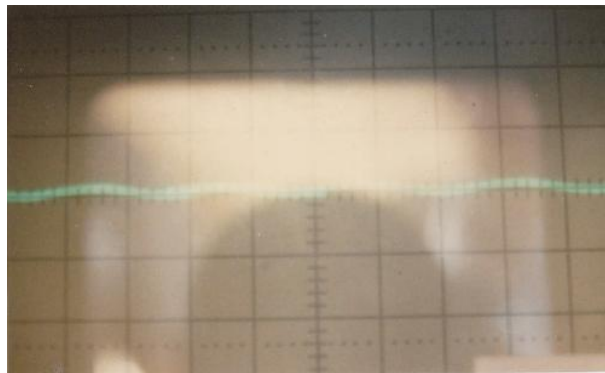
Pengamatan yang dilakukan dalam pengujian rele statis pada mesin induksi tiga fase adalah:

- a) Operasi motor induksi tiga fase pada kondisi tegangan fase seimbang. Pada kondisi ini terlihat bahwa pada bagian sensor tidak menghasilkan besaran ukur atau besaran ukir yang dibangkitkan oleh toroidal sama dengan nol, seperti terlihat pada gambar 4.4 Keadaan ini sesuai dengan tujuan yang diinginkan, dimana pada kondisi operasi normal tidak diinginkan adanya besaran ukur yang masuk ke rele elektronik.



Gambar 4.4 Bentuk tegangan keluaran bagian sensor pada kondisi tegangan fasa seimbang

- b) Operasi motor induksi pada kondisi satu fasa tegangan tidak seimbang. Pada kondisi ini terlihat bahwa pada bagian sensor menghasilkan besaran ukur, hal ini dapat terlihat pada gambar 4.5 Keadaan ini sesuai dengan tujuan yang diinginkan, dimana pada kondisi operasi tegangan fasa tidak seimbang terdapat adanya besaran ukur yang masuk ke rele statis.



Gambar 4.5 Bentuk gelombang tegangan induksi keluaran bagian sensor pada kondisi tegangan fasa tidak seimbang

Data hasil pengukuran tegangan induksi efektif yang dibangkitkan oleh bagian sensor, tegangan keluaran penguat pembalik dan integrator serta tegangan acuan yang dibutuhkan untuk mengerjakan rele statis pada kondisi satu fasa dan dua fasa tegangan tidak seimbang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.1 : hasil pengukuran tegangan induksi efektif, tegangan keluaran penguat pembalik (Ic Op-amp 1) dan integrator (Ic Op-amp 2). Serta tegangan acuan.

$\% \text{ VTS}$	$V_R(V)$	$V_S(V)$	$V_T(V)$	$I_R(A)$	$I_S(A)$	$I_T(A)$	$e_{eff}(mV)$	$V_o \text{ Op-amp1}(V)$	$V_o \text{ Op-amp2}(V)$	$V_{acuan}(V)$
6,4	180	220	220	4	7,8	8,1	1,80	0,90	2,80	2,70
	220	220	180	7,8	8	4	1,80	0,90	2,80	2,70
8,2	170	220	220	3,5	8,3	8,6	2,25	1,10	3,50	3,40
	220	220	170	8,2	8,4	3,5	2,25	1,10	3,50	3,40
10	220	160	220	9,8	0,7	9,2	4,20	2,10	6,50	6,40
	220	220	160	9,3	9,7	0,7	4,20	2,10	6,50	6,40

Tabel 4.2 : hasil pengukuran tegangan induksi efektif, tegangan keluaran penguat pembalik (Ic Op-amp 1) dan integrator (Ic Op-amp 2) serta tegangan acuan

$\% \text{ VTS}$	$V_R(V)$	$V_S(V)$	$V_T(V)$	$I_R(A)$	$I_S(A)$	$I_T(A)$	$e_{eff}(mV)$	$V_o \text{ Op-amp1}(V)$	$V_o \text{ Op-amp2}(V)$	$V_{acuan}(V)$
20	165	220	165	5	10,8	5,1	2,70	1,30	4,20	4,10
25,7	160	220	145	5,6	12,4	4,5	3,50	1,70	5,40	5,30
30,7	135	220	150	3,9	13,4	6,6	4	2	6,20	6,10
37,5	120	220	140	3	15,8	6,5	5,40	2,70	8,50	8,40

$\% \text{ VTS}$: Persentase Tegangan Phase Tidak Seimbang .

Dari hasil pengukuran pada tabel 1 dan tabel 2 diatas terlihat bahwa untuk mengerjakan rele elektronik pada suatu harga persentase tegangan phase tidak seimbang, dibutuhkan perbedaan besaran tegangan pada masukan komparator dengan tegangan acuan dimasukan lainnya sebesar 0,1 volt. Jika perbedaan tegangan tersebut lebih kecil dari 0,1 volt maka lebar pita ppulsa jarum keluaran PUT belum cukup untuk menyalakan SCR atau dengan kata lain waktu lebar pita pulsa jarum keluaran PUT lebih kecil dari waktu yang dibutuhkan untuk menyalaan SCR tersebut. Dengan demikian maka untuk mendapatkan waktu lebar pita pulsa jarum yang lebih besar dapat diatur dengan memperbesar perbedaan tegangan pada masukan komparator dan tegangan acuan pada masukan lainnya (tegangan masukan komparator lebih besar dari tegangan acuan).

Waktu yang dibutuhkan dari saat terjadinya gangguan hingga pelepasan saklar daya (CB) dari hasil pengamatan rata-rata adalah 0,2 detik. Waktu kerja rele ini sesuai dengan waktu kerja rele statis fasa tidak seimbang yang ada dipasaran.

4.3 Hasil Perhitungan

Dengan menggunakan data ukuran toroidal dan data pengukuran pada tabel 4.1 dan 4.2, maka besarnya tegangan induksi efektif, tegangan keluaran pengiat pembalik dan integrator secara teoritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (15), (18) dan (19), hasil perhitungannya terdapat pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.3 : hasil perhitungan e_{eff} , v_{01} , v_{02} .

% Teg. Tidak Seimbang	Teg. Induksi Effektiv (mV)	Teg. Keluaran Ic Op-amp1 (V)	Teg. Keluaran Ic Op-amp2 (V)
6,4	1,89	0,95	2,97
	1,87	0,94	2,95
8,2	2,38	1,19	3,72
	2,36	1,17	3,69
10	4,22	2,11	6,60
	4,22	2,11	6,60

Tabel 4.4 : hasil perhitungan e_{eff}, v_{01}, v_{02} .

% Teg. Tidak Seimbang	Teg. Induksi Effektip (mV)	Teg. Keluaran Ic Op-amp1 (V)	Teg. Keluaran Ic Op-amp2 (V)
20	2,75	1,38	4,31
25,7	3,55	1,77	5,55
30,7	4,06	2,03	6,36
37,5	5,49	2,74	8,60

4.4 Pembahasan

Untuk mengetahui apakah rele statis yang dibuat telah memenuhi persyaratan sebagai rele proteksi, maka pembahasannya ditinjau dari segi sensitivitas, kecepatan kerja (waktu operasi) keandalan dan kemudahan dalam pengoperasiannya.

1. Dari hasil pengujian terlihat bahwa untuk mengerjakan rele statis dibutuhkan perbedaan tegangan antara tegangan pada masukan komparator dan tegangan acuan sebagai setting rele statis sebesar 0,1 volt. Dari hubungan ini maka untuk meningkatkan sensitivitas rele elektronik yang dibuat dapat dilakukan dengan mudah, yaitu dengan memperbesar perbedaan tegangan pada masukan komparator dan tegangan acuan. Dengan demikian maka sensitivitas rele statis yang dibuat akan lebih sensitif.
2. Dari hasil pengujian rele statis terlihat bahwa waktu kerja rele yang dibuat adalah sama dengan waktu kerja rele statis unbalance-fasa yang ada dipasaran yaitu 0,2 detik.
3. G.E.C (1975), rele statis yang dirakit dengan menggunakan Ic Op-amp dan komponen semikonduktor lainnya, sehingga keandalannya tergantung pada keandalan komponen yang digunakan dan praktikan secara keseluruhan. Ic Op-amp memiliki keandalan yang lebih baik dibanding dengan komponen diskrit yang ekuivalen, oleh sebab itu rele statis yang menggunakan Ic Op-amp lebih dapat diandalkan dibanding dengan rele statis yang digunakan komponen diskrit yang ekuivalen.
4. Rele statis yang dibuat tidak akan bekerja pada saat menjalankan mesin, karena arus yang mengalir pada masing-masing fasa sama besar, sehingga pada saat

menjalankan motor rele statis tidak perlu dilepaskan dari rangkaian pelayanan motor induksi. Hal ini memudahkan dalam pengoperasian rele statis yang dibuat.

5. Dari data hasil pengukuran pada pengujian rele statis dan data hasil perhitungan secara teoritis, terlihat bahwa hasil pengukuran lebih kecil dari hasil perhitungan, hal ini disebabkan karena pada perhitungan tidak memperhitungkan adanya pengaruh arus bias masukan pada masing-masing Ic Op-amp yang digunakan dan pengaruh adanya tegangan jatuh pada masing-masing tahanan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembuatan dan pengujian rele statis phasa tidak seimbang pada motor induksi tiga phasa, analisa hasil pengujian dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Rele statis phasa tidak seimbang yang dibuat telah memenuhi syarat sebagai rele proteksi motor induksi tiga phasa ditinjau dari segi teknis.
2. Rele statis phasa tidak seimbang bekerja pada kondisi dimana tegangan masukan pada komparator lebih besar 0,1 volt dari tegangan acuan.
3. Besarnya tegangan acuan (setting rele statis) yang dibutuhkan untuk mengerjakan rele statis pada suatu harga persentase tegangan phasa tidak seimbang tergantung pada :
 - a. besarnya arus bolak-balik yang mengalir pada penghantar sistem tiga phasa.
 - b. Ukuran dan jumlah lilitan toroidal yang digunakan sebagai elemen sensor.
 - c. Besarnya penguatan tegangan pada masing-masing Ic Op-amp yang digunakan pada bagian pemeroses.

5.2 Saran

1. Rele statis phasa tidak seimbang yang dibuat masih sangat sederhana, sehingga perlu disempurnakan lebih lanjut. Sebagai saran, rele statis yang dibuat dapat digabungkan dengan rele statis arus lebih yang menggunakan toroidal sebagai elemen sensor menjadi kesatuan rele proteksi motor arus bolak-balik.
2. Untuk mengatasi ketidak seimbangan tegangan phasa yang terjadi dalam waktu singkat (sesaat), maka rele statis yang dibuat dapat dilengkapi dengan rangkaian penunda waktu dengan menggunakan Ic Op-amp tipe NE/SE 555 atau Ic Op-amp tipe XR-2240.

DAFTAR PUSTAKA

- Arthur .B. Williams., 1984, Designer's Handbook Of Integrated Circuits, Mc Graw-Hill Book Company , New York., PP.3-25.
- Carl JA Johnk., 1976, Engineering Electromagnetic Field and Wave,Wiley Eastern Ltd, New Delhi., PP 269-288.
- C.F. Wagner, R.D. Evans., 1933, Symmetrical Components, Mc Graw Hill Book Company, New York., PP. 345-360.
- G.E.C., 1975, Protective Relays Application Guide, General Electric Company of England., PP. 351-355.
- Milton Kaufman, Arthur H. Seidman., 1978, Handbook of Electronic Calculation For Engineering And Technician, Mc Graw Hill Book Company, New York., PP. 1-38.
- P.N. Mutgtroyd, W.Farrer, R.P.D Hodgkinson., The Toroidal Cage Coils, IEE.Proc.Vol. 127, No.4, July 1989., PP. 207-214.
- Robert F. Coughlin, Frederic F. Deriscoll., 1987, Operational Amplifiers And Linear Integrated Circuits, Pritice Hall International, Inc.
- Robert J.Brighton, JR and Prashant N. Rande., Why Overload Relays Do Not Always Protect Motors, IEEE Transaction On Industry Application, Vol.IA-18.No.6, November/December 1982., PP. 691-697.
- Walter G. Jung., 1980, Ic Op-amp Cookbook, Howad W. Sams & Eo, Inc Indianapolis, Indiana.

