

BIDANG PENDIDIKAN DAN PENGAJARAN

BERITA ACARA PERKULIAHAN

KULIAH ONLINE/OFF LINE

(LEARNING)

PERIODE SEMESTER GANJIL 2023-2024

MATA KULIAH

TRANSFORMATOR

LAMPIRAN BERITA ACARA PERKULIAHAN

- 1. SK DEKAN FTI SEMESTER GANJIL 2023-2024***
- 2. PRESENSI KEHADIRAN DOSEN DAN MATERI AJAR***
- 3. NILAI KOMULATIF : KEHADIRAN, TUGAS, UTS DAN UAS***
- 4. CONTOH HAND OUT MATERI AJAR***

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTROFAKULTAS

TEKNOLOGI INDUSTRI

**INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
2023/2024**



YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax. 021-7866955, hp. 081291030024
Email : humas@istn.ac.id Website : www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK

Nomor : 282 / 03.1 - G / IX / 2023

SEMESTER **GANJIL**, TAHUN AKADEMIK 2023 / 2024

Nama : Sugiarto,Ir,MT Status Pegawai : Edukatif Tetap / Tidak Tetap
NIK : 186489 Program Studi : Teknik Elektro
Jabatan Akademik : Lektor

| Bidang | Perincian Kegiatan | Tempat | Jam/ Minggu | Kinerja (sks) | Keterangan | |
|--|---|--------|----------------|------------------|----------------------|--|
| I PENDIDIKAN Dan PENGAJARAN | MENGAJAR DI KELAS (KULIAH / RESPONSI DAN LABORATORIUM) | | | | | |
| | 1.Penggunaan Mesin Listrik (A) | | | 2 | Senin,13.00-14.40 | |
| | 2.Teknologi Sistem Tenaga Listrik (Kls A) | | | 2 | Senin,08.00-09.40 | |
| | 3.Trasformator(Kls A) | | | 2 | Selasa, 10.00-11.40 | |
| | 4.Penggunaan Mesin Listrik (Kls K) | | | 2 | Selasa,19.00-20.40 | |
| | 5.Teknologi Sistem Tenaga Listrik (Kls K) | | | 2 | Sabtu, 10.00 - 11.40 | |
| | 6.Transformator (Klas K) | | | 2 | Sabtu, 08.00-09.40 | |
| | 7. | | | | . | |
| | 8. | | | | . | |
| | 9. | | | | . | |
| | 10. | | | | . | |
| | 11. | | | | . | |
| | 12. | | | | . | |
| | 13. | | | | . | |
| | 14. | | | | . | |
| | 15. | | | | . | |
| | 16. | | | | . | |
| | 17. Membimbing Skripsi / Tugas Akhir | | | | 1 | |
| 18. Menguji Skripsi / Tugas Akhir | | | | 1 | | |
| II PENELITIAN | 1. Penelitian Ilmiah | | | | | |
| | 2. Penulisan Karya Ilmiah | | | 1 | | |
| | 3. Penulisan Diktat Kuliah | | | | | |
| | 4. Menerjemahkan Buku | | | | | |
| | 5. Pembuatan Rancangan Teknologi | | | | | |
| | 6. Pembuatan Rancangan & Karya Pertunjukan | | | | | |
| III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT | 1. Menduduki Jabatan di Pemerintahan | | | | | |
| | 2. Pengembangan Hasil Pendidikan Dan Penelitian | | | | | |
| | 3. Memberikan Penyuluhan/Pelatihan/Ceramah pada masyarakat | | | | 1 | |
| | 4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat Umum | | | | | |
| | 5. Menulis Karya Pengabdian Pada Masyarakat yang tidak dipublikasikan | | | | | |
| | 6. Komersial / Kesepakatan | | | | | |
| IV UNSUR-UNSUR PENUNJANG | 1. Jabatan Struktural | | | | | |
| | 2. Penasehat Akademik | | | | | |
| | 3. Berperan serta aktif dalam pertemuan ilmiah / seminar | | | | | |
| | 4. Pengembangan program kuliah / Kelompok Ilmu Elektro | | | | | |
| | 5. Menjadi anggota panitia / Badan pada suatu Perguruan Tinggi | | | | | |
| | 6. Menjadi anggota Badan Lembaga Pemerintah | | | | | |
| | 7. Menjadi Anggota Organisasi Profesi | | | | | |
| | 8. Mewakili PT / Lembaga Pemerintah duduk dalam Panitia antar Lembaga | | | | | |
| | 9. Menjadi Anggota Delegasi Nasional ke Parlemen – Parlemen Internasional | | | | | |
| Jumlah Total | | | | 16 | | |

Kepada yang bersangkutan akan dibenarkan gaji / honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional
Penugasan ini berlaku dari tanggal 25 September 2023 sampai dengan tanggal 31 Maret 2024



Jakarta 13 Oktober 2023
Dekan,

(Dr. Mufirah Cahya F.T.S.Si.,M.Si.)

Tembusan :

1. Direktur Akademik – ISTN
2. Direktur Non Akademik – ISTN
3. Ka. Biro Sumber Daya Manusia – ISTN
4. Kepala Program Studi Fak.
5. Arsip



Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2023/2024
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO D3/ S1 FTI - ISTN

| Nama Dosen | : Ir. Sugiarto ,MT | Hari | Sabtu | | |
|-------------|--------------------|---|--------------------------------|---------|-------------|
| Mata Kuliah | : Transformator | Jam | : 10.00-11.40 | | |
| Kelas | K | Ruang | : | | |
| No. | Hari /Tanggal | Materi Pembelajaran | Metode Belajar | Jml Mhs | Paraf Dosen |
| 1 | 30/09/2023 | Teori Dasar Transformator | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 2 | 07/10/2023 | KEADAAN Transformator tanpa beban dan berbeban serta kuat arusnya | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 3 | 14/10/2023 | Rangkaian ekuivalen transformator dan vektor diagram | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 4 | 21/10/2023 | Menentukan parameter pengukuran hubung singkat | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 5 | 28/10/2023 | Pengaturan tparameter dan hubung singkat | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 6 | 04/11/2023 | Pengaturan Tegangan dan kerja paralel | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 7 | 11/11/2023 | Rugi2 dan efisiensi, transf.3 fasaa dan hubungn star delta | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 8 | 18/11/2023 | UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS) SEMESTER GASAL 2023/2024 | elearning istn dan Google Meet | 8 | |

Jakarta, November 2023

Dosen Teknik Elektro FTI-ISTN

{ Sugiarto, Ir. MT }



Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2023/2024
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1 FTI - ISTN

| Nama Dosen | | : Ir. Sugiarto ,MT | | Hari | Selasa |
|-------------|---------------|---|--------------------------------|---------|---------------|
| Mata Kuliah | | : Transformator | | Jam | : 10.00-11.40 |
| Kelas | | :K | | Ruang | : |
| No. | Hari /Tanggal | Materi Pembelajaran | Metode Belajar | Jml Mhs | Paraf Dosen |
| 9 | 25-11-2023 | Transformator arus dan tegangan, serta contoh2nya | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 10 | 2-12-2023 | mator dan pengukuran , serta bgmn penggambaran diagram lingkara | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 11 | 9-12-2023 | Polaritas Transf. dan ggm | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 12 | 16-12-2023 | Cara penyambungan transf.3 fase dan hubungan transf. | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 13 | 23-12-2023 | Tegangan efektif dan rugi2 | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 14 | 30-12-2024 | Transformator fasa tunggal pada jaringan dua fasa | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 15 | 6-1-2024 | Latihan , contoh2 soal dan tugas | elearning istn dan Google Meet | 8 | |
| 16 | 20-1-2024 | UJIAN AKHIR SEMESTER GASAL 2023/2024 | elearning istn dan Google Meet | 8 | |

Jakarta, . Jakarta, Januari 2024
Kaprodi Dosen Teknik Elektro FTI-ISTN

(Sugiarto,Ir.MT)

DAFTAR NILAI

SEMESTER GANJIL REGULER TAHUN 2023/2024

Program Studi : Teknik Elektro S1

Matakuliah : Transformator

Kelas / Peserta : K

Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng P2K - Kelas

Dosen : Sugianto, Ir.MT.

Hal. 1/1

| No | NIM | N A M A | ABSEN | TUGAS | UTS | UAS | MODEL | PRESENTASI | NA | HURUF |
|----|----------|------------------------------|-------|-------|-----|-----|-------|------------|------|-------|
| | | | 10% | 20% | 30% | 40% | 0% | 0% | | |
| 1 | 23224301 | Muhammad Rijal Cahyadi | 100 | 78 | 95 | 70 | 0 | 0 | 82.1 | A |
| 2 | 23224701 | Muhammad Elvan Rafif Najiyah | 100 | 78 | 90 | 75 | 0 | 0 | 82.6 | A |
| 3 | 23224702 | Mayharani Jasiska Dini Daud | 100 | 75 | 90 | 75 | 0 | 0 | 82 | A |
| 4 | 23224703 | Rio Fadhillah | 100 | 78 | 90 | 75 | 0 | 0 | 82.6 | A |
| 5 | 23224704 | Rusydan Siswantoro Galih Aji | 100 | 75 | 90 | 70 | 0 | 0 | 80 | A |
| 6 | 23224707 | Dimas Rahmat Prasetya | 100 | 78 | 90 | 80 | 0 | 0 | 84.6 | A |
| 7 | 23224708 | Syarif Maulana | 100 | 78 | 90 | 75 | 0 | 0 | 82.6 | A |
| 8 | 23224712 | Karina Trie Rizkikha | 100 | 78 | 95 | 70 | 0 | 0 | 82.1 | A |

| Rekapitulasi Nilai | | | | | | | |
|--------------------|---|----|---|----|---|----|---|
| A | 8 | B+ | 0 | C+ | 0 | D+ | 0 |
| A- | 0 | B | 0 | C | 0 | D | 0 |
| | | B- | 0 | C- | 0 | E | 0 |

Jakarta, 24 January 2024

Dosen Pengajar



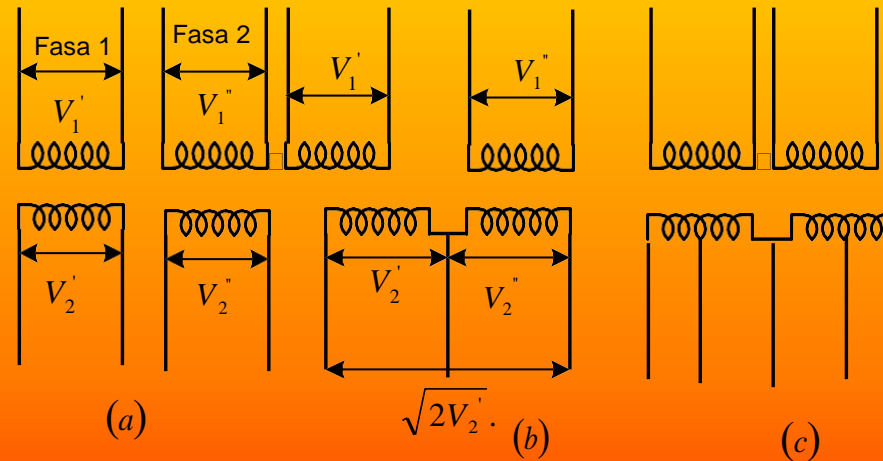
Sugianto, Ir.MT.

TRANSFORMATOR ISTIMEWA

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA

TRANSFORMATOR FASA TUNGGAL PADA JARINGAN DUA FASA

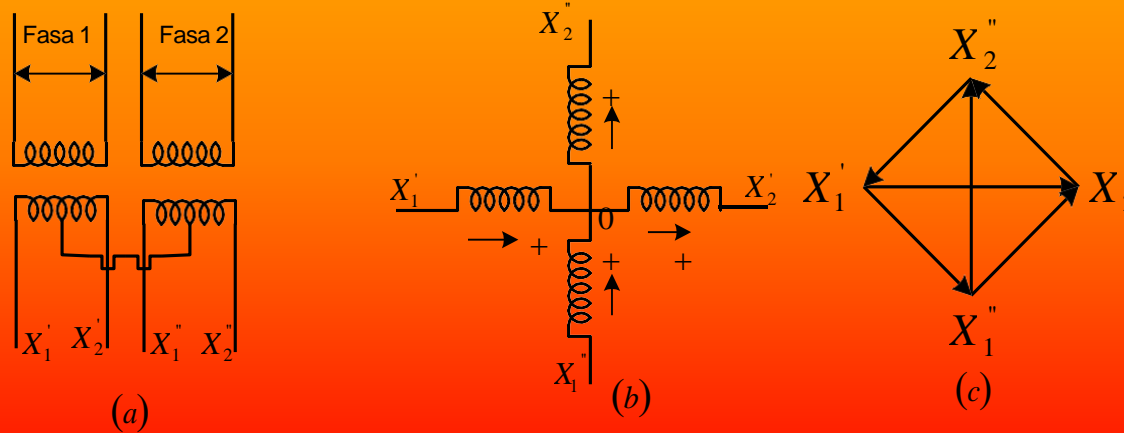
- Penyambungan transformator fasa tunggal pada jaringan dua fasa diperlihatkan gambar 51.



Gambar 51.Sambungan sistem dua fasa

- Sistem dua fasa yang terdiri dari dua buah sistem fasa tunggal dan tidak saling tergantung seperti gambar 51a.
- Untuk menghemat pemakaian tembaga pada sisi sekunder dibuat tiga kawat seperti gambar 51b
- Kawat ditengah bukan titik netral

- Pada pembebanan setimbang arus $\sqrt{2}$ kali lipat arus pada setiap fasa
- Tegangan antara kawat-kawat terluar $\sqrt{2}$ kali tegangan per fasa
- Gambar 51c menunjukkan lima buah kawat tersusun tiap-tiap fasa mempunyai titik netral tapi hanya satu yang boleh ditanahkan



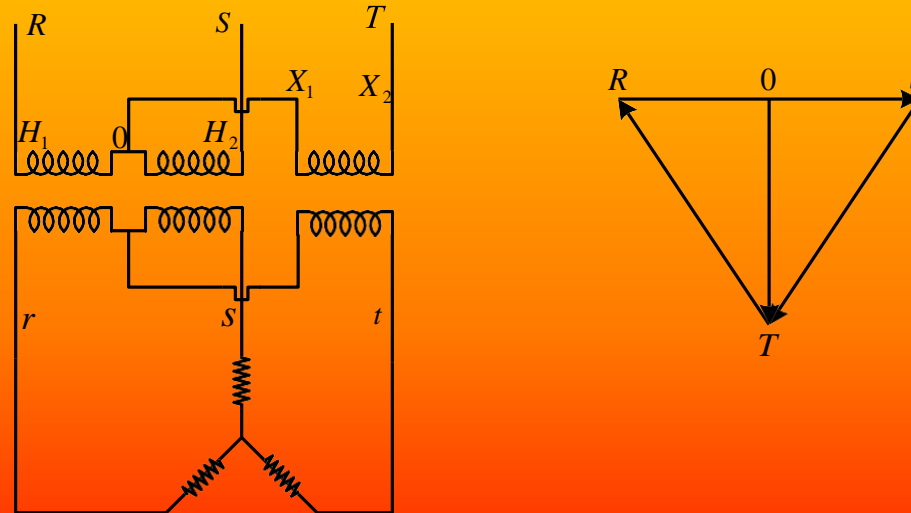
Gambar52.Sambungan $\frac{1}{4}$ fasa dari dua transformator

- Dua trafo gambar 52a sisi primer dicatu oleh sistem dua fasa
- Tegangan sekunder dan sama besar fasanya berselisih
- Tegangan sekunder mendahului dari tegangan sekunder

- Bila tegangan dibuat tertinggal dengan membalik terminal primer dar fasa dua.
- Titik tengah kedua sisi sekunder saling dihubungkan seperti gambar 52a dan gambar 52b
- Tanda panah menunjukkan arah postip terminal.
- Fasa tegangan X_1'' dan X_2' jalur rangkaiannya $X_1''0X_2'$ dimana $X_1''0$ dan $0X_2'$ keduanya arah poitip.
- Vektor ggl kedua belitan menghasilkan setengah vektor tengah gambar 52c $X_1''0$ mendahului $X_1'X_2'$ sudut 45° dan $X_1''X_2''$ tertinggal dibelakang sudut 45°
- Tegangan keseluruhan empat buah fasa yang masing-masing berselisih 90° pada terminal berdekatan.
- Penyambungan sisi sekunder gambar 52a sering disebut dengan sistem seperempat fasa.

HUBUNGAN T (SCOTT) PADA SISTEM TIGA FASA

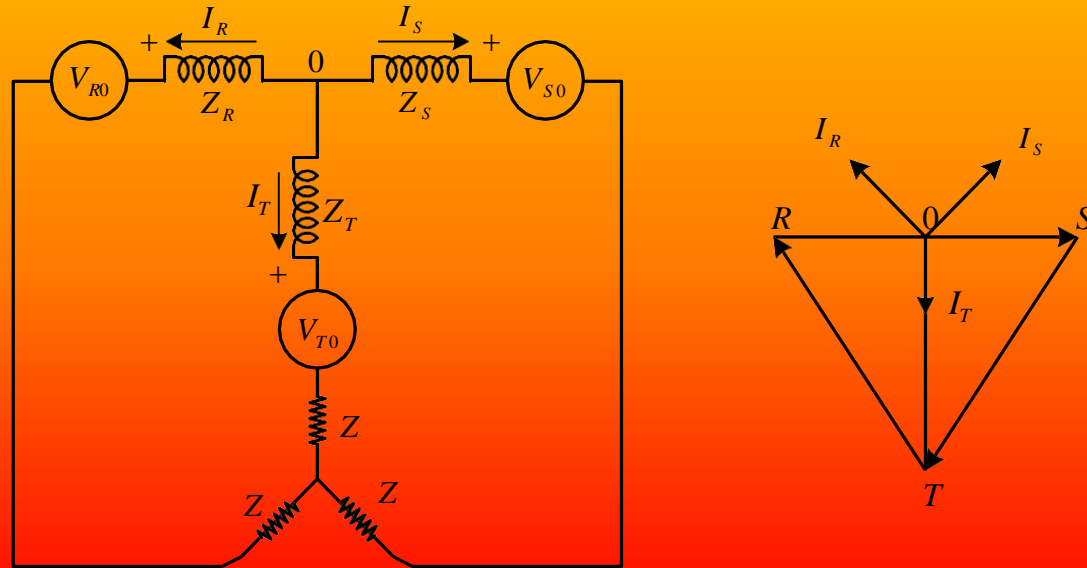
- Dua transformator satu fasa digunakan dengan titik sadapan di 0 sekitar 50 persen seperti gambar 53



Gambar 53 .Hubungan transformator T (Scott)

- Satu trafo dihubungkan ke terminal R dan S pada sistem tiga fasa setimbang R-S-T disebut transformator utama dan yang lain disebut transformator teaser dimana transformator dihubung ke titik netral 0 terminal T dari rangkaian catu.

- Tegangan primer V_{0T} dicatu ke transformator teaser sama dengan $(\sqrt{3}/2) V_{RS} = 0,866 V_{RS}$
- V_{0T} dan V_{RS} berselisih 90°
- Jika arus beban nol diabaikan rangkaian ekivalen seperti gambar 54



Gambar54.Rangkaian ekivalen hubung T tiga fasa

- Dimana semua besaran dinyatakan dalam primer atau dapat juga dalam sekunder.

- Z_R dan Z_S merupakan impedansi bocor dari setiap setengah trafo utama
- Z_T merupakan impedansi bocor keseluruhan dari trafo teaser
- Z_R dan Z_S masing – masing berharga setengah harga impedansi bocor keseluruhan dari trafo utama.
- Impedansi beban setiap cabang Z dimana beban dihung Y .
- Semua besaran dalam sisi primer, Z_R dan Z_S merupakan impedansi bocor setiap setengah trafo utama, sedangkan Z_T merupakan impedansi bocor transformator teaser.
- Hukum kirchoff rangkaian SOT dan TOR adalah :

$$I_R + I_S + I_T = 0 \quad \text{..... 131}$$

$$V_{SO} + V_{OT} + I_S (Z_S + Z) - I_T (Z_T + Z) = 0 \quad \text{..... 132}$$

$$V_{TO} + V_{OT} + I_T (Z_T + Z) - I_R (Z_R + Z) = 0 \quad \text{..... 133}$$

$$V_{SO} + V_{OT} = V_{ST} = V_{RS} \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \quad \text{.....134}$$

$$V_{TO} + V_{OR} = V_{TR} = V_{RS} \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \quad \text{.....135}$$

- Dari persamaan 131,132 dan 133 jika Z_R, Z_S dan Z_T relatif kecil terhadap Z maka arus I_R, I_S dan I_T :

$$I_R = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}Z} \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}Z} \angle 150^\circ \quad \text{.....136}$$

$$I_S = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}Z} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}Z} \angle 30^\circ \quad \text{.....137}$$

$$I_T = -j \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}Z} = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}Z} \angle -90^\circ \quad \text{.....138}$$

- I_T fasanya 90° tertinggal dari V_{RS} atau sefasa dengan tegangan tearser V_{OT}
- I_R mendahului V_{RS} dengan sudut 150° atau mendahului 30° terhadap setengah tegangan V_{OT} dan tertinggal 30° terhadap setengah tegangan utama V_{OS}
- Untuk beban induktif dengan faktor daya maka impedansi $Z = |Z| \angle \theta$ dimana $|Z|$ adalah nilai mutlaknya dari Z :

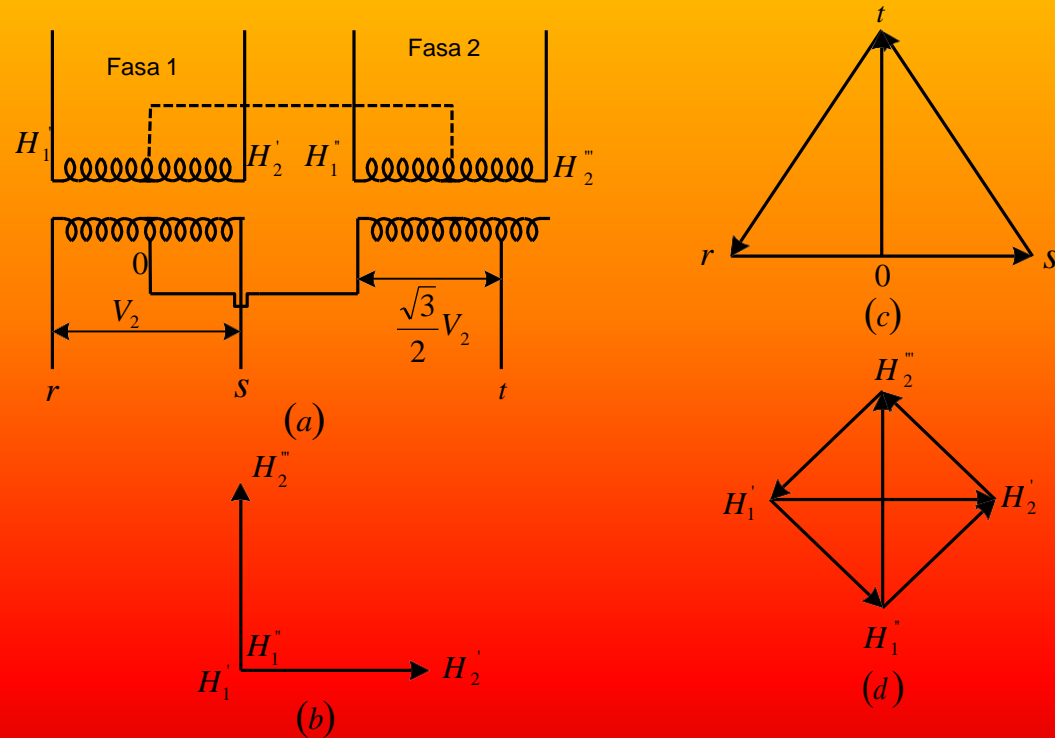
$$I_R = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}|Z|} \angle 150^\circ - \theta \quad \text{.....139}$$

$$I_S = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}|Z|} \angle 30^\circ - \theta \quad \text{.....140}$$

$$I_T = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}|Z|} \angle -90^\circ - \theta \quad \text{.....141}$$

- Untuk tegangan teaser 0,866 tegangan antar fasa (V) pada sistem tiga fasa dan arus fasa I maka daya semu (S) kedua transformator adalah $VI(1+0,866)$ sedangkan keluaran $3VI$ maka faktor mamfaat dari transformator T adalah $\frac{\sqrt{3}}{(1+0,866)} = 0,926$
- Transformator teaser dirancang untuk bekerja pada tegangan penuh V (identik dengan trafo utama).
- Tegangan pada transformator tearsier sama dengan $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot V$, rugi-rugi inti $\frac{3}{4}$ rugi-rugi normal sehingga kenaikan suhu menjadi rendah dari transformator utama, faktor mamfaatnya menjadi $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 0,866$
- Untuk trafo teaser bekerja pada tegangan penuh V, tiap-tiap tingkat baik sisi primer maupun sisi sekunder (TT dan TR) dapat dipilih 86,6% dengan demikian rugi-rugi inti pada transformator teaser tetap normal, akan tetapi 13,4% belitannya sia-sia

- Transformasi rangkaian dua fasa menjadi rangkain tiga fasa hubungan Scott seperti gambar 55



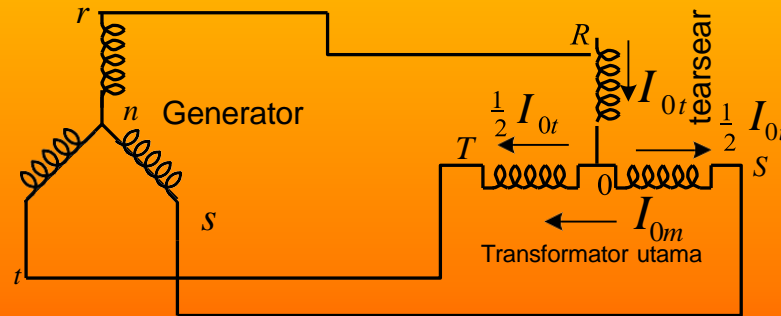
Gambar 55. Transformasi dua fasa ke tiga fasa hubung T

- **Sistem hubungan transformator dua fasa menjadi tiga fasa disebut dengan hubungan Scott seperti gambar 55**
- **Transformator 1 digunakan untuk mendapatkan tegangan sekunder tiga fasa dengan tap pada titik tengah**
- **Transformator 2 digunakan mendapatkan tegangan sekunder tegangan sekunder yang sama dengan Transformator 1 bedanya tap diletakan pada titik 86,6% belitannya ,tapnya dihubungkan ke penghantar ketiga dari sistem tiga fasa.**
- **Ke dua trafo biasanya mirip satu sama lain sehingga membuat tap-tap pada titik 50% dan 86,6% belitanya keduanya dapat saling ditukar fungsinya.**
- **Tegangan primer hubungan fasa seoerti gambar 55b tegangan sekundernya akan seperti gambar 55c**
- **Jika tegangan primer dua fasa mengandung harmonik-harmonik bentuk gelombang tegangan sekunder fasa rs akan sama dengan gelombang primernya**
- **Fasa st dan tr akan berbeda terhadap primer maupun diantara keduanya**

- Gambar 55 mengubah tiga fasa menjadi dua fasa jika titik tengah belitan $H_1'H_2'$ & $H_1''H_2''$ saling dihubungkan, maka diperoleh sistem dua fasa.
- Beda fasa antara tegangan $H_1'H_1''$, $H_1''H_2'$, $H_2'H_2''$ & $H_2''H_2'$ masing-masing beda fasa 90° seperti gambar 55d.

HARMONIK KETIGA PADA TRAFU HUBUNG T

- Tiga fasa generator menyuplai dua buah transformator T seperti gambar 56.



Gambar 56. Transformator hubungan T

- Transformator utama ST dengan tap pada titik tengah disambung ke trafo teaser R0
- Tap titik jumlah lilitan antara 0 dengan R 86,6 % dari lilitan total sisi primer trafo teaser atau sama dengan 86,6 % sisi transformator utama.

- Tegangan antara R,S,T adalah tegangan seimbang seperti gambar 57 dengan fasa tegangan R0 dan ST.
- Jumlah tegangan per lilitan pada kedua transformator sama besar.
- Fluk dan rugi – rugi inti pada keduanya sama besar
- Ggm pada kedua trafo sama besar
- Perbandingan lilitan transformator teaser dengan trafo utama adalah :

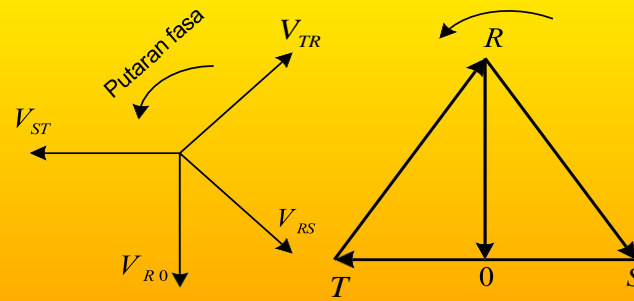
$$I_{Om} = 0,866 I_{Ot}$$

.....142

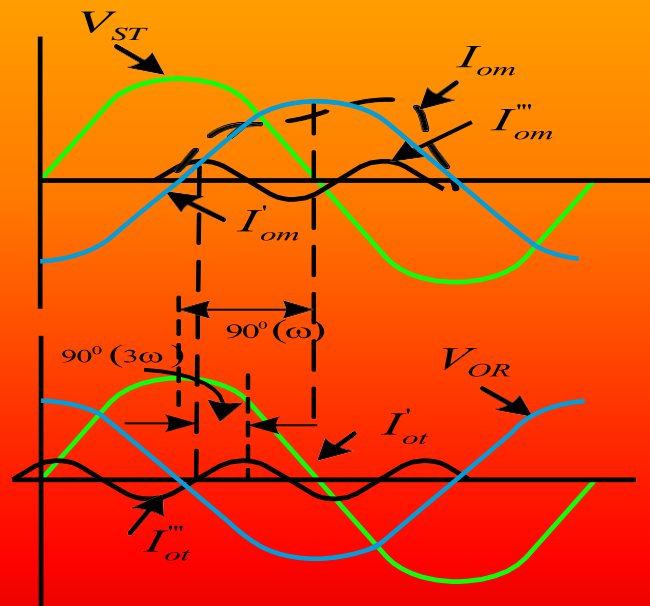
I_{Om} = Nilai efektif arus beban nol transformator utama

I_{Ot} = Nilai efektif arus beban nol transformator teaser

- I_{Om} dan I_{Ot} pada umumnya non sinusoidal dikarenakan ada rugi-rugi histeresis dan permibilitas yang berubah-ubah



Gambar 57. Hubungan fasa tegangan pada transformator hubungan T



Gambar 58. Hubung fasa arus fundamental dan arus harmonik ke tiga hubung T

- Bentuk kedua gelombang dapat diuraikan menjadi gelombang dasar (fundamental) dan gelombang harmonik ketiga

$$I'_{0m} = 0,866I'_{0t} \quad \text{.....143}$$

- Karena rapat fluks maksimum pada kedua trafo sama besar bentuk gelombang I_{0m} dan I_{0t} akan sama sehingga :

$$I'_{0m} = 0,866I'_{0t} \quad \text{.....144}$$

$$I'''_{0m} = 0,866I'''_{0t} \quad \text{.....145}$$

I'_{0m}, I'''_{0m} = nilai efektif gelombang dasar harmonik ketiga pada transformator utama

I'_{0t}, I'''_{0t} = nilai efektif gelombang dasar harmonik ketiga pada transformator teaser

- I'_{Om}, I'_{Ot} keduanya tertinggal dengan sudut 90° tegangan catu masing-masing sisi primer gambar 58
- I'''_{Om}, I'''_{Ot} harmonik ketiga dilihat diposisi gelombang dasar
- V_{ST} dan V_{OR} saling terpisah 90° dengan V_{OR} mendahului V_{ST}
- Jika I'_{Ot} mendahului I'_{Om} 90° maka I'''_{Ot} tertinggal I'''_{Om}
- Dari persamaan (144) dan (145) akan berubah :

$$I'_{Om} = -j.0,866I'_{Ot} \quad \text{.....146}$$

$$I'''_{Om} = +j0,866I'''_{Ot} \quad \text{.....147}$$

- Setiap arus I_{Ot} (belitan 0R) selalu simetris arus terbagi sama besar pada titik 0
- Arus 0T merupakan jumlah $I_{Om} + 1/2I_{Ot}$
- Arus R0 merupakan selilih $I_{Om} - 1/2I_{Ot}$
- Terminal R,S,T arus dasar :

$$I'_{na} = I'_{Ot}$$

$$I'_{nb} = I'_{0m} - \frac{1}{2} I'_{0t}$$

$$I'_{nc} = -I'_{0m} - \frac{1}{2} I'_{0t} \quad \text{.....148}$$

- Arus harmonik ketiga :

$$I'''_{na} = I'''_{0t}$$

$$I'''_{nb} = I'''_{0m} - \frac{1}{2} I'''_{0t}$$

$$I'''_{nc} = -I'''_{0m} - \frac{1}{2} I'''_{0t} \quad \text{.....149}$$

- Substitusi prs (146) ke (148) dan prs (149) ke (149) :

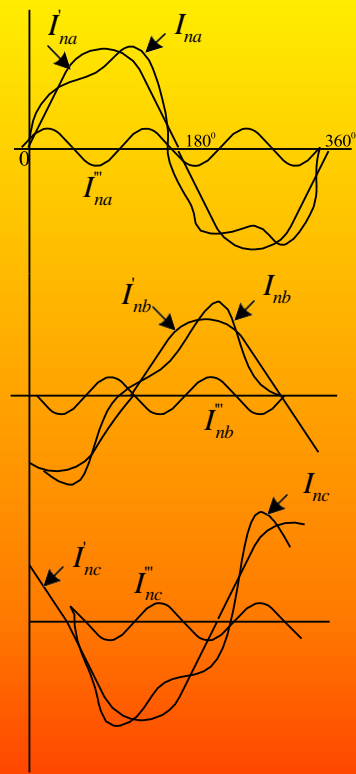
$$I'_{na} = I'_{0t}$$

$$I'_{nb} = I'_{0t} \left(-\frac{1}{2} - j0,866\right) = I'_{0t} \angle 240^0$$

$$I'_{nc} = -I'_{0t} \left(-\frac{1}{2} + j0,866\right) = I'_{0t} \angle 120^0 \quad \text{,,,,,,150}$$

$$\begin{aligned}
 I_{na}''' &= I_{0t}''' \\
 I_{nb}''' &= I_{0t}''' \left(-\frac{1}{2} + j0,866\right) = I_{0t}''' \angle 120^\circ \\
 I_{nc}''' &= -I_{0t}''' \left(-\frac{1}{2} - j0,866\right) = I_{0t}''' \angle 240^\circ
 \end{aligned}
 \dots\dots 151$$

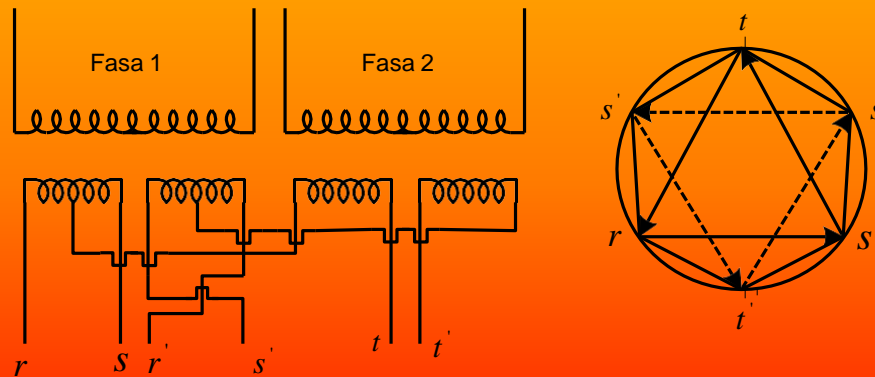
- Dari persamaan (150) dan (151) menunjukkan urutan ketiga arus harmonik ketiga pada belitan generator berlawanan dengan urutan ketiga arus dasar namun nilai sesaat I_{0t} & I_{0t}''' masing-masing arus tetap sama dengan nol
- Pada gambar 59 hubungan antara fasa I_{0t} & I_{0t}''' terlihat ketiga bentuk gelombang arus per fasa berbeda satu sama lain walaupun nilai efektif ketiganya sama.



Gambar 59. Bentuk gelombang arus beban nol

TRANSFORMASI DUA FASA MENJADI ENAM FASA HUBUNG T

- Gambar 60 dua pasang trafo sisi primer, kumparan sekunder tiap fasa dibuat dua pasang trafo
- Kumparan-kumparan sekunder dari salah satu pasang trafo disambungkan ke kumparan-kumparan sekunder yang lain dan membentuk hubungan T



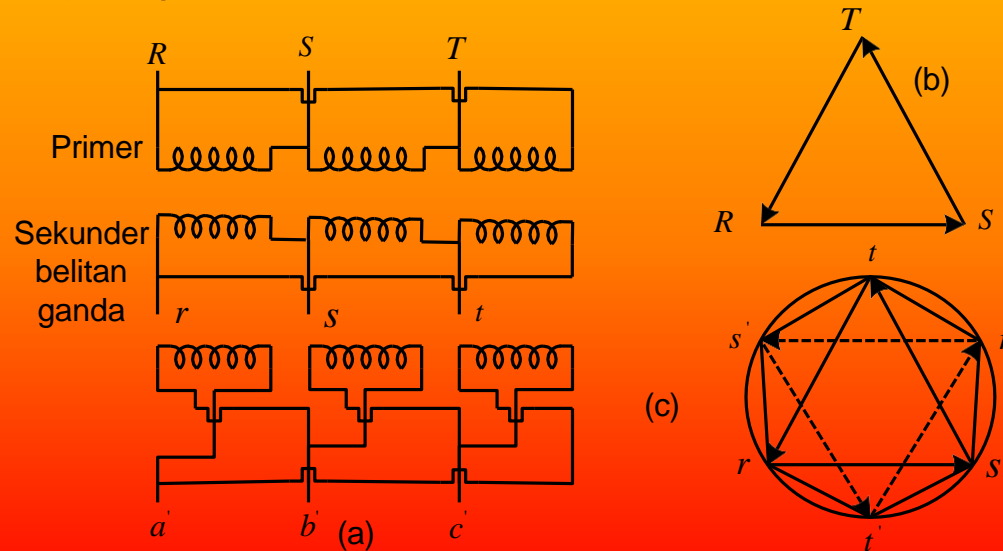
Gambar 60. Transformasi dua fasa ke enam fasa hubungan T

- Segi tiga tegangan r', s', t' akan terbalik 180° dibanding segotiga r, s, t seperti gambar 60b
- Terminal sekunder r', s', t' dan r, s, t disambungkan ke beban-beban yang terpisah, titik netal dari kedua segi tiga tagangan mempunyai potensial yang berlainan

- Bila ke enam terminal beban tertentu yang sesuai yaitu tap-tapnya menyerupai belitan cincin gambar 60b gambar lingkaran kedua segi tiga dengan potensial sama
- Tap-tap terminal seperti r dan t' akan terjadi silisih potensial ditunjukkan anak panah $r t'$
- Tegangan sekunder dan tegangan antar terminal adalah beda sudutnya 60^0 dengan demikian disebut sistem enam fasa
- Fasor segi enam seperti $r t'$ dan $t's$ mempunyai resultan ab demikian untuk fasor yang lainnya
- Sistem 6 fasa banyak dipakai untuk mengubah arus AC menjadi DC

TRANSFORMASI TIGA FASA MENJADI ENAM FASA

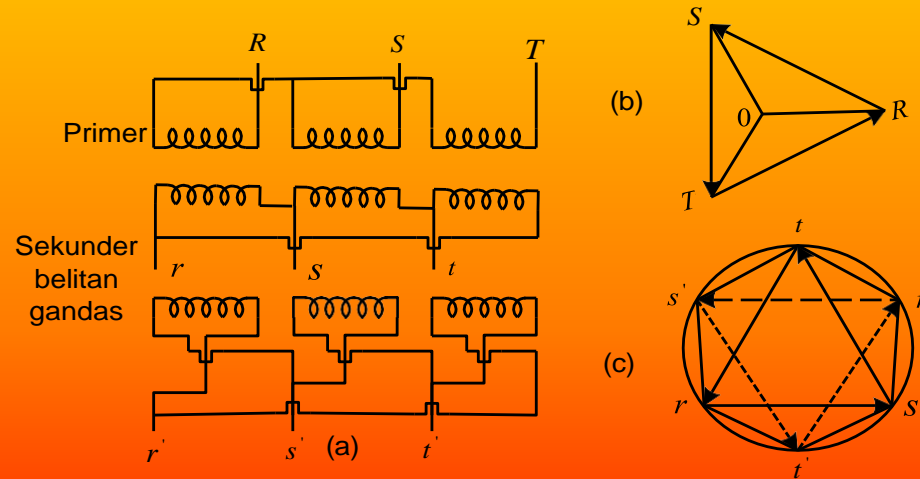
- Tiga buah trafo sisi primer dan dua kelompok disekunder tiga trafo dihubung delta dan kelompok satu lagi dibuat delta tebalik seperti gambar 61a



Gambar 61. Transformasi tiga fasa ke enam fasa delta

- Sisi primer terhubung delta tegangan antar fasa seperti gambar 61b

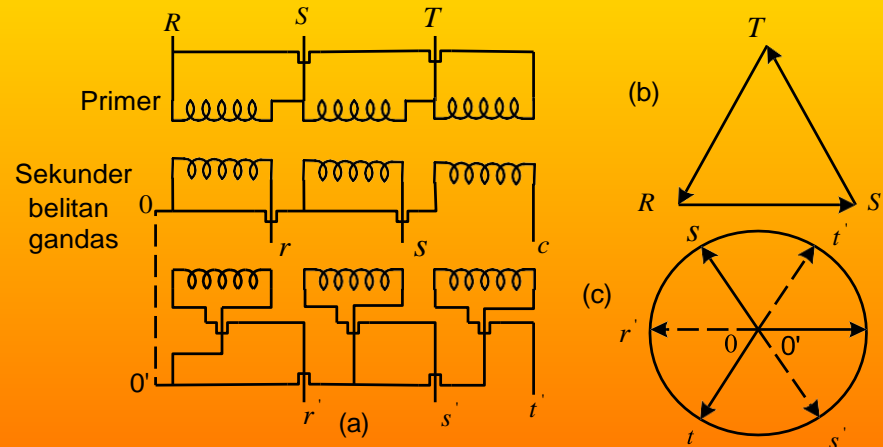
- Terminal-terminal dihubungkan ke terminal yang lainnya akan terlihat seperti gambar 61c diperoleh sistem enam fasa.
- Jika primer dihubung Y seperti gambar 62a diagram fasornya seperti gambar 62b



Gambar 62. Transformasi tiga fasa ke enam fasa way

- Gambar 62b sama dengan gambar 61b yang berputara 150° berlawanan arah dengan putaran jarum jam
- Jika tegangan primer fasanya tidak diubah, tegangan sekunder akan berputar 150° searah jarum jam gambar 61c menjadi gambar 62c

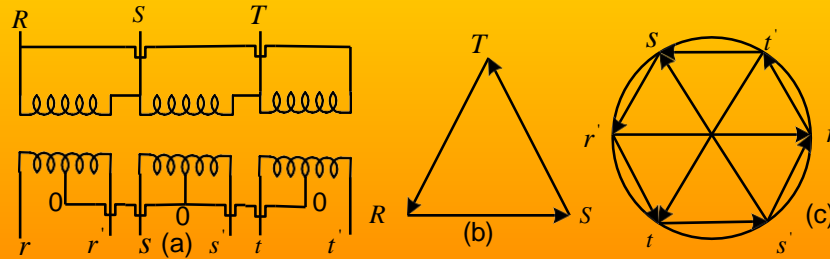
- Hubungan Y ganda seperti gambar 63a, tegangan fasa primer seperti gambar 63b dan tegangan sekunder seperti gambar 63c



Gambar 63. Transformasi tiga fasa ke enam fasa way ganda

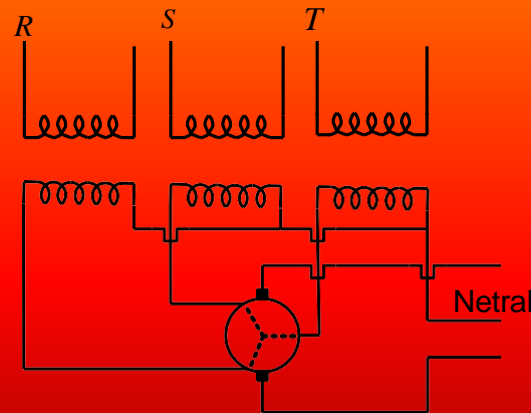
- Titik netral 0 dan 0' akan berada pada potensial-potensial yang sama bila terminal-terminal sekunder dihubungkan ke enam fasa yang sesuai
- Terminal-terminal titik netral bersama dapat disambungkan ke penghantar dari rangkaian arus searah 3 kawat
- Sisi primer dihubung secara delta dapat diubah menjadi way walaupun menimbulkan harmonik ketiga

- Tiga buah trafo dihasilkan suatu sistem enam fasa terminal-terminal sekunder ketiga trafo suatu belitan cincin seperti gambar 64a dan gambar 64c



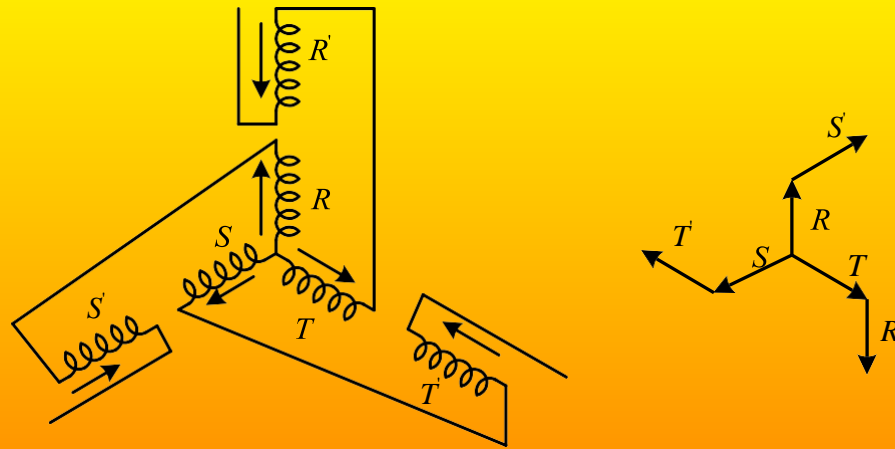
Gambar 64. Transformasi 3 fasa ke 6 hubungan diameteris

- Terminal r, s, t masing-masing berbeda fasa 120°



Gambar 65. Sistem tiga fasa dihubungkan konverter putar

- **Konverter puter digunakan untuk mencatu sistem arus searah tiga kawat dirancang pada sistem tiga fasa atau enam fasa.**
- **Untuk itu diperlukan tiga buah trafo yang bebelitan sekunder tunggal seperti gambar 65**
- **Dalam keadaan ketidak setimbangan arus searah pada kawat netral akan menjadi arus terbagi diantara ketiga belitan sekunder**
- **Akan tetapi setiap inti trafonya memperbesar fluks dan rugi-rugi serta kenaikan suhu trafo**
- **Untuk mencegahnya digunakan belitan tiga tap sedangkan belitan sekunder dibagi menjadi dua dan keenam bagian belitan sekunder saling diinterkoneksi seperti gambar 66**

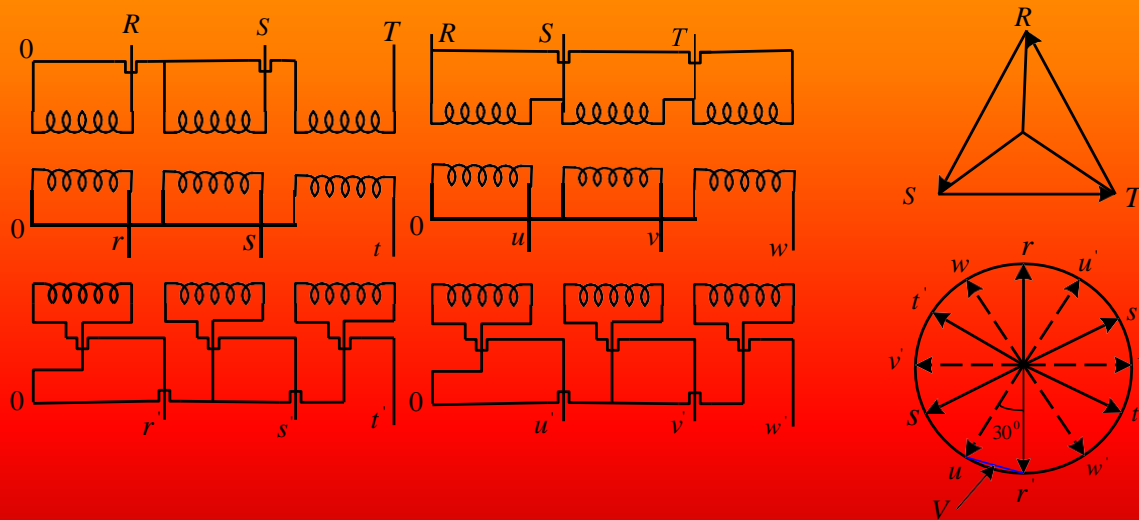


Gambar 66. Hubungan zigzag atau Yinterkoneksi

- Jika tegangan sekunder V_2 maka tegangan cabang Y akan sebesar sedangkan tegangan antar fasa sisi sekunder adalah $3V_2$

TRANSFORMASI 3 FASA MENJADI 12 FASA

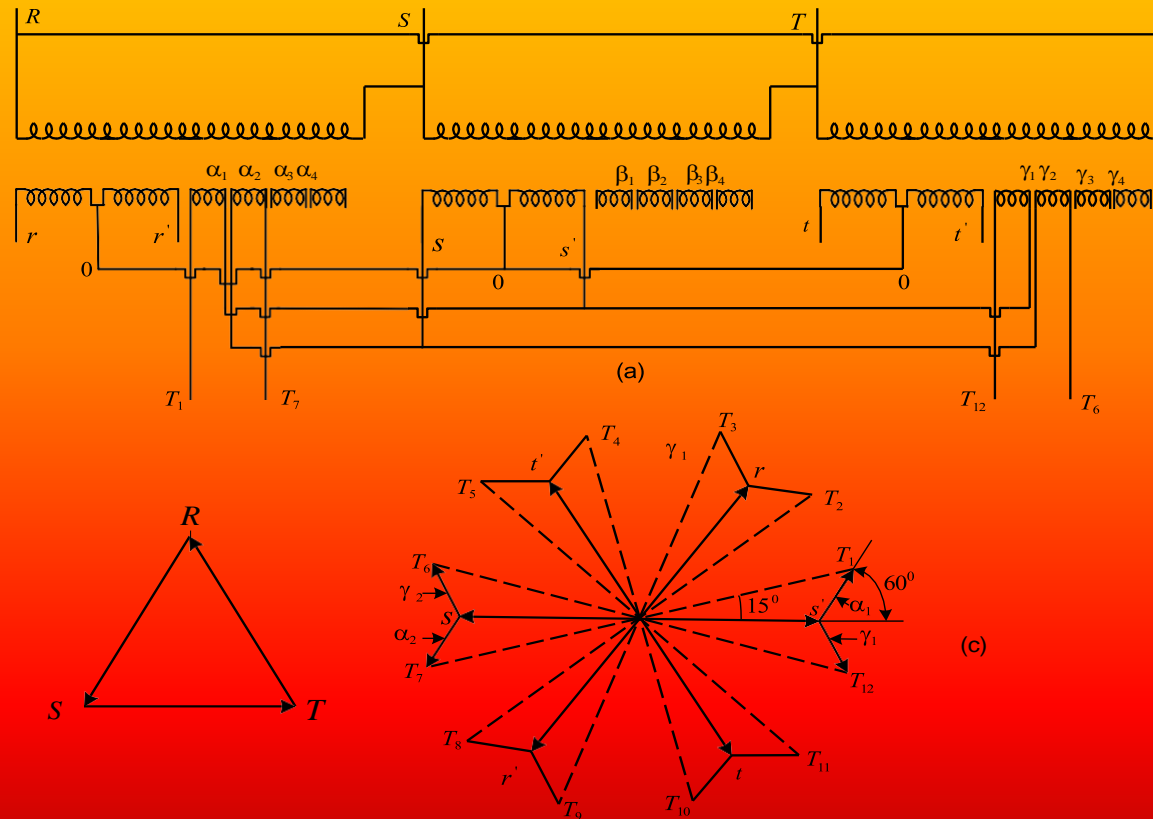
- Efisiensi pada suatu konversi (pengubah) tenaga dari arus bolak balik menjadi arus searah dengan menggunakan konverter sinkron
- Dalam pengubahahan dalam 12 fasa digunakan pada unit-unit yang kapasitasnya besar



Gambar 67. Transformasi 3 fasa ke 12 hubungan way-delta

- **Sistem pengubah tiga fasa menjadi 12 fasa terdapat tiga prinsip :**
 - 1. Pada gambar 67 menunjukkan dua kelompok yang masing-masing terdiri dari tiga buah trafo, setiap trafo memiliki dua buah belitan sekunder yang identik dan disambung ke beban dalam keadaan hubung Y ganda. Sisi primer dari salah satu kelompok dirangkai secara Y sedangkan kelompok yang lain delta.**
Pergeseran fasa tegangan sekunder antara kelompok yang satu dengan yang lain adalah 30° . Tegangan antar fasa pada ke 12 fasa sistem tersebut adalah V , maka tiap belitan sekunder dirancang pada tegangan $V/(2\sin 15^\circ)$ atau $1,931 V$. Jika tegangan primer V_1 belitan primer terhubung Y dirancang bekerja pada tegangan sedangkan belitan primer terhubung delta dirancang untuk bekerja pada tegangan V_1
 - 2. Pada gambar 68 Diperlukan tiga buah trafo tetapi masing-masing memiliki lima buah sekunder yang salah satunya (misal r_r') ditentukan sebagai sekunder utama dan keempat lainnya ($\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$) sebagai tearsear. Belitan-belitan primer dihubungkan delta dicatu sistem tiga fasa hubungan fasanya gambar 68b**

- Titik tengah ketiga belitan sekunder utama saling diinterkoneksi untu membentuk hubungan Y. Terlihat belitan s' dihubungkan ke belitan γ_1 dan α_1 tegangan antara OT_1 dan OT_2 akan berselisih fasa 30° .

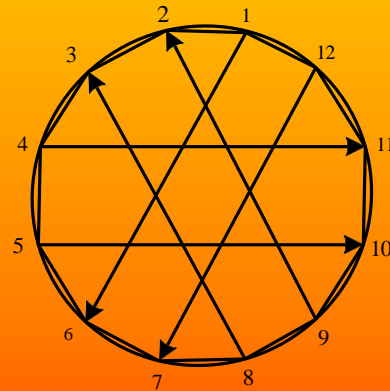
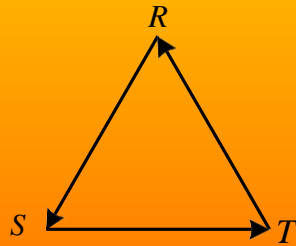
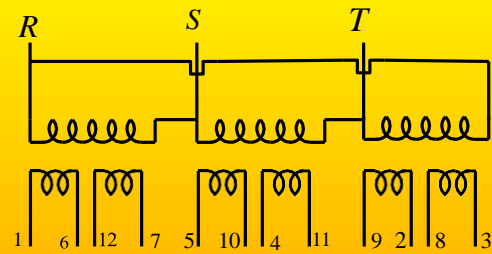


Gambar 68. Transformasi 3 fasa ke 12 hubungan way zig-zag

Sedangkan perbandingan tegangan teasear₁ dengan utama (kedua sisi sekunder) adalah $0,183$ atau $\frac{1}{2 + 2\sqrt{3}}$. Demikian

seterusnya untuk terminal-terminal lainnya sehingga akhirnya akan didapat sistem 12 fasa setiap fasa berselisih 30° . Jika tegangan netral ke fasa sistem 12 fasa adalah V , tegangan belitan utama sisi sekunder sebesar $1,634 V$ atau $2\sqrt{(2/3)}.V$, sedangkan tegangan pada setiap belitan teasiar adalah $\sqrt{2}/(\beta + \sqrt{3})V$ atau $0,299V$. Tegangan antar fasa pada sistem 12 fasa adalah $0,518 V$ atau $(\sqrt{2} - \sqrt{3})V$

3. Sistem hubungan khorda ganda (double chord) memerlukan sebuah trafo tiga fasa atau tiga buah trafo satu fasa dimana sekunderrnya dibagi dua sama besar seperti gambar 69 dengan menyambung terminal terminal akan diperoleh sistem 12 fasa, jika tegangan setiap setengah belitan sekunder adalah V_2 maka tegangan antar fasanya adalah $V_2 \tan 15^\circ$ atau $0,268 V_2$



Gambar 69. Sistem 3 fasa hubungan chor ganda (double chored)

