

BAB V II

PENGATUR TEGANGAN BOLAK-BALIK

(AC REGULATOR)

KOMPETENSI DASAR

Setelah mengikuti materi ini diharapkan mahasiswa memiliki kompetensi:

- Menguasai karakteristik ac regulator unidirectional dan bidirectional satu fasa dan tiga fasa
- Menguasai dasar prinsip kerja ac regulator unidirectional dan bidirectional satu fasa dan tiga fasa.
- Menguasai dasar prinsip kerja rangkaian cycloconverter satu fasa dan tiga fasa.

STANDAR KOMPETENSI

Mampu menganalisis rangkaian ac regulator unidirectional dan bidirectional satu fasa dan tiga fasa, serta rangkaian cycloconverter satu fasa dan tiga fasa.

A. PENDAHULUAN

Ada dua jenis rangkaian pengaturan tegangan tegangan bolak-balik jika ditinjau dari frekuensi luaran yang dihasilkan, yaitu: (a) rangkaian pengaturan tegangan bolak-balik dengan hasil luaran frekuensi yang tetap seperti sumbernya, dan (b) rangkaian pengaturan tegangan bolak-balik dengan hasil luaran frekuensi yang dapat diatur. Rangkaian pertama disebut pengatur tegangan bolak-balik (ac regulators), yakni suatu rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah sumber tegangan bolak-balik (AC) menjadi sumber tegangan AC yang dapat diatur luarnya dengan frekuensi tetap.

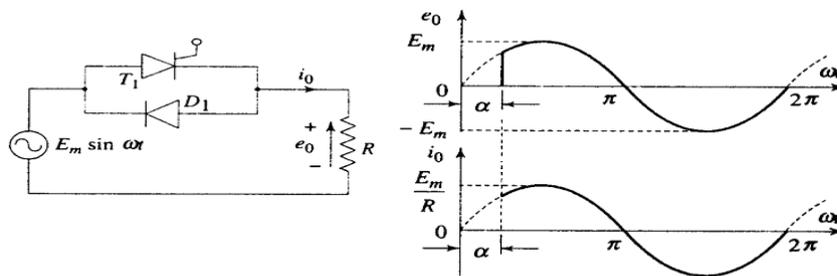
Rangkaian kedua disebut cycloconverter, yakni suatu rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah sumber tegangan bolak-balik (AC) menjadi sumber tegangan AC dengan frekuensi yang dapat diatur luarnya. Komponen semikonduktor daya yang digunakan umumnya berupa SCR yang beroperasi sebagai sakelar dan pengatur. Jenis sumber tegangan masukan untuk mencatu rangkaian, baik ac regulator maupun cycloconverter, dapat digunakan tegangan bolak-balik satu fasa maupun tiga fasa. Rangkaian ac regulator dapat

dilakukan dalam bentuk ac regulator setengah gelombang (unidirectional) dan ac regulator gelombang-penuh (bidirectional). Pembebanan pada rangkaian penyearah terkendali juga dipasang beban resistif atau beban resistif-induktif.

B. AC REGULATOR SATU-FASA

1. AC Regulator Unidirectional Satu-fasa

Gambar 5.1 merupakan rangkaian ac regulator unidirectional satu-fasa dengan beban resistif dan bentuk gelombang hasil pengaturan. Proses pengaturan tegangan dapat dijelaskan melalui Gambar 5.1, ketika setengah periode pertama, T1 dipicu sebesar α , maka T1 menjadi ON dari $\alpha - \pi$. Selanjutnya, saat setengah periode kedua, D1 selalu ON dari $\alpha - 2\pi$.



Gambar 5.1 Rangkaian AC Regulator Unidirectional Satu Fasa Beban R

$$e_s = E_m \sin \omega t = E_s \sqrt{2} \sin \omega t$$

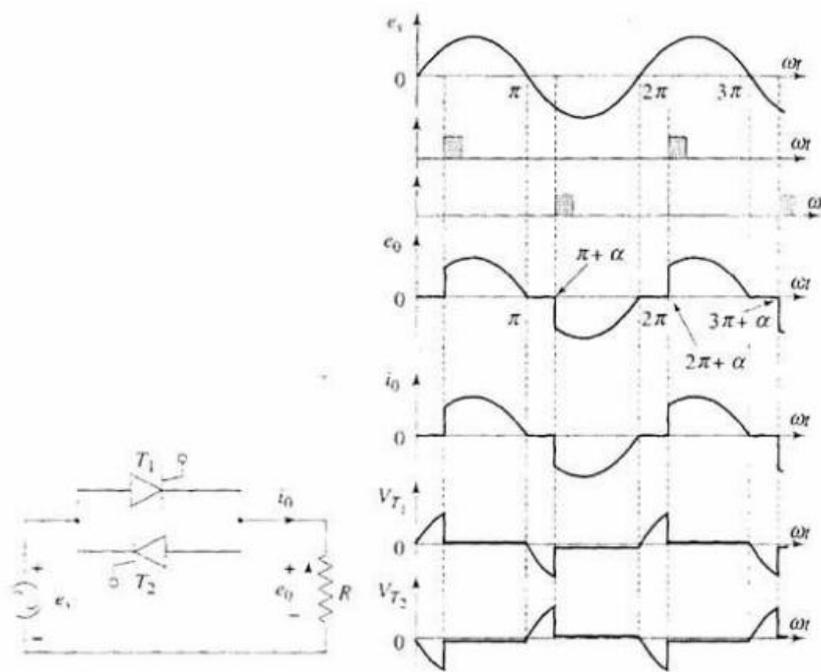
$$V_{ac} = \frac{E_m}{2\pi} (\cos \alpha - 1) \quad V_L = E_s \left[\frac{1}{2\pi} (2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}) \right]^{1/2} \quad (7.1)$$

Dari persamaan di atas dapat dinyatakan bahwa jika α diatur dari 0 sampai dengan π maka diperoleh hasil pengaturan VL dari E_s sampai dengan $E_s/\sqrt{2}$ dan hasil pengaturan Vac dari 0 sampai dengan $-E_m/\pi$. 2. AC Regulator Bidirectional Satu-fasa Gambar 5.2 merupakan rangkaian ac regulator bidirectional satu-fasa dengan beban resistif dan bentuk gelombang hasil pengaturan. Komponen SCR T1 bekerja pada setengah periode pertama (0 sampai dengan π), dan komponen SCR T2 bekerja pada setengah periode kedua (π sampai dengan 2π). Jika SCR T1 dan T2 masing-masing dipicu sebesar α , maka nilai tegangan bolak-balik efektif

(root mean square-rms), VL dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_L = E_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (7.2)$$

Dari persamaan di atas dapat dinyatakan bahwa jika α diatur dari 0 sampai dengan π maka diperoleh hasil pengaturan VL dari E_s sampai dengan nol.



Gambar 5.2 Rangkaian AC Regulator bidirectional Satu Fasa Beban R

C. AC REGULATOR TIGA-FASA

1. AC Regulator Unidirectional Tiga-fasa

Gambar 5.3 merupakan rangkaian ac regulator unidirectional tiga-fasa dengan beban resistif sambungan bintang (Y) dan bentuk gelombang hasil pengaturan. Proses pemicuan pada rangkaian ini terjadi ketika SCR T1 dan dioda D4, T3 dan dioda D6, serta SCR T5 dan dioda D2 masing-masing fasa dioperasikan secara serempak. Arus beban masing-masing fasa ditentukan oleh pengaturan picuan pada SCR T1, T3, dan T5, sedangkan dioda D2, D4, dan D6 digunakan untuk aliran balik arus. Jika V_s merupakan tegangan efektif dari sumber tegangan fasa masukan, maka tegangan fasa masukan sesaat dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_{AN} = V_s \sqrt{2} \sin \omega t \quad V_{BN} = V_s \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad V_{CN} = V_s \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \quad (7.3)$$

maka:

$$V_{AB} = V_s \sqrt{6} \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) \quad V_{BC} = V_s \sqrt{6} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad V_{CA} = V_s \sqrt{6} \sin(\omega t - \frac{7\pi}{6}) \quad (7.4)$$

Tegangan efektif luaran (V_L) yang dihasilkan diperoleh dari tiga pengaturan sudut picuan (α) berikut:

(a) Untuk: $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$, maka:

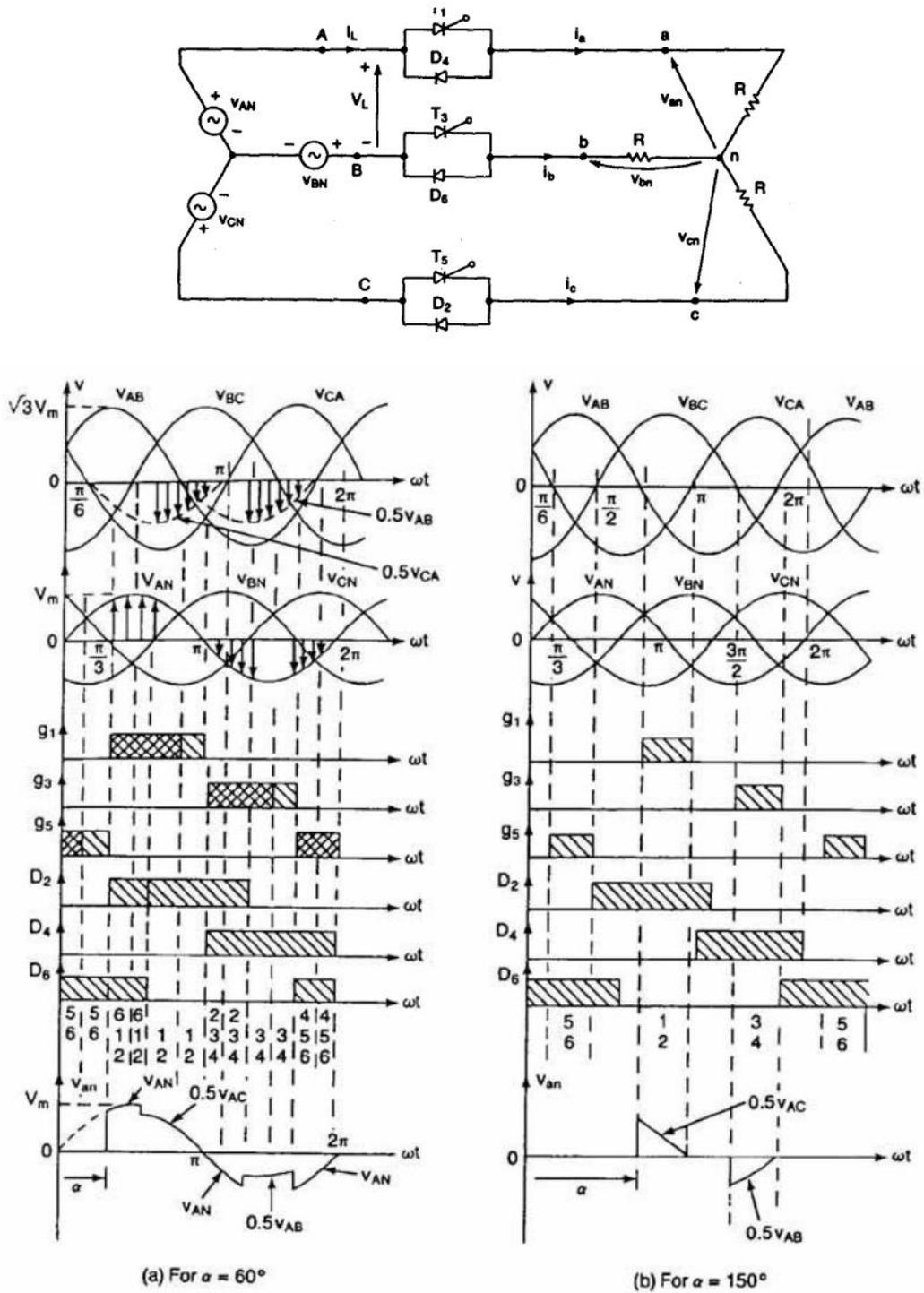
$$V_L = \sqrt{3}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8} \right) \right]^{1/2} \quad (7.5)$$

(b) Untuk : $90^\circ \leq \alpha < 120^\circ$, maka:

$$V_L = \sqrt{3}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{11\pi}{24} - \frac{\alpha}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (7.6)$$

(c) Untuk : $120^\circ \leq \alpha < 210^\circ$, maka:

$$V_L = \sqrt{3}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{7\pi}{24} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{16} - \frac{\sqrt{3} \cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{1/2} \quad (7.7)$$



Gambar 5.3 Rangkaian AC Regulator Unidirectional Tiga Fasa Beban R

2. AC Regulator Bidirectional Tiga-fasa

Gambar 5.4 merupakan rangkaian ac regulator bidirectional tiga-fasa dengan beban resistif sambungan bintang (Y) dan bentuk gelombang hasil pengaturan. Proses pemicuan pada rangkaian ini sama seperti pada pengaturan unidirectional tiga-fasa, bedanya terletak pada T2, T4, dan T6 yang difungsikan seperti dioda D2, D4, dan D6 untuk aliran balik arus pada pengaturan unidirectional tiga-fasa. Dengan demikian, pemicuan dilakukan pada SCR T1 dan dioda T4, T3 dan dioda T6, serta SCR T5 dan dioda T2 masing-masing fasa dioperasikan secara serempak. Jika V_s merupakan tegangan fasa masukan sesaat seperti pada rangkaian unidirectional tiga-fasa sambungan bintang, maka tegangan efektif luaran (V_L) yang dihasilkan diperoleh dari tiga pengaturan sudut pician (α) berikut: (a) Untuk: $0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$.

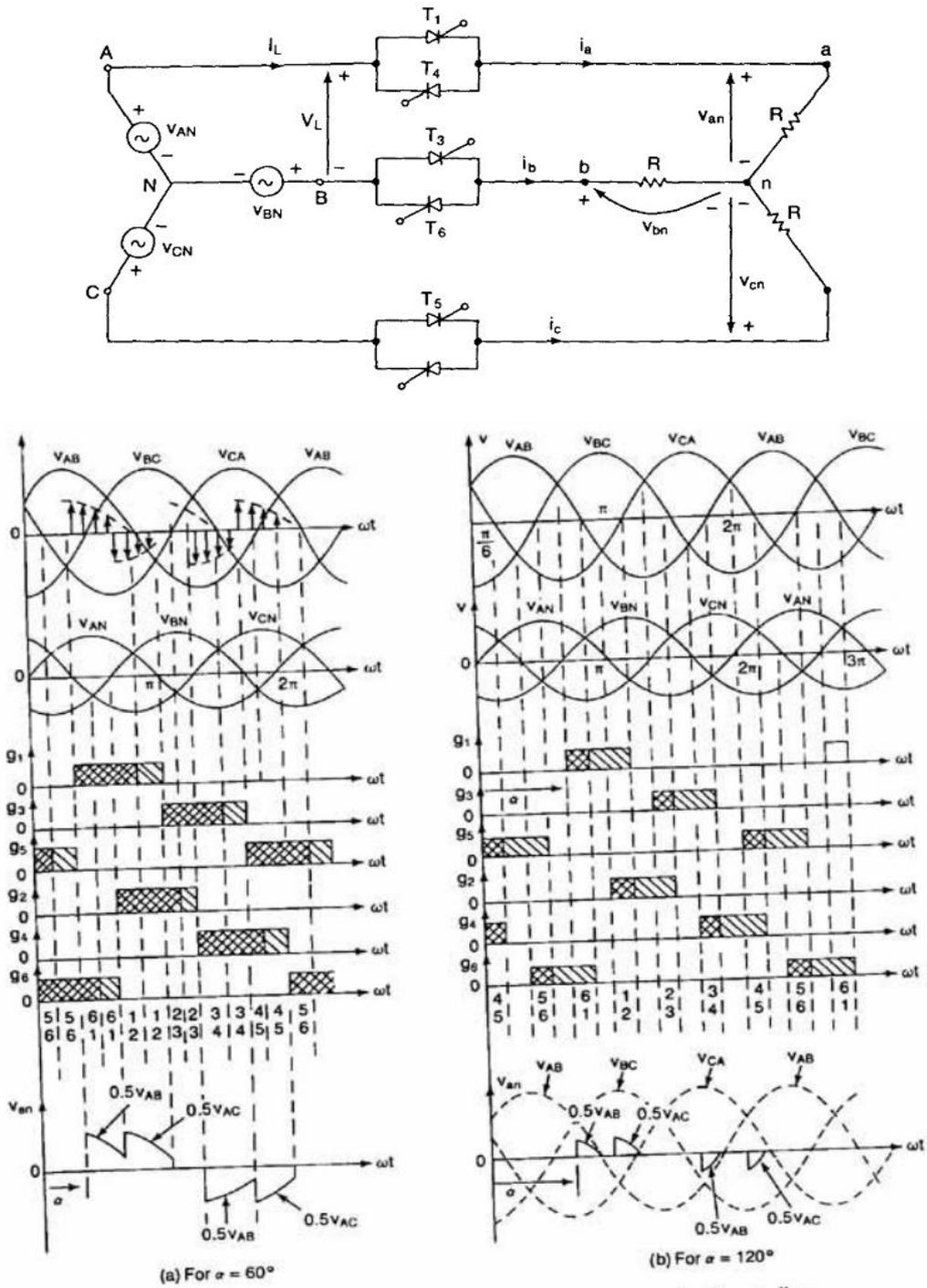
$$V_L = \sqrt{6}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8} \right) \right]^{1/2} \quad (7.8)$$

(b) Untuk: $60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$

$$V_L = \sqrt{6}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{12} + \frac{3 \sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3} \cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{1/2} \quad (7.9)$$

(c) Untuk: $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$

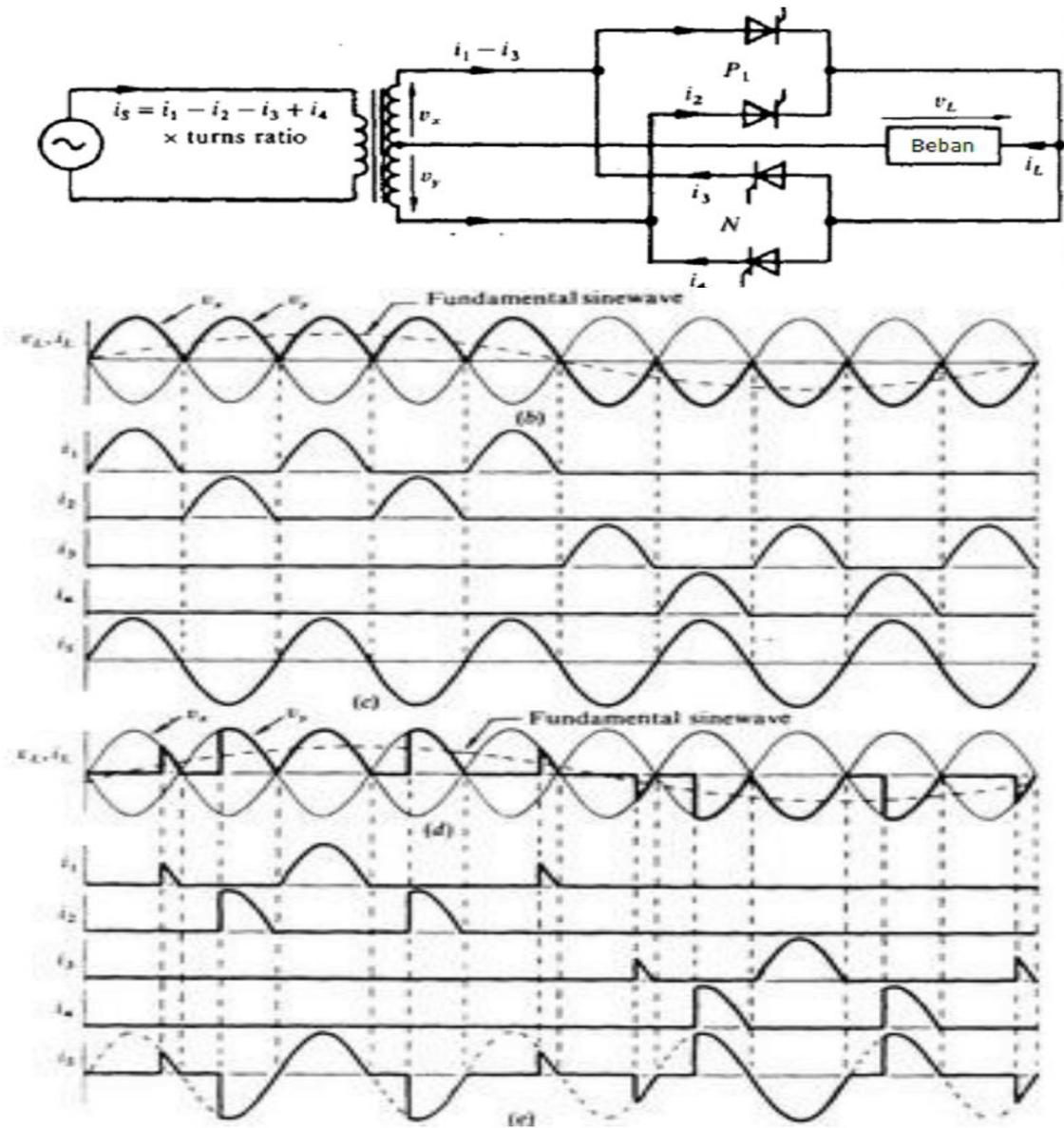
$$V_L = \sqrt{6}V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{5\pi}{24} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3} \cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{1/2} \quad (7.10)$$



Gambar 5.4 Rangkaian AC Regulator Unidirectional Tiga Fasa Sambungan Bintang Beban R

D. CYCLOCONVERTER SATU FASA

Cycloconverter satu fasa merupakan suatu rangkaian yang mengubah sumber tegangan masukan satu fasa dengan frekuensi tertentu menjadi tegangan luaran satu fasa dengan frekuensi lebih kecil dari frekuensi sumber masukan. Gambar 5.5 merupakan rangkaian dasar cycloconverter satu fasa dengan beban resistif dan bentuk gelombang hasil pengaturan.



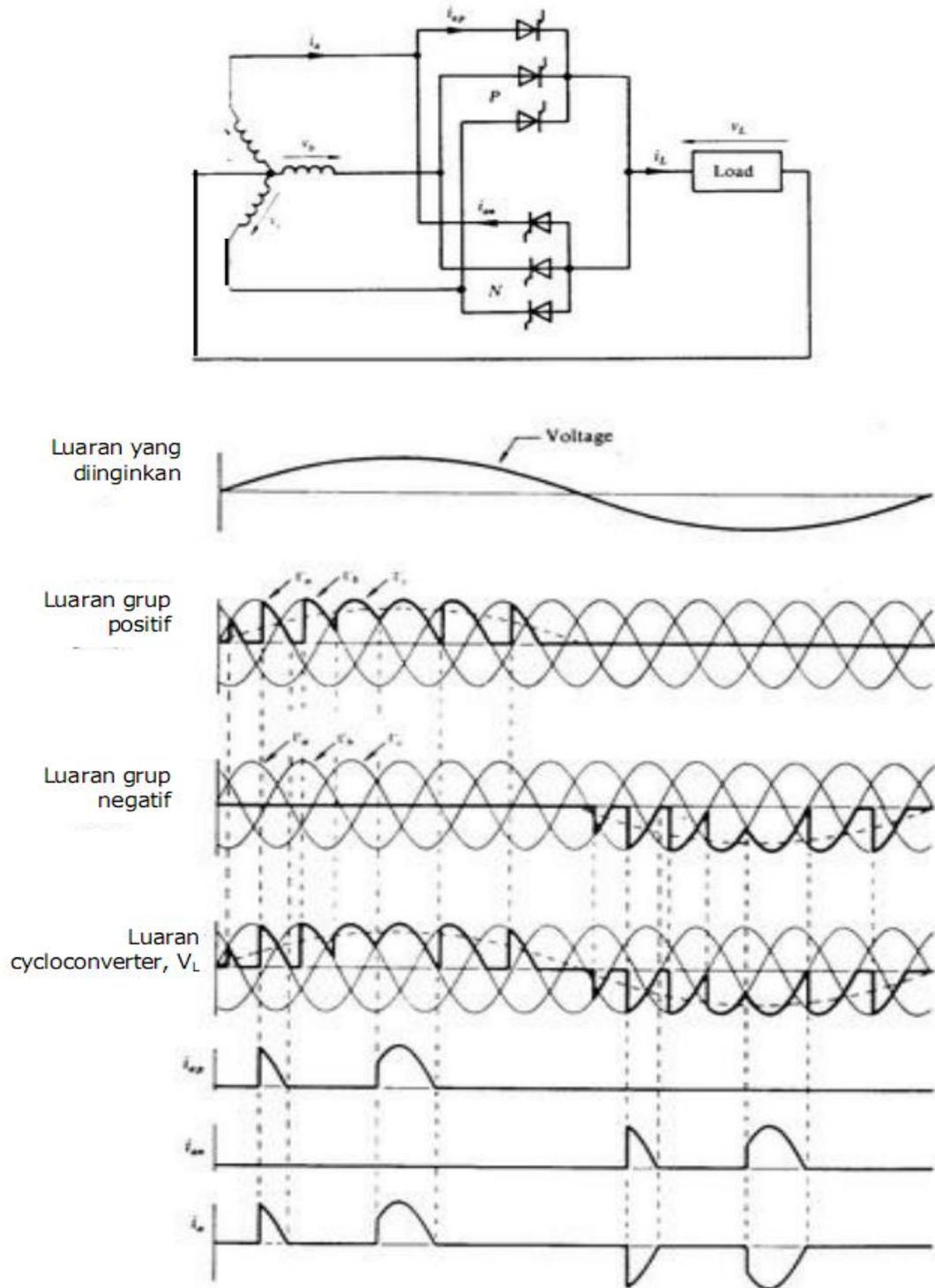
Gambar 5.5 Cycloconverter Satu Fasa

Untuk menghasilkan pengaturan frekuensi, dalam Gambar 5.5, terdapat dua grup konverter, yaitu: grup konverter P dan grup konverter N. Grup konverter P digunakan untuk menghasilkan setengah periode atau siklus pertama yang selalu positif, sedangkan grup konverter N digunakan untuk menghasilkan setengah periode atau siklus berikutnya yang selalu negatif. Pada Gambar 5.5 digunakan transformator dengan CT yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan V_x dan V_y seperti ditunjukkan pada Gambar 5.5 (b) di atas.

Jika Gambar 5.5 digunakan untuk menghasilkan frekuensi luaran seperlima dari frekuensi sumber, seperti Gambar 5.5 (b), maka grup konverter P harus dikonduksikan untuk lima setengah siklus untuk menghasilkan setengah siklus positif, dan grup konverter N dikonduksikan untuk lima setengah siklus berikutnya untuk menghasilkan setengah siklus negatif. Dengan demikian, urutan konduksi SCR pada grup konverter P untuk menghasilkan setengah siklus positif adalah T1, T2, T1, T2, T1 yang dipicu tanpa waktu tunda (delay), kemudian dilanjutkan urutan konduksi SCR pada grup konverter N untuk menghasilkan setengah siklus negatif, yaitu T3, T4, T3, T4, T3 dipicu tanpa waktu tunda (delay). Selanjutnya, jika masing-masing lima setengah siklus pada grup konverter P dan N dipicu dengan sudut picuan tertentu seperti pada Gambar 5.5 (d), maka dengan urutan proses kerja SCR seperti di atas akan dihasilkan tegangan dengan frekuensi seperlima lebih kecil dari sumbernya (ditunjukkan dengan garis putus-putus) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.5 (c).

E. CYCLOCONVERTER TIGA FASA MENJADI SATU FASA

Gambar 5.6 merupakan rangkaian cycloconverter yang mengubah sumber tegangan masukan tiga fasa dengan frekuensi tertentu menjadi tegangan luaran satu fasa dengan frekuensi lebih kecil dari frekuensi sumber masukan. Gambar 5.6 merupakan rangkaian dasar cycloconverter tiga fasa menjadi satu fasa dengan beban resistif dan bentuk gelombang hasil pengaturan.



Gambar 5.6 Cycloconverter Tiga Fasa menjadi Satu Fasa

Seperti halnya pada cycloconverter satu fasa di atas, dalam Gambar 5.6, terdapat dua grup konverter, yaitu: grup konverter P dan grup konverter N. Grup konverter P digunakan untuk menghasilkan setengah periode atau siklus pertama yang selalu positif, sedangkan grup konverter N digunakan untuk menghasilkan setengah periode atau siklus berikutnya yang selalu negatif. Pada Gambar 5.6, tegangan fasa pada masing-masing, yaitu: V_a , V_b , dan V_c , digunakan sebagai dasar pembentukan setengah siklus positif dan negatif dari tegangan luaran yang diinginkan. Jika tegangan luaran yang diinginkan seperti pada Gambar 5.6, maka grup konverter P harus dikonduksikan untuk enam setengah siklus (V_a , V_b , V_c dan V_a , V_b , V_c positif) untuk menghasilkan setengah siklus positif, dan grup konverter N dikonduksikan untuk enam setengah siklus berikutnya (V_c , V_b , V_a dan V_c , V_b , V_a negatif) untuk menghasilkan setengah siklus negatif.

F. PERTANYAAN

1. AC Regulator Satu-fasa

- a. Jelaskan proses pengaturan tegangan AC pada rangkaian AC regulator unidirectional satu fasa !
- b. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan pada SCR pada rangkaian AC regulator unidirectional satu fasa !
- c. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan pada dioda pada rangkaian AC regulator unidirectional satu fasa !
- d. Jelaskan proses pengaturan tegangan AC pada rangkaian AC regulator bidirectional satu fasa !
- e. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan pada salah satu SCR pada rangkaian AC regulator bidirectional satu fasa !

2. AC Regulator Tiga-fasa

- a. Jelaskan proses pengaturan tegangan AC pada rangkaian AC regulator unidirectional tiga fasa sambungan bintang!
- b. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan pada SCR pada rangkaian AC regulator unidirectional tiga fasa sambungan bintang!

- c. Jelaskan proses pengaturan tegangan AC pada rangkaian AC regulator bidirectional tiga fasa sambungan bintang!
- d. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan
 - a. pada salah satu SCR pada rangkaian AC regulator bidirectional tiga
 - b. fasa sambungan bintang!

3. Cycloconverter

- a. Gambarkan rangkaian dasar cycloconverter satu fasa ? Jelaskan fungsi kelompok konverter positif dan negatif !
- b. Jika sumber tegangan masukan dengan frekuensi 50 Hz pada cycloconverter satu fasa, jelaskan urutan kerja SCR agar menghasilkan frekuensi 12,5 Hz dan gambarkan bentuk tegangan masukan dan tegangan luarannya !

4. Soal Essay

- a. Suatu rangkaian ac regulator unidirectional dengan sumber masukan 230 V, 50 Hz dihubungkan dengan beban resistif 6Ω . Jika sudut pemicuan pada SCR sebesar 90° , hitunglah tegangan luaran efektif, faktor daya, dan arus rerata masukan. (Kunci jawaban: 199,19V; 0,866 lag; -8,62A)
- b. Suatu rangkaian ac regulator bidirectional dengan sumber masukan 120 V, 60 Hz dihubungkan dengan beban resistif 10Ω . Jika sudut pemicuan pada SCR1 dan SCR2 sebesar 90° , hitunglah tegangan luar efektif, faktor daya, dan arus rerata dan efektif pada SCR. (Kunci jawaban: 84,85V; 0,707 lag; 2,7A dan 6A).
- c. Sebuah rangkaian AC regulator unidirectional 3 fasa dihubungkan dengan resistif sebesar 10 ohm yang dihubungkan bintang. Jika tegangan masukan antar line sebesar 208 V, 50 Hz dan diatur dengan sudut pemicuan 60° tentukan: (1) tegangan luaran per fasa, dan (2) faktor daya. (Kunci jawaban: 110,86V; 0,924 lag)