

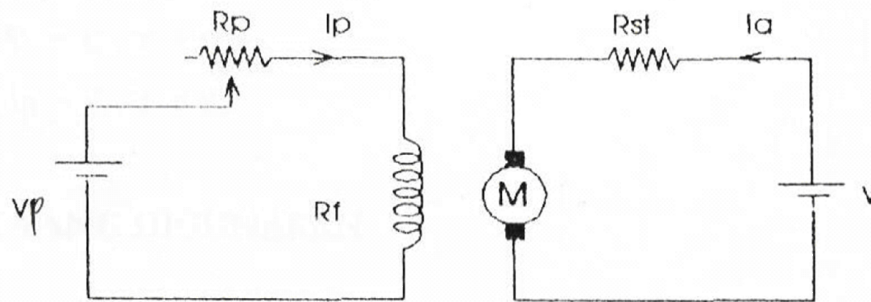
MODUL PERCOBAAN I

MOTOR DC (ARUS SEARAH)

1.1 PENDAHULUAN

1.1.1 Motor Arus Searah

Motor arus searah adalah mesin kolektor arus searah yang merubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan prinsip induksi elektromagnetik. Gambar 1.1 merupakan rangkaian motor arus searah berpenguat terpisah.



Gambar 1.1 Rangkaian motor arus searah berpenguat terpisah

Pada motor arus searah berpenguat terpisah, berlaku persamaan-persamaan berikut ini :

$$E = V - I_a \cdot R_a$$

$$E = k \cdot n \cdot \Phi$$

$$n = \frac{V - I_a \cdot R_a}{k \cdot \Phi}$$

$$T = k \cdot \Phi \cdot I_a$$

$$P_{in} = V_f \cdot I_p + V \cdot I_a$$

$$P_{out} = \frac{1000}{975} \times n \times T$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

dimana : V_f = tegangan eksitasi (Volt)

I_p = arus penguat (Ampere)

I_a = arus jangkar (Ampere)

n = kecepatan rotor (rpm)

T = torsi (Nm)

P_{in} = daya input (Watt)

P_{out} = daya output (Watt)

Dari persamaan-persamaan di atas tampak bahwa :

- n berbanding terbalik dengan I_p dan sebanding dengan I_a
- T berbanding lurus dengan I_a

Dengan persamaan-persamaan tersebut di atas, dapat dilakukan beberapa percobaan motor berpenguat terpisah, sehingga diperoleh karakteristik motor berpenguat terpisah yaitu :

A. Karakteristik Beban Nol

$$n=n(I_p), V=C, T=0$$

$$n=n(V), I_p=C, T=0$$

B. Karakteristik Pengaturan Putaran

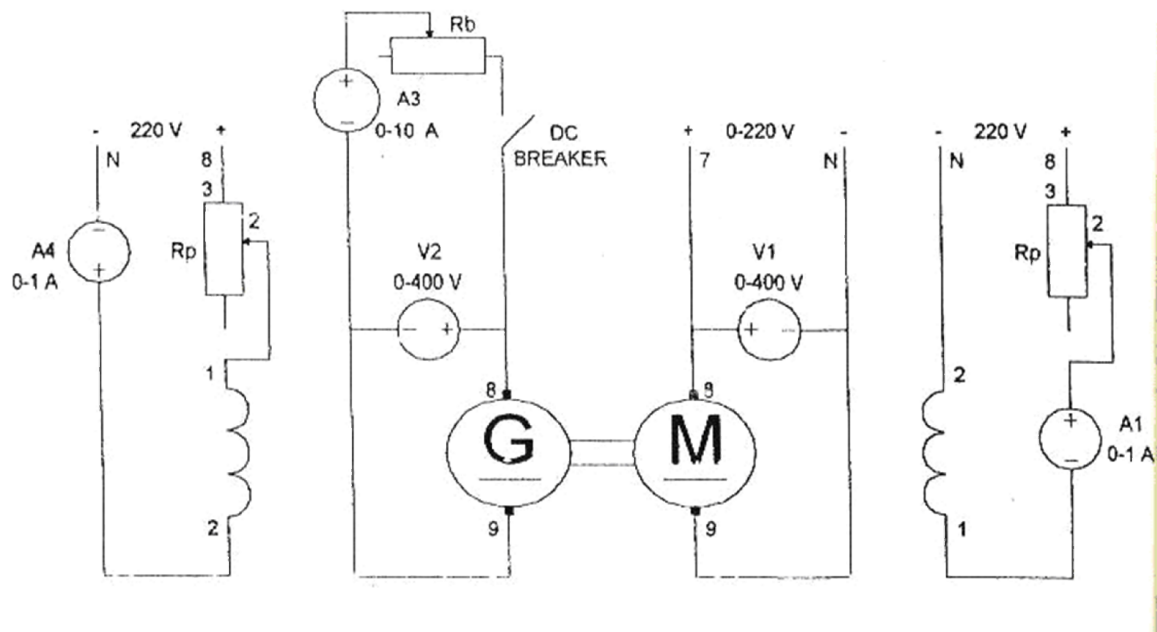
$$n=n(I_p), V=C, T=C$$

$$n=n(V), I_p=C, T=C$$

1.2 ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN

- 1 Motor Arus Searah
- 1 Generator Arus Searah
- 1 Modul Power Supply
- Modul DC Motor/Generator 1,5 Kw, 1500 rpm, 220 V, 0,8 A
- Modul Field Rheostat 600 Ω , 225 W
- 2 Modul DC Voltmeter/Amperemeter
- 1 Modul DC Breaker 220 Vdc, 30 A

1.3 RANGKAIAN PERCOBAAN



Gambar 1.2 Rangkaian percobaan motor arus searah

1.4 TAHAP MENJALANKAN DAN PEMBEBANAN MOTOR

1.4.1 Start Motor

- ❖ Perhatikan rating motor yang diuji (tegangan masuk, arus jangkar, arus penguat dan tegangan penguat).
- ❖ Perhatikan rating generator yang merupakan beban motor (tegangan, arus jangkar, arus penguat, tegangan penguat, dan kopel).
- ❖ Naikkan saklar ke posisi ON pada modul power supply.
- ❖ Atur field rheostat sampai diperoleh A1 (I_p) maksimum.
- ❖ Putar pengatur tegangan modul power supply secara perlahan sampai tegangan tertentu dimana V1 (V) dibawah nilai 220 V.
- ❖ Turunkan nilai A1 sampai nilai tertentu dibawah nilai 0,47 A.
- ❖ Motor berputar dalam keadaan beban nol.

1.4.2 Mengatur Putaran Motor

- ❖ Perhatikan putaran motor.
- ❖ Dengan mengatur V1 dari modul power supply dan A1 dapat ditentukan putaran motor yang diinginkan.

1.4.3 Pembebanan Motor

- ❖ Beban motor adalah generator arus searah.
- ❖ Tahanan beban R_b pada posisi maksimum.
- ❖ Atur field rheostat generator sampai V_{out} generator bernilai 220 V.
- ❖ Naikkan tuas DC breaker ke posisi 1.
- ❖ Dengan mengatur R_b mulai posisi maksimum, maka motor dibebani dari keadaan beban nol sampai beban nominal.

1.4.4 Mematikan Motor

- ❖ Turunkan tuas DC breaker ke posisi 0.
- ❖ Atur field rheostat sehingga A_1 menunjukkan nilai maksimum.
- ❖ Atur pengatur tegangan modul power supply sehingga V_1 menunjukkan nilai 0.

1.5 PERCOBAAN-PERCOBAAN MOTOR ARUS SEARAH

1.6.1 Karakteristik Beban Nol

1.5.1.1 Tujuan

- a. Menentukan karakteristik putaran sebagai fungsi arus penguat I_p pada tegangan V tetap dan kopel $T = 0$.
 $n = n(I_p), V = C, T = 0$
- b. Menentukan karakteristik putaran sebagai fungsi tegangan jangkar (sebanding V) pada arus penguat tetap dan kopel $T = 0$.
 $n = n(V), I_p = C, T = 0$

1.5.1.2 Langkah-langkah Percobaan

- a. Menentukan $n = n(I_p), V = C, T = 0$.
 - Start motor sesuai dengan 1.4.1.
 - Atur pengatur tegangan modul power supply sampai nilai V_1 tertentu dan selama percobaan dijaga tetap.
 - Atur field rheostat dan catat nilai A_1 dan n untuk setiap perubahan A_1 .
- b. Menentukan $n = n(V), I_p = C, T = 0$
 - Atur field rheostat untuk A_1 tertentu dan selama percobaan dijaga tetap.

- Atur pengatur tegangan modul power supply dan catat nilai V_1 dan n untuk setiap perubahan V_1 .

1.5.2 Karakteristik Pengaturan Putaran

1.5.2.1 Tujuan

- a. Menentukan karakteristik putaran sebagai fungsi arus penguat I_p pada tegangan V dan kopel tetap.
 $n = n(I_p)$, $V = C$, $T = C$.
- b. Menentukan karakteristik putaran sebagai fungsi tegangan jangkar V pada arus penguat I_p dan kopel T tetap.
 $n = n(V)$, $I_p = C$, $T = C$.

1.5.2.2 Langkah-langkah Percobaan

- a. Menentukan $n = n(I_p)$, $V = C$, $T = C$.
 - Start motor sesuai dengan 1.4.1.
 - Bebani motor dengan kopel tertentu sesuai dengan (III.2 dan III.3) dan nilai kopel ini selama percobaan dijaga konstan.
 - Atur pengatur tegangan modul power supply sampai nilai V_1 tertentu dan selama percobaan dijaga tetap.
 - Untuk nilai kopel tertentu atur field rheostat dan catat nilai A_1 dan n untuk setiap perubahan A_1 .
- b. Menentukan $n = n(V)$, $I_p = C$, $T = C$.
 - Atur field rheostat sampai nilai A_1 tertentu dan selama percobaan dijaga tetap.
 - Untuk nilai kopel tertentu, atur pengatur tegangan modul power supply, catat nilai V_1 dan n untuk setiap perubahan V_1 .

Catatan: untuk menjaga kopel konstan dengan mengatur field rheostat generator dan R_b .

MODUL PERCOBAAN II

GENERATOR DC (ARUS SEARAH)

2.1 Generator Arus Searah

Mesin arus searah pada dasarnya sama dengan mesin arus bolak-balik, hanya pada mesin arus searah dilengkapi dengan komutator yang berfungsi mengubah tegangan bolak-balik menjadi searah. Berdasarkan teori elektromagnetik dapat diturunkan persamaan :

$$E = k. n. \Phi$$

$$k = p/a \times z/60$$

dimana : E = tegangan induksi antar sikat

k = konstanta mesin

n = kecepatan putar rotor

Φ = fluks

p = jumlah kutub

a = lintasan paralel konduktor jangkar

z = jumlah konduktor jangkar

Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, generator arus searah dibagi menjadi 2 bagian :

A. Generator berpenguat terpisah (*separately excited field*)

B. Generator berpenguat sendiri (*self excited field*) yang terdiri dari :

- Generator arus searah seri
- Generator arus searah shunt
- Generator arus searah kompon panjang
- Generator arus searah kompon pendek

Percobaan generator arus searah berpenguat terpisah yang dapat dilakukan antara lain :

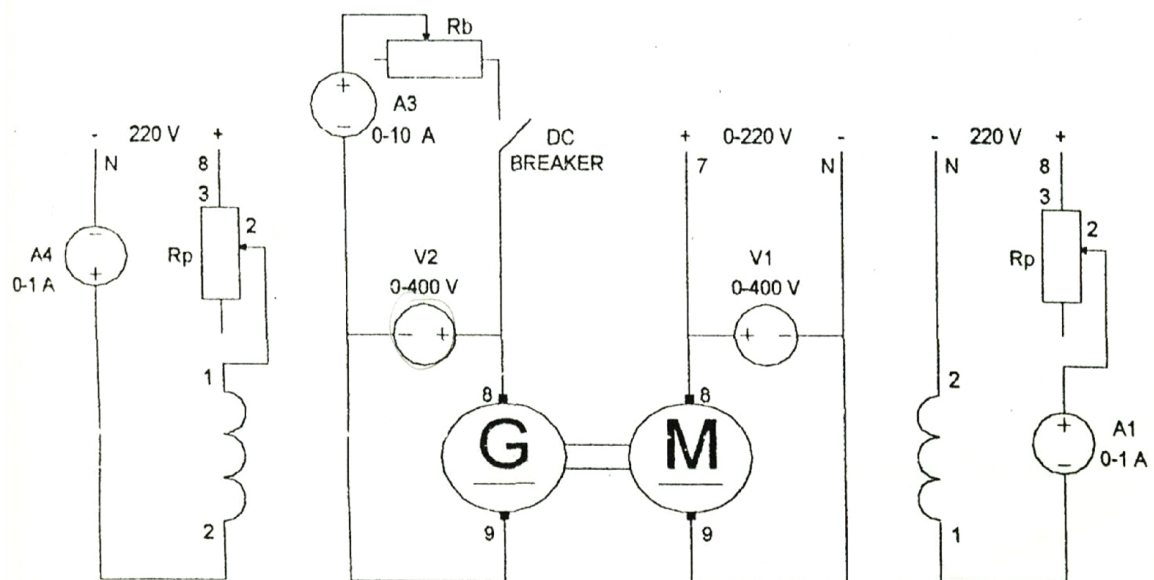
- a. Percobaan beban nol (*open circuit test*)
- b. Percobaan berbeban

2.2 ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN

- 1 Motor Arus Searah

- 1 Generator Arus Searah
- 1 Modul Power Supply
- Modul DC Motor/Generator 1,5 Kw, 1500 rpm, 220 V, 0,8 A
- Modul Field Rheostat 600 Ω , 225 W
- 2 Modul DC Voltmeter/Amperemeter
- 1 Modul DC Breaker 220 Vdc, 30 A

2.3 Rangkaian Percobaan



2.4.1 TAHAP MENJALANKAN GENERATOR

2.4.1 Start Generator

- DC breaker pada posisi 0 kumparan jangkar generator tidak berhubung dengan beban
- Atur field rheostat generator (A4) sampai V_{out} generator (V2) bernilai 220 V
- Dengan mengatur A4 (arus penguat/ I_p) mulai harga minimum sampai maksimum, maka generator dalam keadaan beban nol

2.4.2 Pembebanan Generator

- Tahanan beban R_b pada posisi maksimum
- Naikkan tuas dc breaker pada posisi 1

- Dengan mengatur Rb maka generator dalam keadaan berbeban

2.4.3 Mematikan Generator

- Turunkan tuas dc breaker ke posisi 0
- Atur field rheostat sehingga A1 menunjukkan nilai maksimum
- Atur pengatur tegangan modul power supply sehingga V1 menunjukkan 0

2.5 PERCOBAAN-PERCOBAAN GENERATOR ARUS SEARAH

2.5.1 Percobaan Beban Nol

2.5.1.1 Tujuan

- Menentukan besarnya tegangan jepit (V) sebagai fungsi arus penguat (Ip) pada putaran tetap dan tanpa beban

$$V = V(I_p), n = C, I_a = 0$$

- Menentukan besarnya tegangan jepit (V) sebagai fungsi putaran (n) pada arus penguat tetap dan tanpa beban.

$$V = V(n), I_p = C, I_a = 0$$

Pada percobaan beban nol ini, rangkaian jangkarnya terbuka sehingga tidak ada arus mengalir. Tegangan terminal sama dengan GGL yang dibangkitkan.

$$V = E - I_a.R_a$$

$$E_o = k.n.\Phi$$

$$E_o = E_o(I_p)$$

dimana : E = GGL yang dibangkitkan

V = Tegangan terminal

I_p = Arus penguat

I_a = Arus jangkar

Jadi terdapat hubungan :

$$E_o = E(I_p), n = C, I_a = 0$$

$$E_o = E(n), I_p = C, I_a = 0$$

2.5.1.2 Langkah-langkah Percobaan

- a. Menentukan $V = V(I_p), n = C, I_a = 0$
 - Pasang rangkaian sesuai dengan gambar 1.3
 - Start motor sesuai dengan 1.4.1.

- Putaran motor dijaga tetap dan catat nilainya.
 - Ubah nilai A4 dengan mengatur Rp kumparan medan generator sampai nilai tertentu kemudian catat untuk perubahan nilai A4 dan V2.
- b. Menentukan $V = V(n)$, $I_p = C$, $I_a = 0$
- Pasang rangkaian sesuai dengan gambar 1.3.
 - Start motor sesuai dengan 1.4.1.
 - A4 dijaga tetap dan catat nilainya.
 - Ubah nilai n dengan mengatur V1 atau A1 motor sampai nilai tertentu kemudian catat untuk perubahan nilai n dan V2.

2.5.2 Percobaan Berbeban

2.5.2.1 Tujuan

Menentukan besarnya tegangan jepit (V) sebagai fungsi arus beban (I_b) pada putaran dan arus penguatan tetap.

$$V = V(I_b), n = C, I_p = C$$

2.5.2.2 Langkah-langkah Percobaan

- a. Pasang rangkaian sesuai dengan gambar 1.3.
- b. Start motor sesuai dengan 1.4.1.
- c. Putaran motor dijaga tetap dan catat nilainya.
- d. Arus penguat generator (A4) dijaga tetap dan catat nilainya.
- e. Tahanan beban R_b pada posisi maksimum.
- f. Naikkan tuas dc breaker pada posisi 1.
- g. Atur R_b dan catat nilai A3 dan V2 untuk seluruh perubahan R_b

MODUL PERCOBAAN III

GENERATOR SINKRON

3.1 PENDAHULUAN

3.1.1 Generator Serempak

Generator sinkron adalah suatu generator arus bolak-balik yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik dimana frekuensi elektrisnya sinkron dengan putaran rotornya. Dengan memutar rotor dari alternator yang diberi arus medan (I_f), gaya gerak listrik akan terinduksi pada kumparan jangkar stator.

Bila kumparan berputar dengan kecepatan sudut tetap, maka fluks yang dilingkupi berubah-ubah, dan sebanding dengan sinus kecepatan sudut ω dan jumlah putaran setiap detik.

$$\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t$$

$$\Phi_1(t) = \Phi_m \sin 2\pi ft$$

$$\Phi_2(t) = \Phi_m \sin 2\pi (ft + 120^\circ)$$

$$\Phi_3(t) = \Phi_m \sin 2\pi (ft - 120^\circ)$$

GGL fasa yang dibangkitkan pada setiap kumparan besarnya sama, juga dengan beda fasa masing-masing radial (120°).

$$e(t) = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Maka :

$$e_1(t) = e_m \cos 2\pi ft$$

$$e_2(t) = e_m \cos 2\pi (ft + 120^\circ)$$

$$e_3(t) = e_m \cos 2\pi (ft - 120^\circ)$$

Dengan :

$$e_{\max} = 2\pi f t \Phi_m$$

Nilai efektif tegangan tersebut adalah :

$$E_{\text{eff}} = \frac{e_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f \Phi_m$$

Antara tegangan (E_o) yang terinduksi pada kumparan jangkar stator dengan putaran sinkron dari rotor yang diberi arus medan (I_f) dihubungkan dengan rumus :

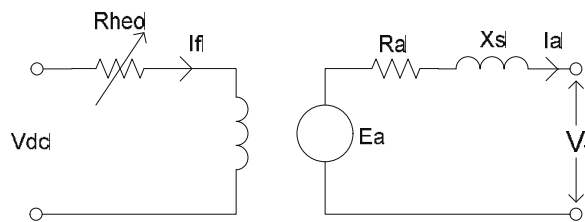
$$E_o = cn\phi$$

Dengan : c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh I_f

Rangkaian ekivalen dari generator sinkron sendiri adalah sebagai berikut



Gambar 3.1 Rangkaian ekivalen generator serempak

dimana : R_f = resistansi kumparan medan

R_a = resistansi kumparan jangkar

X_s = reaktansi sinkron

I_a = arus jangkar

I_f = arus medan

E_a = tegangan kumparan medan

V_t = tegangan terminal generator

3.2 ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN

- 1 Power supply
- 1 modul DC voltmeter/ammeter
- 1 modul AC voltmeter
- 1 modul AC ammeter
- field rheostat
- 1 modul synchronous motor/generator
- 1 modul DC motor/generator
- 1 Synchronous machine
- 1 DC machine
- 1 synchronizing module

- modul resistansi
- modul induktansi
- 1 frekuensi meter
- 1 Lampu Stroboscope

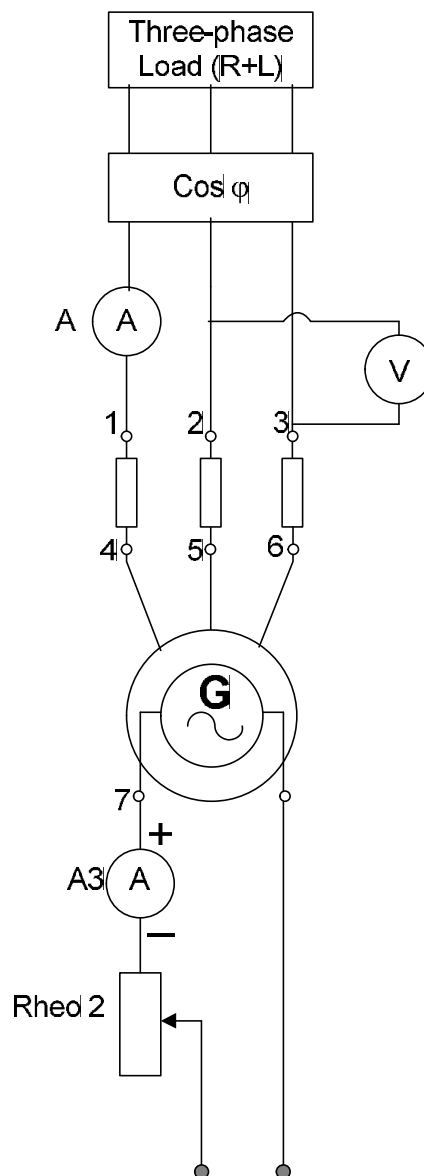
3.3 PERCOBAAN-PERCOBAAN

3.3.1 Pembebanan Generator Serempak

3.3.1.1 Tujuan

Mengetahui karakteristik pembebanan generator serempak dengan tegangan induksi (E_a) konstan.

3.3.1.2 Rangkaian Percobaan



Gambar 3.2 Rangkaian percobaan pembebanan generator serempak

3.3.1.3 Langkah-langkah Percobaan

1. Susun rangkaian seperti pada gambar 2.2
2. Rheostat diatur agar mencapai nilai maksimum
3. Atur posisi saklar synchronising module dalam posisi **off**
4. Hidupkan suplai utama
5. Naikkan nilai tegangan AC secara bertahap dan pelan sekali agar tidak terjadi lonjakan arus yang besar pada stator. Perhatikan ammeter DC! **ARUS TIDAK BOLEH MELEBIHI 3 A**. Jika arus sudah mencapai 3 A, tegangan tidak boleh dinaikkan lagi.
6. Perhatikan kondisi pada rotor! Catat kondisi yang terjadi.
7. Putar rotor dengan tangan searah putaran jarum jam. Hingga rotor berputar perlahan. **Perhatikan ammeter, arus tidak boleh melebihi 3 A**.
8. Ketika rotor mulai berputar perlahan, naikkan tegangan AC secara perlahan sekali. **Jaga agar arus stator tidak melebihi 3 A**. Ketika arus mencapai 3 A, tegangan jangan lagi dinaikkan. Catat nilai tegangan yang terukur, kecepatan putar motor, dan arus stator yang terukur.
9. Nyalakan lampu stroboscope. Arahkan pada rotor motor. Perhatikan kondisi yang terjadi.
10. Hidupkan suplai DC untuk eksitasi motor. Perhatikan perubahan yang terjadi pada kecepatan rotor.
11. Turunkan tegangan AC, secara bertahap catat nilainya. Catat juga arus stator dan kecepatan putar rotor.
12. Naikkan kembali tegangan AC, secara bertahap catat nilainya. Catat juga arus stator dan kecepatan putar rotor.
13. Matikan sumber arus DC pada eksitasi motor. Ulangi langkah 11 dan 12.
14. Jika sudah selesai matikan suplai utama.
15. Atur posisi saklar synchronising module pada posisi on. Ulangi langkah 4 hingga langkah 10. catat kondisi yang terjadi. Bandingkan dengan percobaan ketika saklar synchronising module pada posisi off.

3.4 TUGAS

- a. Hitung daya aktif, reaktif, perubahan kecepatan dan perubahan tegangan untuk setiap nilai beban.
- b. Hitung tegangan keluaran generator, persentasi kesalahan terhadap data percobaan dan diagram fasor dari generator.
- c. Buat analisa dan kesimpulan percobaan

MODUL PERCOBAAN IV PARALEL GENERATOR SINKRON

4.1 TUJUAN

Mempelajari cara memparalelkan generator sinkron

4.2 DASAR TEORI

Dalam memenuhi kebutuhan listrik dari masyarakat yang akan selalu meningkat, maka dengan sendirinya pasokan listrik juga akan selalu bertambah sedangkan kemampuan dari penyuplai daya oleh suatu generator tidak dapat ditambah lagi. Oleh sebab itu dirancanglah sebuah system yang biasa disebut dengan interkoneksi dimana di dalam system ini, beberapa generator akan dihubungkan satu sama lain secara parallel hingga beban yang dapat disuplai juga akan bertambah. Hal ini diharapkan akan dapat memenuhi kebutuhan manusia akan listrik.

Dalam memparalelkan beberapa generator serempak, terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi. Dan dalam memparalelkannya pun juga harus dengan suatu prosedur-prosedur tertentu sehingga proses memparalelkan beberapa generator ini akan berjalan lancar dan tanpa hambatan. Syarat dalam memparalelkan generator serempak diantaranya:

1. Besar tegangan antara generator yang akan diparalelkan harus sama
2. Frekuensi dari generator yang akan diparalelkan harus sedikit lebih tinggi
3. Urutan fasa generator yang akan diparalelkan harus sama
4. Beda fasa generator yang akan diparalelkan harus sama

4.3 TUGAS

Analisa proses memparalelkan generator dan jawab beberapa pertanyaan berikut:

- Jelaskan alasan-alasan mengapa paralel generator diperlukan
- Jelaskan syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam memparalelkan generator sinkron
- Jelaskan langkah-langkah dalam memparalelkan generator sinkron dan jelaskan akibatnya jika syarat-syarat tersebut tidak terpenuhi?
- Apa yang dimaksud house diagram? Jelaskan..!!

MODUL PERCOBAAN V

STARTING MOTOR INDUKSI

3.1 PENDAHULUAN

Motor tak serempak (*asynchronous motor*) bekerja dengan kecepatan putar rotor tidak sama dengan kecepatan putar medan stator. Mesin ini bekerja berdasarkan atas prinsip induksi oleh sebab itu lebih dikenal sebagai motor induksi. Stator motor yang dihubungkan dengan tegangan 3 fasa menimbulkan medan magnet putar di sekeliling lilitan stator. Besar kecepatan medan magnet putar ini adalah :

$$n_s = \frac{120 f_e}{p}$$

dimana : n_s = kecepatan medan putar stator (rpm)

f_e = frekuensi listrik (Hertz)

p = banyak kutub

Medan putar ini memotong permukaan kawat-kawat rotor dengan intensitas medan yang berubah-ubah sehingga timbul tegangan induksi atau gaya gerak listrik (GGL) pada kawat rotor tersebut. Karena rotor berupa lilitan kawat yang tertutup maka akan timbul arus induksi pada kawat. Arus ini menimbulkan fluks yang berinteraksi dengan medan putar stator sehingga timbul torsi yang akan memutar rotor. Rotor tetap berputar selama terjadi perbedaan kecepatan antara rotor dengan medan putar stator. Perbandingan antara selisih kecepatan medan putar stator dengan rotor terhadap kecepatan medan putar dikenal sebagai slip yang dapat dituliskan sebagai berikut :

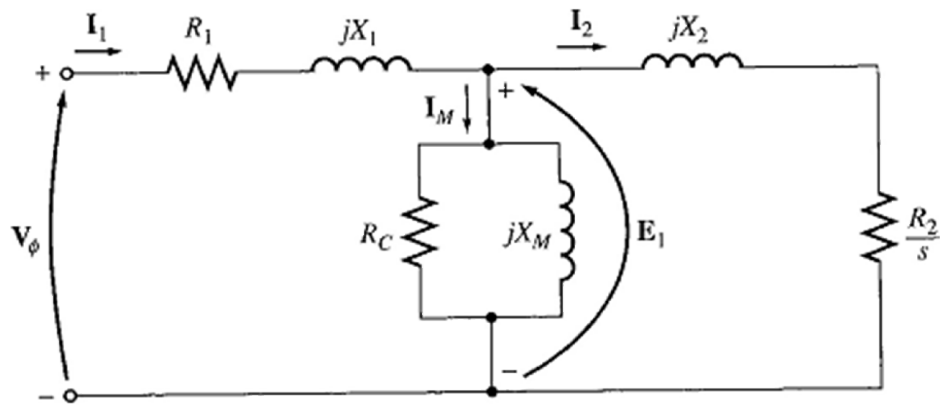
$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

dimana : n_s = kecepatan medan putar stator (rpm)

n_r = kecepatan rotor (rpm)

s = slip (%)

Berdasarkan atas prinsip kerja dan rugi-rugi yang terjadi selama mesin beroperasi, motor dapat dimodelkan sebagai rangkaian ekuivalen berikut ini :



Gambar 5.1 Rangkaian ekuivalen motor tak serempak

Keterangan gambar :

- V_ϕ = tegangan masukan
- E_1 = tegangan lilitan stator
- R_c = tahanan inti besi
- R_1 = tahanan stator
- R_2 = tahanan rotor
- X_m = reaktansi magnetik
- X_1 = reaktansi stator
- X_2 = reaktansi rotor
- S = slip

3.2 ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN

- 1 set *NE7010 MACHINE TEST SET*
- 1 motor tak serempak 3 fasa jenis sangkar tupai (*Three-phase Squirrel Cage Induction Motor*)
- 1 mesin arus searah

3.3 PERCOBAAN

3.3.1 Start Motor Tak Serempak Dengan Menggunakan Saklar Y- Δ

3.3.1.1 Tujuan

- Mempelajari karakteristik arus rotor pada saat start
- Mempelajari cara-cara start motor tak serempak

3.3.1.2 Teori

Ketika akan di-start, motor yang dalam keadaan diam memiliki slip maksimum. Akibatnya tegangan induksi yang dibangkitkan pada kumparan rotor juga maksimum. Karena besar impedansi lilitan rotor kecil, arus yang dihasilkan sangat besar. Apabila arus ini melebihi ketahanan isolasi kawat, motor akan mengalami kerusakan. Untuk itu diperlukan metode khusus untuk melakukan starting motor.

Cara-cara starting motor induksi :

- **Direct On Line starter**

Direct On Line starter merupakan starting langsung. Penggunaan metoda ini sering dilakukan untuk motor-motor a.c yang mempunyai kapasitas daya yang kecil. Pengertian penyambungan langsung disini, motor yang akan dijalankan langsung di swich On ke sumber tegangan jala-jala sesuai dengan besar tegangan nominal motor. Artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat starting (lihat gambar).

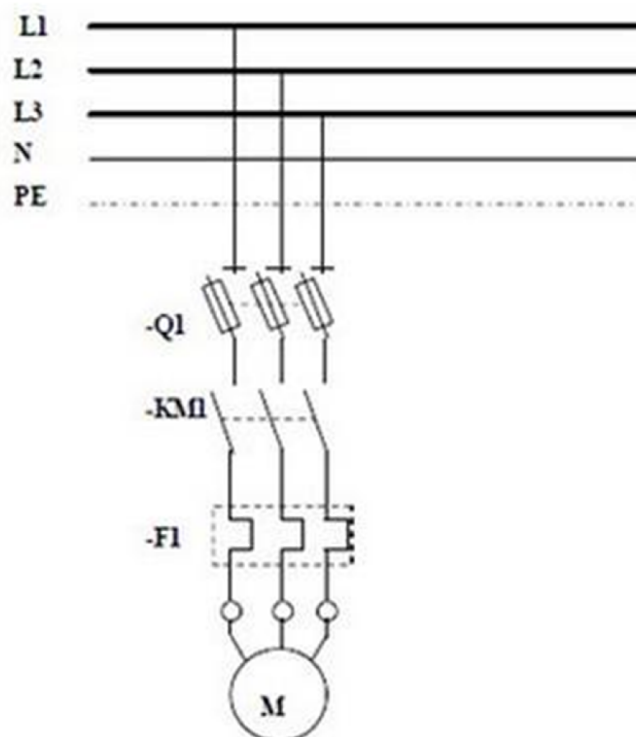


Diagram Direct On Line starter.

Besar arus startnya dari 4 sampai 7 dari arus beban penuhnya (bila tidak diketahui biasanya dipakai 6x arus beban penuhnya). Hal ini terjadi karena motor pada saat

diam memiliki momen inersia (motor dalam keadaan diam), sehingga untuk mengalahkannya momen inersia ini dibutuhkan arus yang besar.

- **Y- Δ starter**

Starter ini mengurangi lonjakan arus dan torsi pada saat start. Tersusun atas 3 buah contactor yaitu Main Contactor, Star Contactor dan Delta Contactor, Timer untuk pengalihan dari Star ke Delta serta sebuah overload relay. Pada saat start, starter terhubung secara Star. Gulungan stator hanya menerima tegangan sekitar 0,578 (seper akar tiga) dari tegangan line. Jadi arus dan torsi yang dihasilkan akan lebih kecil dari pada DOL Starter. Setelah mendekati speed normal starter akan berpindah menjadi terkoneksi secara Delta. Starter ini akan bekerja dengan baik jika saat start motor tidak terbebani dengan berat.

- **Autotransformer starter**

Starting dengan cara ini adalah dengan menghubungkan motor pada tap tegangan sekunder autotransformer terendah. Setelah beberapa saat motor dipercepat tap autotransformer diputuskan dari rangkaian dan motor terhubung langsung pada tegangan penuh.

- **Soft starter**

Soft starter dipergunakan untuk mengatur/ memperhalus start dari elektrik motor. Prinsip kerjanya adalah dengan mengatur tegangan yang masuk ke motor. Pertama-tama motor hanya diberikan tegangan yang rendah sehingga arus dan torsi pun juga rendah. Pada level ini motor hanya sekedar bergerak perlahan dan tidak menimbulkan kejutan. Selanjutnya tegangan akan dinaikan secara bertahap sampai ke nominal tegangannya dan motor akan berputar dengan dengan kondisi RPM yang nominal.

- **Frequency drive**

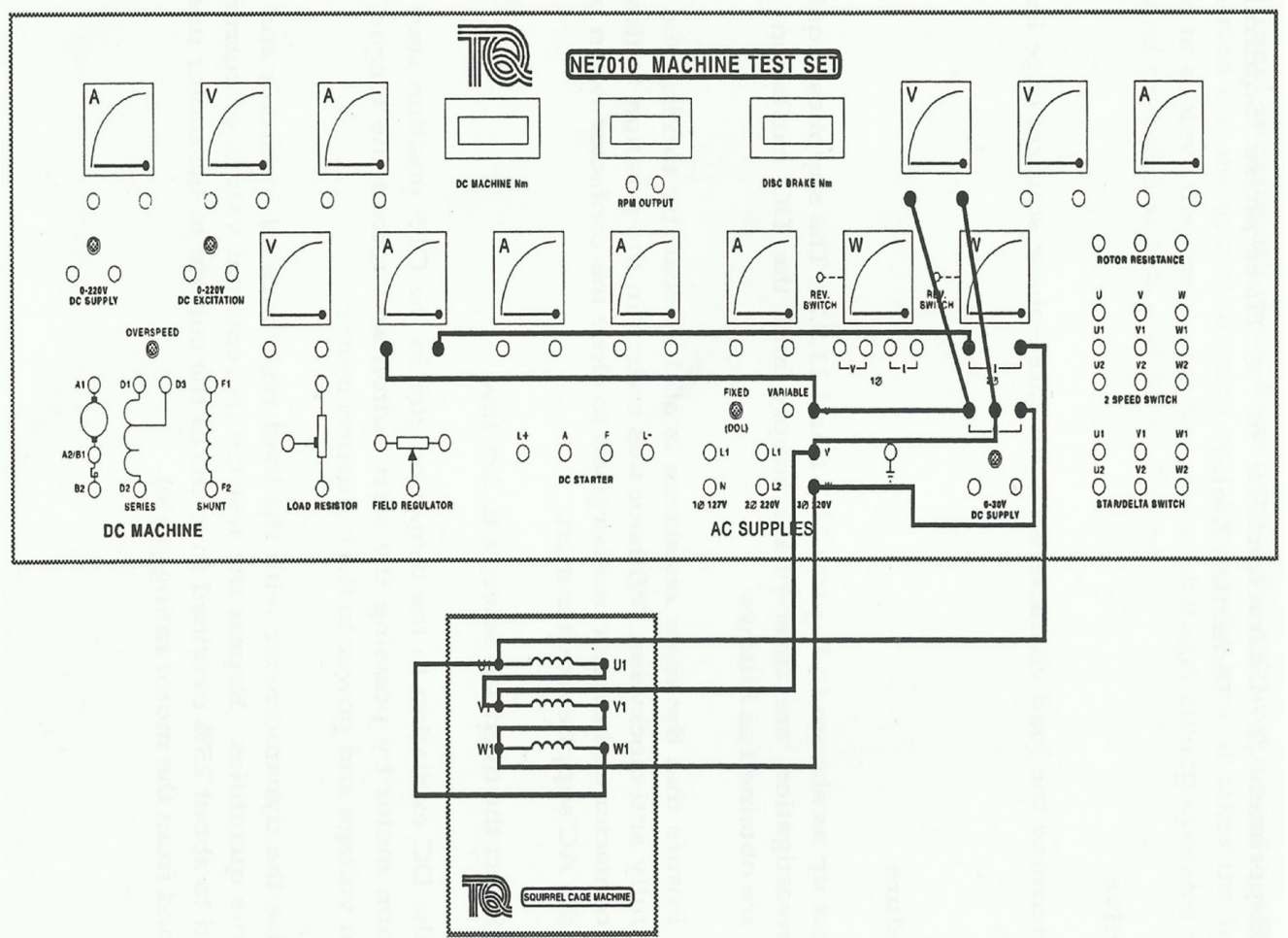
Frequency Drive sering disebut juga dengan VSD (Variable Speed Drive), VFD (Variable frequency Drive) atau Inverter. VSD terdiri dari 2 bagian utama yaitu penyearah tegangan AC (50 atau 60 HZ) ke DC dan bagian kedua adalah membalikan dari DC ke tegangan AC dengan frequency yang diinginkan. VSD memanfaatkan sifat motor sesuai dengan rumus sbb :

$$RPM = \frac{120 \times f}{p} \times$$

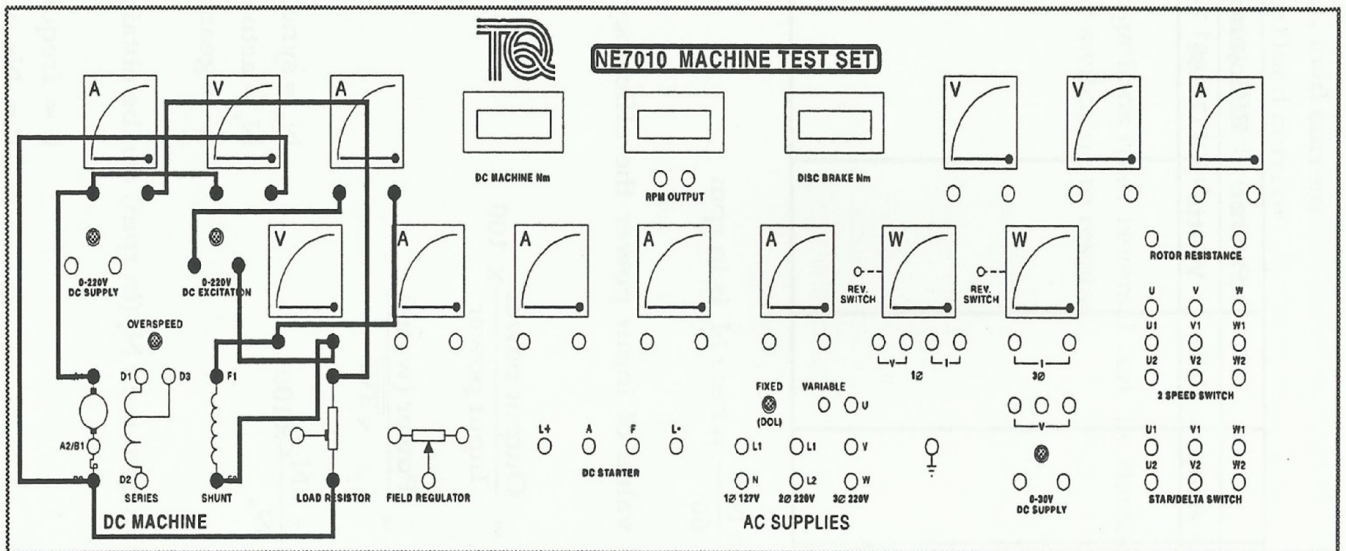
Di mana RPM = kecepatan merupakan putaran dalam motor
 f = frekuensi
 p = jumlah kutub motor

Dengan demikian jika frekuensi motor ditingkatkan maka akan meningkatkan kecepatan motor, sebaliknya dengan memperkecil frekuensi akan memperlambat kecepatan motor.

3.3.1.3 Rangkaian Percobaan



Gambar 5.2 Rangkaian motor tak serempak



Gambar 5.3 Rangkaian generator arus searah

3.3.1.4 Langkah-langkah Percobaan

- Pastikan bahwa semua peralatan telah siap dan aman untuk dilakukan percobaan
- Pastikan bahwa tahanan rotor terpasang dalam sirkuit dengan cara memutar berlawanan arah jarum jam
- Pilih “overload selector” ke posisi “3 ϕ Low”
- Pilih “supplies selector” ke posisi “fixed (DOL)”
- Hidupkan catu daya dengan cara menaikkan pemutus rangkaian catu daya (MCB) ke posisi “ON”
- Pilih “star delta switch” ke posisi delta
- Tekan tombol “Supply Reset”
- Tekan tombol “Start Button” untuk memulai menjalankan motor
- Amati dan catatlah besar arus puncak stator (A1), arus stator kondisi stabil (A1), kecepatan putar motor (n), dan lama waktu yang diperlukan arus untuk mencapai kondisi stabil.
- Matikan mesin dengan menekan tombol “Stop Button” untuk pengambilan data berikutnya.
- Pilih “star delta switch” ke posisi star
- Ulangi langkah g, h, dan i
- Pilih “star delta switch” ke posisi delta kembali
- Amati dan catatlah perubahannya.

- Bila pengamatan telah selesai, matikan motor dengan menekan tombol “Stop Button” dan matikan catu daya dengan menurunkan rangkaian catu daya (MCB) ke posisi “OFF”

3.3.1.5 Tugas

1. Gambarkan karakteristik arus rotor pada saat start (grafik I vs t) !
2. Berikan analisa saudara terhadap percobaan di atas !
3. Berikan kesimpulan saudara untuk percobaan ini !

MODUL PERCOBAAN VI

KARAKTERISTIK KERJA MOTOR INDUKSI

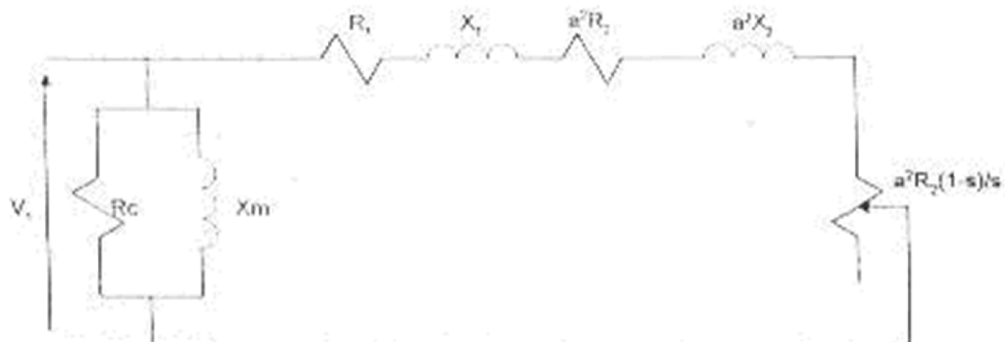
6.1 Tujuan

Mengetahui karakteristik kerja motor tak serempak yang dipakai berupa :

- Daya keluar optimal motor
- Efisiensi
- Faktor Daya
- Kecepatan motor
- % Slip

6.2 Teori

Penambahan beban motor memperlebar sudut antara vektor fluks magnetik stator dengan fluks magnetik rotor. Fluks magnetik rotor yang mengikuti putaran fluks magnetik stator berjalan lebih lambat sehingga putaran rotor makin lambat. Untuk mengimbangi pertambahan torsi beban, diperlukan pula pertambahan fluks magnetik stator dengan menarik arus yang lebih besar dari catu daya. Selain memiliki konstruksi yang kokoh, motor tak serempak juga memiliki efisiensi mesin yang baik.



Gambar 6.1 Rangkaian ekivalen akhir motor tak serempak

Torsi elektromagnetik akhir yang dihasilkan motor tak serempak adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{3V_1^2 \frac{a^2 R_2}{s}}{\omega \left[\left(R_1 + \frac{a^2 R_2}{s} \right)^2 + (X_1 + a^2 X_2)^2 \right]}$$

Perhitungan-perhitungan daya mesin yang dipakai adalah :

$$P_o = 0.105 \times T \times n$$

$$P_i = 3 \times V_1 \times I_1 \times pf$$

$$\eta = (P_o/P_i) \times 100\%$$

$$\omega = 2\pi f (\text{rad/sec})$$

dimana : P_o = daya keluaran (Watt)

T = torsi beban (Nm)

n = kecepatan motor (rpm)

I_1 = arus masukan (A)

f = frekuensi listrik (Hertz)

pf = faktor daya

6.3 Alat-alat yang digunakan

- 1 set *NE7010 MACHINE TEST SET*
- 1 motor tak serempak 3 fasa jenis sangkar tupai (*Three-phase Squirrel Cage Induction Motor*)
- 1 mesin arus searah

6.4 Rangkaian Percobaan

Lihat Gambar 5.2 dan Gambar 5.3

6.5 Langkah-langkah Percobaan

A. Start Mesin

A.1 Start Motor Tak Serempak

- Pastikan bahwa semua peralatan telah siap dan aman untuk dilakukan percobaan
- Pastikan bahwa tahanan rotor terpasang dalam sirkuit dengan cara memutar berlawanan arah jarum jam
- Pilih “overload selector” ke 3ϕ Low
- Pilih “supplies selector” ke posisi “variable”
- Start motor dengan cara menaikkan pemutus rangkaian catu daya (MCB) ke posisi “ON”
- Tekan tombol “Supply Reset”
- Tekan tombol “Start Button” untuk memulai menjalankan motor
- Naikan tegangan perlahan-lahan sampai ke posisi 100 %.

A.2 Start Generator DC :

- Tekan tombol “DC Supply Excitation CBE” ke posisi 1 (posisi “ON”) yang menghubungkan catu daya ke stator
- Atur besarnya Excitation Supply sesuai petunjuk (Jangan Melebihi Batas Rating yang diijinkan).

B. Pengambilan Data

B.1 Parameter V1 Konstan

- Catat data pertama pada kondisi yang ditentukan
- Naikan torsi beban dengan mengubah arus penguat atau arus eksitasi sesuai petunjuk
- Catatlah semua data yang diperlukan
- Torsi yang diberikan tidak melebihi nominal beban penuh (arus eksitasi diusahakan tidak melebihi rating yang diberikan)
- Ulangi dengan kondisi torsi beban diturunkan

B.2 Parameter Torsi Konstan

- Berilah motor harga beban tertentu
- Catatlah data pertama pada kondisi V1 nominal (maksimum)
- Turunkan V1 dengan menurunkan volume tegangan
- Bila terjadi pergeseran harga beban, dikoreksi terlebih dahulu harga beban sebelum data diambil
- Catatlah semua data yang diperlukan
- Ulangi dengan kondisi V1 dinaikkan

C. Mematikan Mesin

C.1 Mematikan generator

- Turunkan arus eksitasi sampai harga minimum dengan memutar
- Matikan suplai sumber DC dengan menekan tombol “DC supply Excitation CBE” ke posisi 1 (posisi “OFF”)

C.2 Mematikan Motor

- Turunkan Harga tegangan terminal sampai harga minimum dan motor akan berhenti

- Tekan saklar stop
- Turunkan saklar pemutus catu daya (MCB) ke posisi “OFF”
- Percobaan selesai dan rapikan semua kabel yang terpakai

6.6 Tugas

1. Gambarkan grafik :

- $P_o = P_o(T), V=C$
- $\eta = \eta(T), V=C$
- $n = n(T), V=C$
- $pf = pf(T), V=C$
- $s = s(T), V=C$
- $P_o = P_o(V), T=C$
- $\eta = \eta(V), T=C$
- $n = n(V), T=C$
- $pf = pf(V), T=C$
- $s = s(V), T=C$

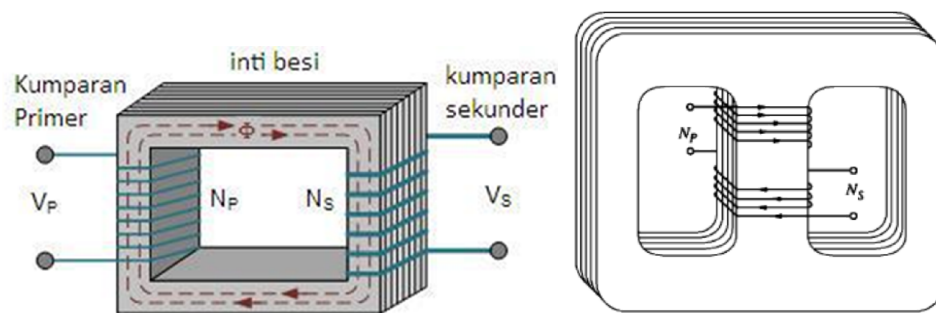
2. Berikan analisa saudara terhadap grafik tersebut !
3. Berikan kesimpulan hasil percobaan di atas !

MODUL PERCOBAAN VII TRANSFORMATOR SATU FASA

1. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu alat elektromagnetis yang mengubah tegangan AC pada suatu level menjadi tegangan AC pada level tegangan lain yang bekerja prinsip induksi elektromagnetik tanpa mengubah frekuensi.

Konstruksi dasarnya terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang dililitkan pada inti besi yang satu sama lainnya terhubung secara elektromagnetis. Ada dua jenis bentuk inti besi, yakni tipe core (gambar kanan) dan tipe shell (gambar kiri).



Prinsip kerja transformator adalah bila pada kumparan primer diberi tegangan AC, maka akan timbul fluks magnetik yang mengalir pada inti besi, kemudian akan menginduksikan tegangan di kumparan sekunder.

Persamaan umum pada transformator antara lain:

$$E_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$E_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a$$

Dimana E_1 = tegangan kumparan primer, E_2 = tegangan kumparan sekunder, N_1 = lilitan kumparan primer, N_2 = lilitan kumparan sekunder, I_1 = arus kumparan primer, I_2 = arus di kumparan sekunder dan a = perbandingan lilitan atau rasio transformasi.

Pada kenyataannya, tidak ada transformator yang ideal. Selalu terdapat faktor yang menyebabkan daya listrik yang ditransfer dari sisi primer tidak seluruhnya diterima oleh sisi sekunder. Faktor tersebut antara lain rugi tembaga,

fluks bocor, eddy current, dan rugi hysteresis. Rangkaian ekivalen transformator harus dapat memodelkan faktor-faktor tersebut.

2. ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN

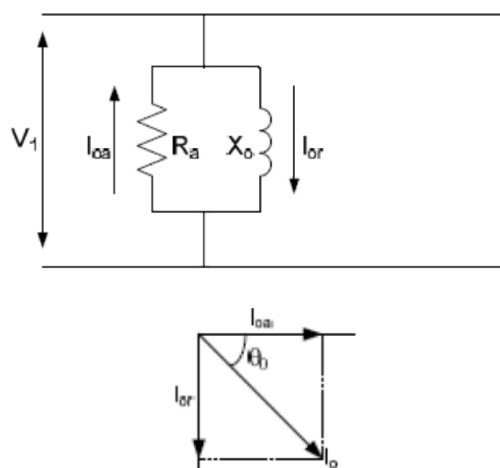
- 1 modul transformator
- 1 modul catu daya
- 1 modul AC ammeter (3/5 Aac)
- 1 modul AC voltmeter (0-250 Vac)
- 1 modul variable resistance
- 1 modul variable inductance
- 1 modul variable capacitance
- 1 watt meter
- 1 cos ϕ meter
- Kabel penghubung

3. PERCOBAAN

a. Percobaan Beban Nol

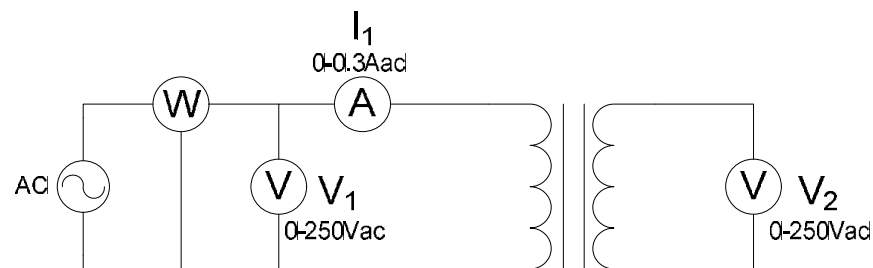
1. Tujuan percobaan ini untuk memperoleh nilai rugi-rugi pada inti besi (R_c) dan rugi-rugi akibat arus magnetisasi (X_m).
2. Teori Dasar

Apabila sisi primer diberi tegangan nominal V_1 , dan sisi sekunder di hubung terbuka, maka dapat ditentukan daya rugi inti besi (R_c) dan efek eksitasi inti besi (X_m). Rugi inti besi merupakan gabungan antara rugi eddy current dan rugi hysteresis.



Rugi tembaga pada beban nol bernilai 0.25-2% rugi tembaga pada beban nominal. Sehingga rugi tembaga pada beban nol dapat diabaikan terhadap rugi besi.

3. Rangkaian Percobaan



4. Langkah-langkah percobaan

- Susun rangkaian percobaan. Perhatikan rating trafo pada sisi primer dan sekunder.
- Hidupkan catu daya. Kemudian atur tegangan masukan nilai nol secara bertahap.
- Catat: $I_0(A_1)$, V_2 , P_0 untuk setiap kenaikan V_1 .
- Setelah percobaan selesai, turunkan catu daya.

b. Percobaan Hubung Singkat

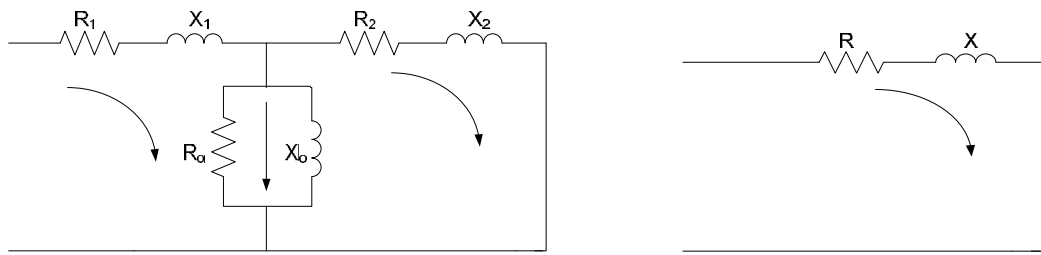
- Tujuan percobaan ini adalah untuk mencari nilai rugi-rugi tembaga (R_{ek}) dan rugi fluks bocor (X_{ek}) pada transformator.
- Teori Dasar

Kumparan sekunder dihubungkan singkatkan, arusnya diukur oleh amperemeter. Sisi primer diberi tegangan dan frekuensi yang tetap. Karena sisi sekunder dihubungkan singkat, maka $R_o \gg R_2'$ dan $X_o \gg X_2'$ sehingga $I_o \ll I_2'$, dengan demikian I_o dapat diabaikan, sehingga dapat digambarkan seperti gambar dibawah ini.

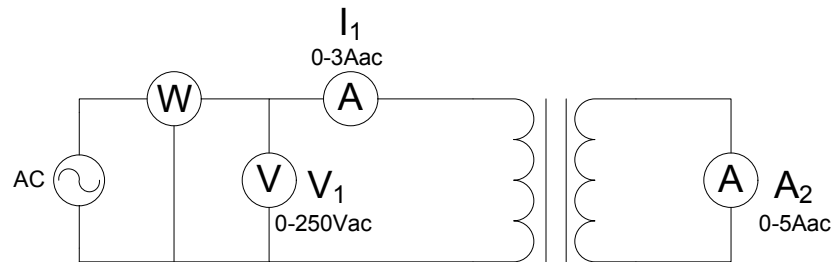
$$P_{hs} = P_t + P_b = I_t^2 R + P_b$$

Karena rugi besi sebanding dengan V_1 dan pada hubung singkat nilai V_1 sangat kecil, maka rugi besi dapat diabaikan.

$$P_{hs} \cong P_t$$



3. Rangkaian Percobaan



4. Langkah-langkah Percobaan

- a. Susun rangkaian percobaan.
- b. Periksa kembali rangkaian dan pastikan tidak ada kesalahan pada rangkaian. Hidupkan catu daya.
- c. Catat V_1 , I_2 , dan P_{hs} untuk setiap kenaikan I_1 dengan mengatur catu daya.
- d. Setelah percobaan selesai, matikan catu daya.

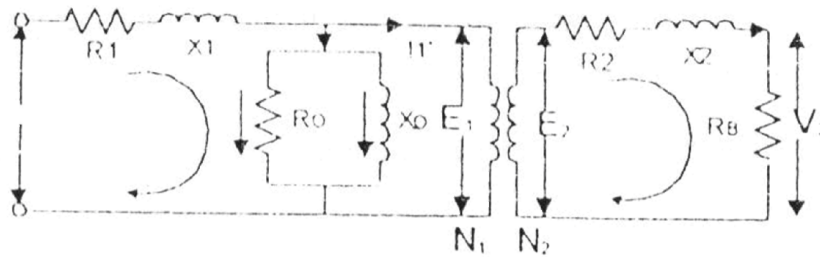
c. Percobaan Berbeban

1. Tujuan

- Mengetahui pengaturan tegangan trafo pada beban resistif, induktif, dan kapasitif
- Mengetahui efisiensi trafo pada beban resistif, induktif, dan kapasitif

2. Teori Dasar

Sisi sekunder berbeban dan sisi primer diberi tegangan tetap. Dengan adanya beban pada sisi sekunder, maka arus akan mengalir pada kedua kumparan trafo.



Rangkaian ekivalen trafo berbeban

Dari rangkaian di atas didapat persamaan berikut :

$$V_2 = E_2 - I_2(R_2 + jX_2)$$

$$E_1 = aE_2$$

$$V_1 = E_1 + I_1(R_1 + jX_1)$$

$$I_1 = I_o + I_p$$

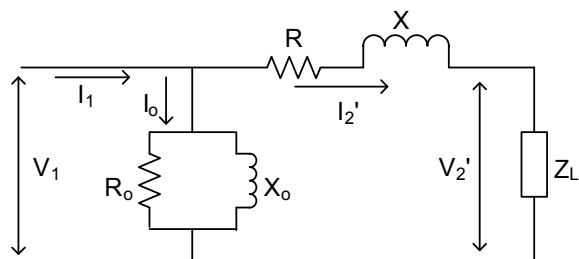
$$I_1' = I_2/a$$

Dari persamaan tersebut, terlihat bahwa arus primer merupakan fungsi dari arus beban. Perubahan beban dari nol sampai beban nominal dibanding dengan tegangan sekunder beban nol pada tegangan primer tetap dinamakan “Pengaturan Tegangan” yang dinyatakan dalam %.

$$\%VR = \frac{V_{02} - V_2}{V_{02}} \times 100\% = \frac{V_1/a - V_2}{V_1/a} \times 100\%$$

$$Efisiensi(\eta) = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

Dari hasil *open circuit test* dan *short circuit test*, rangkaian ekivalen trafo pada keadaan berbeban yang ditransformasikan ke sisi primer dapat digambarkan sebagai berikut



Rangkaian ekivalen trafo berbeban dari hasil OC test dan SC test

Jika tegangan V_1 dibuat tetap, maka didapat persamaan sebagai berikut :

$$V_2' = V_1 - I_2' \angle \theta (R + jX)$$

$$V_2' = aV_2$$

$$I_2' = I_2 / a$$

Dari persamaan di atas, dapat digambarkan diagram fasor untuk ketiga kondisi beban sebagai berikut :

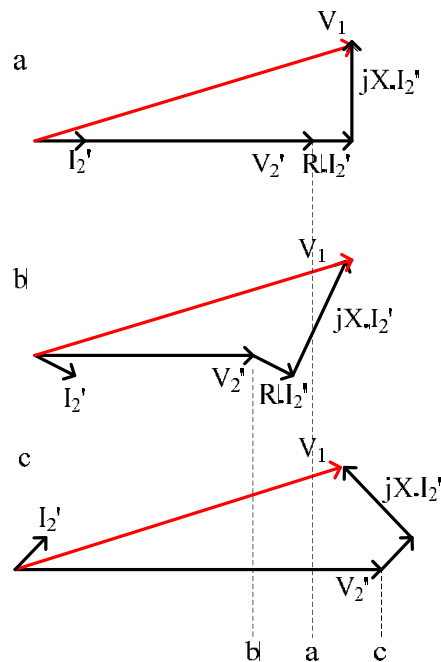
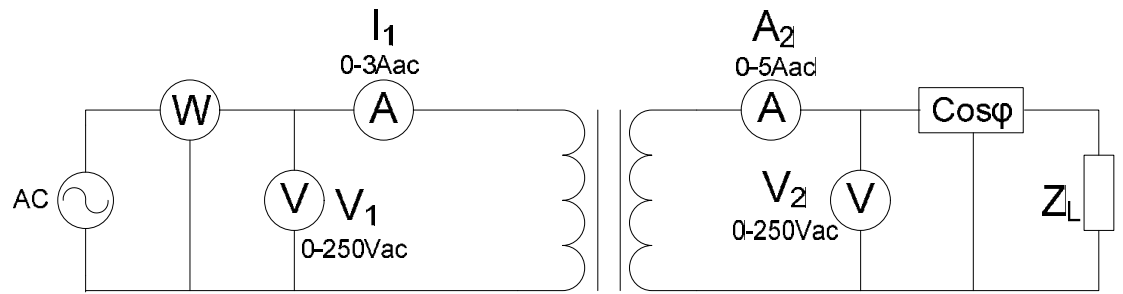


Diagram fasor trafo dengan beban (a) resistif (b) induktif (c) kapasitif

- $V_{p/a} > V_s$, jadi V_R pada transformer harus lebih besar dari 0. (Unity)
- $V_{p/a} > V_s$ untuk beban *lagging*, jadi V_R pada transformer harus lebih besar dari 0.
- $V_s > V_{p/a}$, jadi V_R pada transformer harus kurang dari 0. (Leading)

Pembebanan daya reaktif akan mempengaruhi besar tegangan sekunder trafo secara dominan. Beban induktif akan menyebabkan jatuh tegangan yang cukup signifikan pada sisi sekunder trafo (V_2). Beban kapasitif akan menyebabkan tegangan sekunder (V_2) menjadi lebih besar dari tegangan primernya (V_1).

3. Rangkaian Percobaan

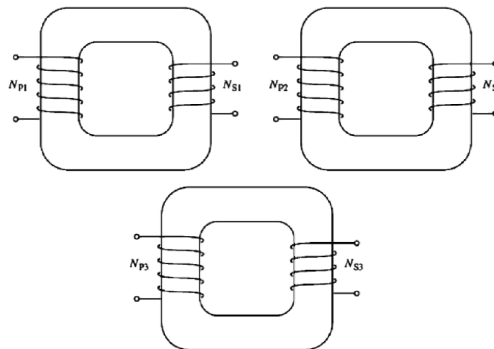


4. Langkah-langkah percobaan
 - a. Susun rangkaian percobaan.
 - b. Hidupkan catu daya sampai nominalnya (terlihat pada V_1) dan dijaga konstan.
 - c. Hidupkan beban secara bertahap lalu catat hasil pengukuran yang diperlukan.
 - d. Setelah percobaan selesai, padamkan catu daya dan rapikan alat-alat serta meja percobaan.

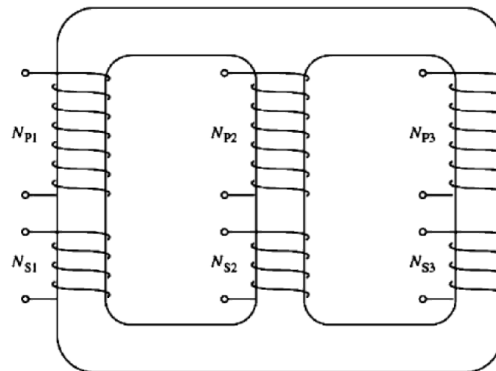
MODUL PERCOBAAN VIII TRANSFORMATOR TIGA FASA

I. PENDAHULUAN

Hampir semua sistem pembangkitan dan distribusi daya listrik menggunakan sistem AC tiga fasa. Maka dari itu, harus diketahui bagaimana penggunaan transformator pada sistem AC tiga fasa. Ada dua tipe transformator tiga fasa, yaitu menggunakan 3 transformator tipe core satu fasa. Tipe lain menggunakan transformator tipe shell dan terdiri dari 3 pasang kumparan primer-sekunder pada setiap kakinya.



3 transformator satu fasa dikoneksikan AC 3 fasa



Transformator 3 fasa dengan tipe shell

Transformator 3 fasa ini dapat dikoneksikan secara:

1. Wye-Wye
2. Wye-Delta
3. Delta-Wye
4. Delta-Delta

II. ALAT-ALAT YANG DIGUNAKAN

- 3 modul transformator
- 1 modul catu daya
- 2 modul AC ammeter (3/5 Aac)
- 1 modul AC voltmeter (0-250 Vac)
- 3 modul *variable resistance*
- Kabel penghubung

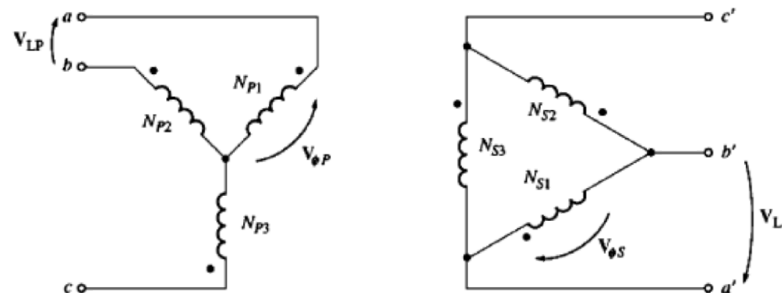
III. PERCOBAAN

a. Percobaan Hubung Wye-Delta

1. Tujuan

Tujuan percobaan ini adalah untuk mengetahui nilai V sekunder dari trafo 3 fasa hubung Wye-Delta dan juga perbandingannya dengan V primer.

2. Teori Dasar



Pada koneksi Y-delta, $V_{\text{fasa p}} = V_{\text{LP}} / (\sqrt{3})$ pada sisi primer, dan pada sisi sekunder $V_{\text{fasa s}} = V_{\text{LS}}$. Perbandingan antara V fasa primer dan V fasa primer adalah a.

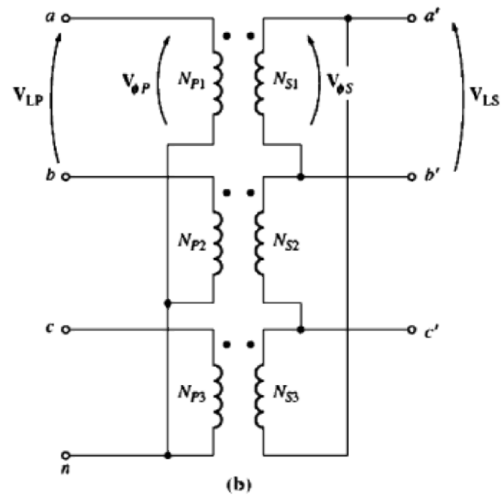
$$\frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a$$

Jadi,

$$\frac{V_{\text{LP}}}{V_{\text{LS}}} = \frac{\sqrt{3}V_{\phi P}}{V_{\phi S}}$$

$$\boxed{\frac{V_{\text{LP}}}{V_{\text{LS}}} = \sqrt{3}a \quad \text{Y}-\Delta}$$

3. Rangkaian Percobaan



4. Langkah-Langkah Percobaan

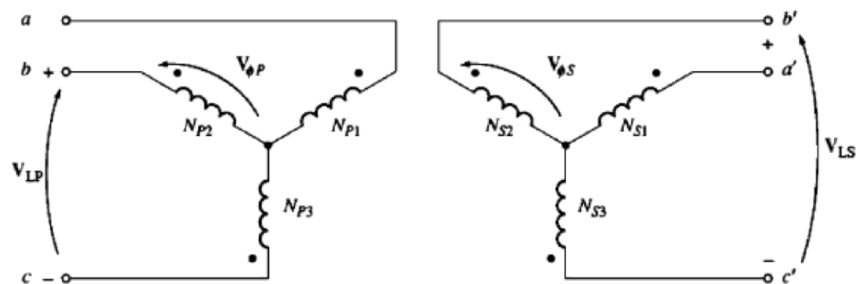
- Susun rangkaian sesuai rangkaian percobaan.
- Hidupkan catu daya.
- Catat tegangan pada kumparan primer yang terukur di voltmeter.
- Catat tegangan pada kumparan sekunder yang terukur di voltmeter.
- Matikan catu daya.

b. Percobaan Wye-Wye

1. Tujuan

Untuk mengetahui perbandingan nilai V sekunder dengan V primer pada trafo 3 fasa hubung YY dan mengetahui pengaruh pembebanan terhadap arus netral pada koneksi YY.

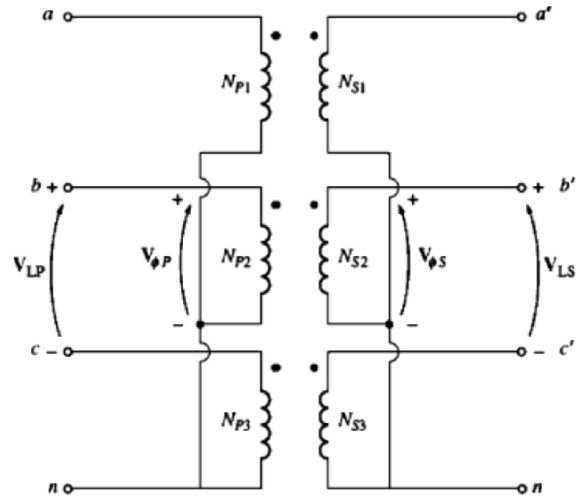
2. Teori Dasar



Gambar diatas merupakan trafo 3 fasa terkoneksi secara wye-wye. Pada sisi primer, $V_{\text{fasa p}} = V_{LP}/(\sqrt{3})$. Tegangan fasa primer dihubungkan dengan tegangan fasa sekunder oleh perbandingan winding pada trafo. Hubungan antara tengangan line dan tegangan fasa pada kumparan sekunder adalah $V_{\text{fasa s}} = V_{LS}/(\sqrt{3})$.

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{\phi P}}{\sqrt{3}V_{\phi S}} = a \quad Y-Y$$

3. Rangkaian Percobaan



5. Langkah-Langkah Percobaan

- Susun rangkaian sesuai rangkaian percobaan.
- Pilih beban yang diinginkan dan catat nilai beban yang dipakai
- Hidupkan catu daya
- Ukur tegangan primer dan tegangan sekunder yang terbaca di voltmeter.
- Catat arus pada beban yang terukur di amperemeter, terdiri dari I_1, I_2, I_3 dan I_n