

BAB II

PENYEARAH DAYA

KOMPETENSI DASAR

Setelah mengikuti materi ini diharapkan mahasiswa memiliki kompetensi:

- Menguasai karakteristik penyearah setengah-gelombang dan
- gelombang-penuh satu fasa dan tiga fasa
- Menguasai dasar prinsip kerja penyearah setengah-gelombang dan
- gelombang-penuh satu fasa dan tiga fasa

STANDAR KOMPETENSI

Mampu menganalisis rangkaian penyearah setengah-gelombang dan gelombang-penuh satu fasa dan tiga fasa

A. PENDAHULUAN

Penyearah daya merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan sumber masukan arus bolak-balik dalam bentuk sinusoida menjadi tegangan luaran dalam bentuk tegangan searah yang tetap. Jenis sumber tegangan masukan untuk mencatu rangkaian penyearah daya dapat digunakan tegangan bolak-balik satu fasa dan tiga fasa. Penyearah satu fasa merupakan rangkaian penyearah daya dengan sumber masukan tegangan bolak-balik satu fasa, sedangkan penyearah tiga fasa rangkaian penyearah daya dengan sumber masukan tegangan bolak-balik tiga fasa. Rangkaian penyearahan dapat dilakukan dalam bentuk penyearah setengah gelombang (halfwave) dan penyearah gelombang-penuh (fullwave). Pembebanan pada rangkaian penyearah daya umumnya dipasang beban resistif atau beban resistif-induktif. Efek dari pembebanan ini akan mempengaruhi kualitas tegangan luaran yang dihasilkan dari rangkaian penyearah.

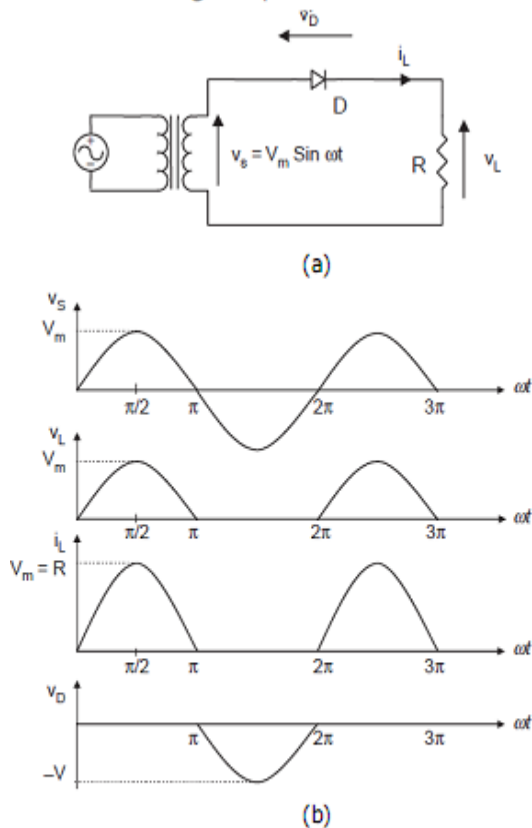
PENYEARAH SATU-FASA

1. PENYEARAH SETENGAH-GELOMBANG SATU-FASA

a. Beban Resistif (R)

Gambar 2.1 (a) merupakan rangkaian penyearah setengah-gelombang satu-fasa dengan beban resistif, sedangkan Gambar 2.1 (b) menunjukkan bentuk gelombang hasil penyearahan. Proses penyearahan dapat dijelaskan melalui Gambar 2.1 (a) dan (b), pada setengah siklus pertama dengan polaritas positif, dioda pada rangkaian penyearah akan ON karena polaritas tegangan pada anoda lebih positif dibandingkan pada katoda. Pada proses ini menghasilkan tegangan luaran (V_L) sebesar tegangan setengah periode pertama (V_m). Selanjutnya, pada setengah siklus kedua dengan polaritas negatif, dioda pada rangkaian penyearah akan OFF karena polaritas tegangan pada anoda lebih negatif dibandingkan pada katoda.

dibandingkan pada katoda.



Gambar 2.1 Penyearah Setengah-Gelombang Satu-fasa Beban R

Pada proses ini menghasilkan tegangan luaran sama dengan nol. Proses ON dan OFF dioda ini berlangsung secara cepat berdasarkan frekuensi tegangan sumber masukan. Di sini, dioda berfungsi sebagai sakelar sekaligus melakukan pengubahan (converting) dari sumber bolak-balik menjadi tegangan searah. Ditinjau dari tegangan luaran (V_L) yang dihasilkan, terdapat dua jenis komponen tegangan, yaitu: (1) tegangan searah rerata (V_{dc}) dan tegangan searah efektif (root mean square-rms), V_L . Nilai tegangan luaran masing-masing adalah:

Tegangan masukan (input), V_s . $V_s = V_m \sin \omega t = V_{MAX} \sin \omega t$

Tegangan luaran (output) rerata, V_{dc} dan arus luaran rerata, I_{dc} :

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_m \quad I_{dc} = \frac{0.318 V_m}{R}$$

Tegangan luaran (output) efektif, V_L dan Arus luaran efektif, I_L :

$$V_L = \frac{V_m}{2} = 0.5 V_m \quad I_L = \frac{0.5 V_m}{R}$$

Dengan demikian, daya luaran rerata (P_{dc}) dan daya luaran efektif (P_L) adalah seperti persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 berturut-turut.

$$P_{dc} = V_{dc} \times I_{dc} \quad (2.1)$$

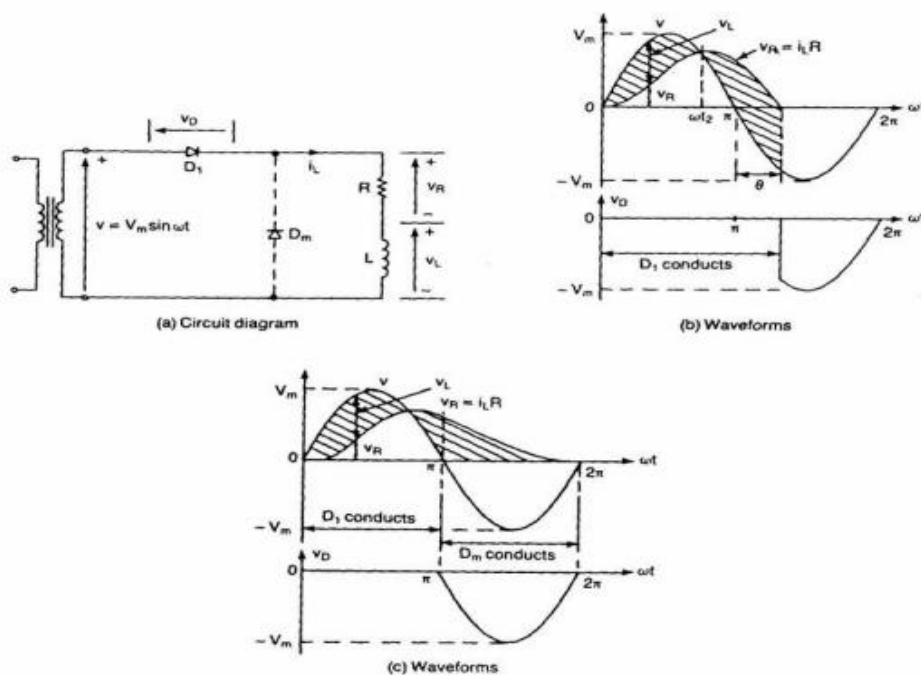
$$P_L = V_L \times I_L \quad (2.2)$$

Jika arus efektif sumber masukan (I_s) sama dengan arus efektif luaran (I_L), maka faktor daya penyearahan yang diakibatkan proses penyearah ini sebesar:

$$\cos \varphi = \frac{V_L I_L}{V_s I_L} \quad (2.3)$$

b. Beban Resistif-Induktif (RL)

Gambar 2.2 (a) merupakan rangkaian penyearah setengah gelombang satu-fasa dengan beban resistif-induktif (RL), sedangkan Gambar 2.2 (b) dan (c) menunjukkan bentuk gelombang hasil penyearahan. Proses penyearahan dapat dijelaskan melalui Gambar 2.2 (a), (b) dan (c), pada setengah siklus pertama dengan polaritas positif, dioda pada rangkaian penyearah akan ON karena polaritas tegangan pada anoda lebih positif dibandingkan pada katoda. Tetapi, karena pengaruh tegangan yang tersimpan pada induktor (L) maka dioda terus ON sampai waktu tertentu (β). Akibatnya, waktu konduksi dioda menjadi lebih lama ($\pi + \theta$). Selanjutnya, pada setengah siklus kedua dengan polaritas negatif yang dimulai dari π , dioda pada rangkaian penyearah akan OFF karena polaritas tegangan pada anoda lebih negatif dibandingkan pada katoda. Pada proses ini menghasilkan tegangan luaran sama dengan nol.



Gambar 2.2 Penyearah Setengah-Gelombang Satu Fasa dengan Beban RL

Nilai komponen tegangan luaran (V_{dc}) dan arus searah (dc) ditentukan sebagai berikut:

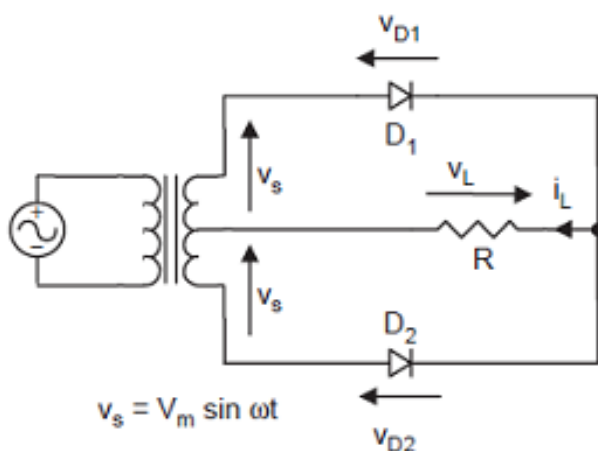
$$V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} [1 - \cos(\pi + \theta)] = \frac{V_m}{2\pi} (1 - \cos \beta)$$

dimana : $\theta = (\beta - \pi)$, dan $\theta \approx \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$ (2.4)

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa sudut konduksi diode (δ) melebihi π sampai titik pemadaman (β). Tegangan luaran, V_o , dapat mencapai maksimum jika $\theta = 0$. Keadaan ini dapat dilakukan dengan cara menambah diode komutasi (freewheeling diode) yang dipasang paralel dengan beban RL, sehingga nilai tegangan luaran seperti penyearah setengah-gelombang satu fasa beban R.

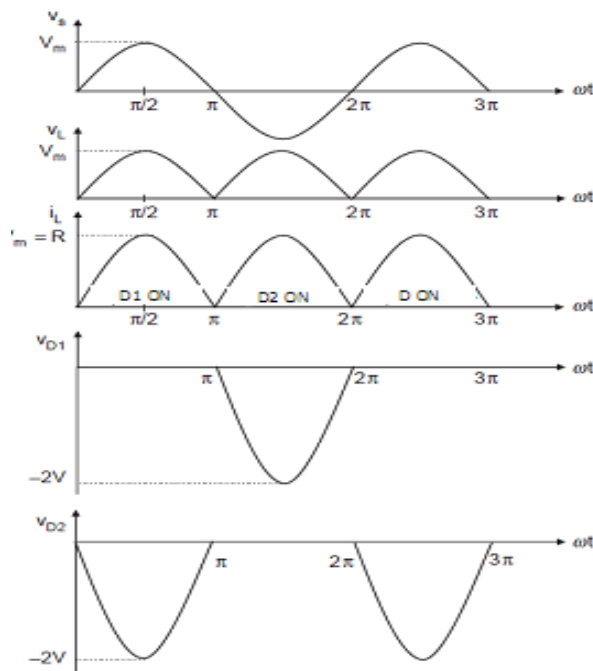
2. PENYEARAH GELOMBANG-PENUH SATU-FASA

Ada 2 (dua) jenis rangkaian penyearah gelombang penuh satu-fasa, yaitu: penyearah titik tengah (center tap - CT) dan penyearah jembatan. Gambar 2.3 (a) merupakan rangkaian penyearah CT dan Gambar 2.4 (b) rangkaian penyearah jembatan. Gambar 2.3 (a) merupakan rangkaian penyearah gelombang-penuh satu fasa CT dengan beban R. Pada sisi sekunder trafo, polaritas positif terjadi pada setengah periode pertama dan kedua, sehingga dioda D_1 akan ON saat setengah periode pertama sedangkan dioda D_2 akan OFF. Sebaliknya, pada setengah periode kedua dioda D_2 akan ON sedangkan dioda D_1 akan OFF. Tegangan luaran searah dihasilkan ketika dioda D_1 dan D_2 ON yang memiliki nilai tegangan searah rerata (V_{dc}) dan tegangan efektif (V_L). Tetapi, ketika dioda D_1 dan D_2 OFF, nilai tegangan pada dioda D_1 dan D_2 sebesar $-2 V_m$. Gambar 2.3 (b) merupakan rangkaian penyearah gelombang-penuh satu fasa jembatan dengan beban R. Jumlah dioda dalam rangkaian penyearah ini sebanyak empat buah, yaitu: D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4 . Pada setengah siklus pertama



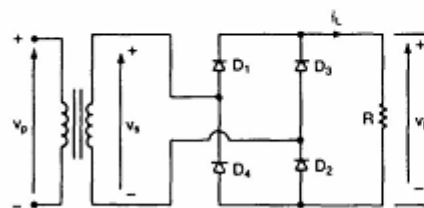
dengan polaritas positif, dioda D_1 dan D_2 pada rangkaian penyearah akan ON sedangkan dioda D_3 dan D_4 dalam kondisi OFF.

Selanjutnya, pada setengah siklus kedua dengan polaritas negatif, dioda D_3 dan D_4 pada rangkaian penyearah akan ON, sedangkan D_1 dan D_2 dalam kondisi OFF. Tegangan luaran searah dihasilkan ketika diode D_1 dan D_2 , serta D_3 dan D_4 dalam

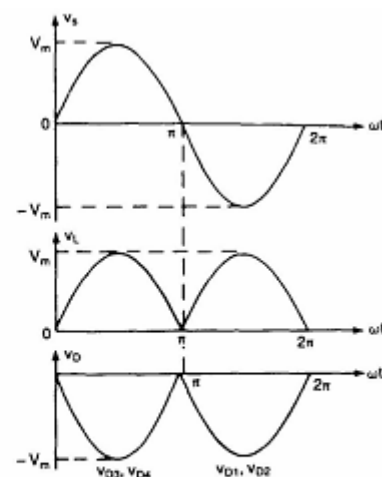


Gambar 2.3 (a)
Penyearah Gelombang-penuh
Satu Fasa dengan CT

kondisi ON yang memiliki nilai tegangan searah rerata dan efektif. Tetapi ketika diode D1 dan D2, serta D3 dan D4 dalam kondisi OFF, nilai tegangan pada dioda D1 dan D2 sebesar $-V_m$. Jadi, perbedaan mencolok dari kedua jenis penyearah ini adalah nilai tegangan pada diode (V_d) saat kondisi “OFF”, yaitu: sebesar $-2V_m$ untuk penyearah CT dan sebesar $-V_m$ untuk penyearah jembatan.



Gambar 2.3 (b) Penyearah Gelombang-penuh
Satu Fasa Jembatan



Dengan bentuk gelombang hasil penyerahan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 (a) dan (b) dapat ditentukan nilai tegangan luaran rerata (V_{dc}) dan arus rerata (I_{dc}) yang mengalir sebagai berikut:

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = 0,637V_m \quad (2.5)$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} \quad 2.6$$

Selanjutnya, nilai tegangan luaran efektif (V_L) dan arus efektif (I_L) yang mengalir adalah:

$$V_L = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707V_m \quad 2.7$$

$$I_L = \frac{V_L}{R} \quad 2.8$$

Jadi, daya luaran rerata (P_{dc}) dan daya luaran efektif (P_L) adalah:

$$P_{dc} = V_{dc} I_{dc} \quad 2.9$$

$$P_L = V_L I_L \quad 2.10$$

Faktor daya penyearahan ($\cos \varphi$) rangkaian ditentukan dengan persamaan:

$$\cos \varphi = \frac{P_L}{S} = \frac{P_L}{V_s \cdot I_L} \quad 2.11$$

Jika rangkaian pada Gambar 2.3 (a) dan (b) dihubungkan dengan beban resistif-induktif (RL), maka nilai tegangan luaran (V_L) ditentukan berdasarkan deret Fourier yang terdiri dari komponen tegangan searah (dc) dan tegangan harmonik genap, yaitu :

$$V_L = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} \quad (2.12)$$

$$V_L(t) = V_{a,DC} + \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (2.13)$$

dimana : $V_{a,DC} = \frac{2V_m}{\pi}$

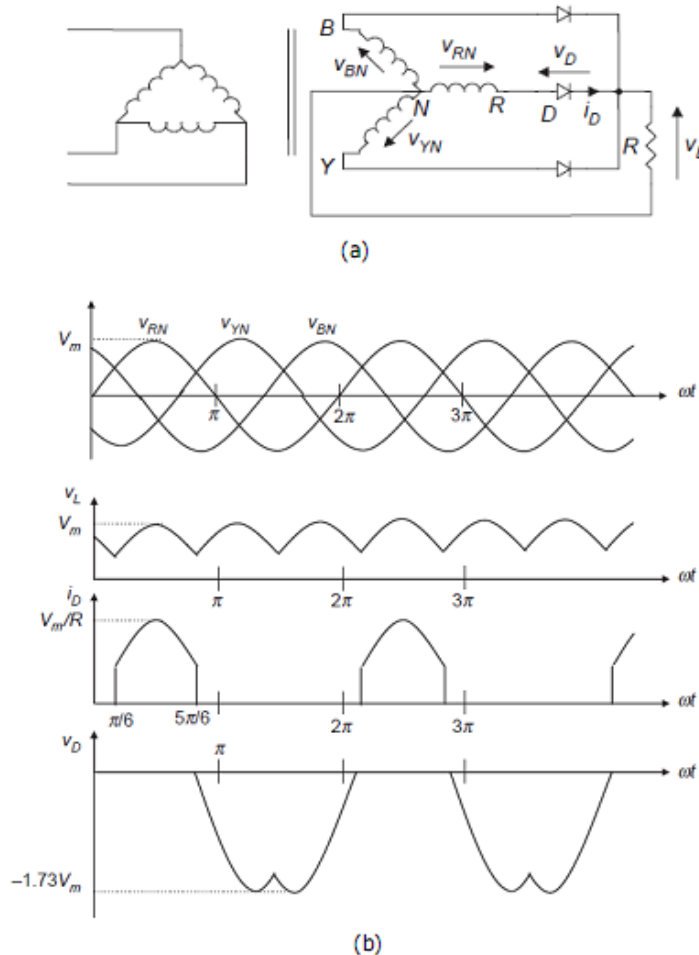
$$a_n = 0$$

$$b_n = V_n = \frac{4V_m}{\pi} \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} \frac{-1}{(n-1)(n+1)} \quad ; n \text{ adalah harmonik genap ke-} n$$

C. PENYEARAH TIGA-FASA

1. PENYEARAH SETENGAH-GELOMBANG TIGA-FASA

Gambar 2.4 (a) merupakan rangkaian penyearah setengah-gelombang tiga-fasa hubungan bintang dengan beban resistif (R), sedangkan Gambar 2.4 (b) merupakan bentuk gelombang hasil penyearahan. Gambar 2.4 (b) dapat dilihat perbedaan antar fasa V_R , V_Y dan V_B masing-masing sebesar $2\pi/3$ (atau 120°). Diode pada setiap fasa akan konduksi (ON) selama periode tegangan pada fasa tersebut lebih tinggi daripada dua fasa yang lainnya. Proses penyearahan dari rangkaian penyearah setengah-gelombang tiga-fasa ini dapat ditinjau dari salah satu fasa dari Gambar 2.4 (b), yaitu: fasa R selama periode $0 - \pi$. Selama periode $0 - \pi$ ini, dioda D pada fasa B lebih dahulu ON pada periode $0 - \pi/6$, kemudian dioda D pada fasa R menjadi ON pada periode $\pi/6 - 5\pi/6$, dilanjutkan dioda D pada fasa Y menjadi ON pada periode $5\pi/6 - \pi$, dan terulang kembali dioda pada fasa R menjadi ON dan seterusnya.



Gambar 2.4 Penyearah Setengah-gelombang Tiga-fasa

Dengan bentuk gelombang hasil penyearahan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 (b) dapat ditentukan nilai tegangan luaran rerata (V_{dc}), tegangan efektif (V_L), dan arus efektif (I_s) per fasa yang mengalir sebagai berikut:

$$V_{dc} = V_m \frac{3}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.827 V_m \quad V_L = V_m \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.84 V_m$$

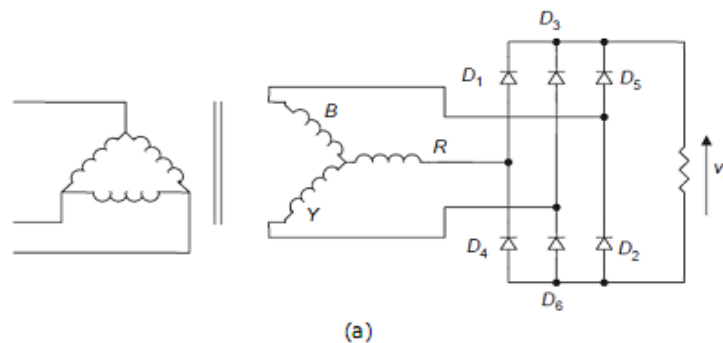
$$I_s = I_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.485 I_m \quad \text{dimana: } I_m = V_m / R$$

Jika beban R pada rangkaian Gambar 2.4 (a) diganti beban RL , maka seperti halnya pada penyearah satu fasa beban RL , harmonik genap juga terjadi pada penyearah tiga fasa beban RL , dimana nilai tegangan harmonik genap ke- n dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_n = \frac{6V_m}{\pi(n^2 - 1)}$$

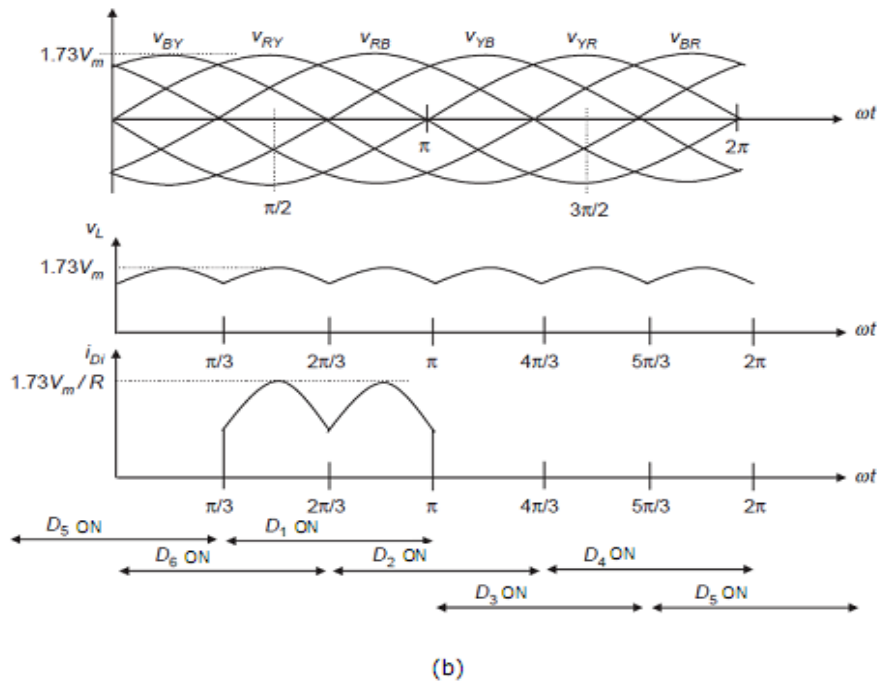
2. PENYEARAH GELOMBANG-PENUH TIGA-FASA

Gambar 2.5 (a) merupakan rangkaian penyearah gelombang-penuh tiga-fasa hubungan jembatan dengan beban resistif (R), sedangkan Gambar 2.5 (b) merupakan bentuk gelombang hasil penyearahan. Untuk memudahkan penjelasan proses penyearahan, dioda pada setiap fasa diberi nomor sebagai berikut: fasa R terdiri dari dioda D_1 dan D_4 , fasa Y terdiri dari dioda D_3 dan D_6 , dan fasa B terdiri dari dioda D_5 dan D_2 . Sudut konduksi setiap dioda sebesar $2\pi/3$, sehingga urutan kerja dioda adalah 12, 23, 34, 45, 56, dan 61.



(a)

Gambar 2.5 (a)



Gambar 2.5 Penyearah Gelombang-penuh Tiga-fasa
Hubungan Jembatan

Dengan bentuk gelombang hasil penyearahan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 (b) dapat ditentukan nilai tegangan luaran rerata (V_{dc}), tegangan efektif (V_L), dan arus efektif (I_s) per fasa yang mengalir sebagai berikut:

$$V_{dc} = V_m \frac{3\sqrt{3}}{\pi} = 1.654 V_m \quad (2.14) \quad V_L = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} = 1.655 V_m \quad (2.15)$$

$$I_s = I_m \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.78 I_m \quad (2.16) \quad I_D = I_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.552 I_m \quad (2.17)$$

dimana : $I_m = 1.73V_m/R$

Jika beban R pada rangkaian Gambar 2.5 (a) diganti beban RL, maka seperti halnya pada penyearah setengah-gelombang tiga-fasa beban RL, harmonik genap juga terjadi pada penyearah tiga fasa beban RL, dimana nilai tegangan harmonik genap ke-n dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_n = \frac{6V_{m, line}}{\pi(n^2 - 1)} \quad (2.18)$$

; dimana n adalah harmonik ke 6, 12, 18, dan seterusnya.

D. PERTANYAAN**1. Penyearah Satu-fasa**

- a. Jelaskan proses penyearahan pada rangkaian penyearah setengah-gelombang satu fasa!
- b. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan pada dioda saat OFF pada rangkaian penyearah setengah-gelombang satu fasa!
- c. Jelaskan proses penyearahan pada rangkaian penyearah gelombang-penuh jembatan (bridge) satu fasa!
- d. Jelaskan proses penyearahan pada rangkaian penyearah gelombang-penuh CT satu fasa!
- e. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan pada dioda saat OFF pada rangkaian penyearah gelombang-penuh CT satu fasa!
- f. Berapakah nilai tegangan pada salah satu diode dari suatu rangkaian penyearah gelombang-penuh CT satu fasa ketika diode OFF?

2. Penyearah Tiga-fasa

- a. Jelaskan proses penyearahan pada rangkaian penyearah setengah-gelombang tiga fasa!
- b. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan pada salah satu dioda saat OFF pada rangkaian penyearah setengah-gelombang tiga fasa!
- c. Jelaskan proses penyearahan pada rangkaian penyearah gelombang-penuh tiga fasa!
- d. Gambarkan bentuk gelombang tegangan masukan dan tegangan pada dioda saat OFF pada rangkaian penyearah gelombang-penuh tiga fasa!

3. Soal Essay

a. Sebuah rangkaian penyearah setengah-gelombang satu fasa dihubungkan dengan tegangan efektif sebesar 120 volt, 50 Hz. Jika rangkaian penyearah ini dihubungkan dengan resistor sebesar 5Ω , hitunglah arus beban rerata (I_{dc}) dan daya efektif (P_L) yang diserap resistor, serta faktor daya rangkaian penyearah ini. *(Kunci jawaban: $I_{dc}=10,8 \text{ A}$, $P_L=1440 \text{ W}$, $\cos \varphi=0,707$).*

b. Sebuah rangkaian penyearah gelombang-penuh satu fasa dihubungkan dengan beban RL. Jika rangkaian dalam penyearah ini terjadi harmonik kedua, berapakah nilai tegangan luarannya (V_o) ?

(Kunci jawaban:
$$V_o = \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi}$$

c. Sebuah rangkaian penyearah setengah-gelombang tiga fasa dihubungkan dengan tegangan sebesar 150 volt/fasa. Tentukan: (1) tegangan luaran dari penyearah ini jika tiap dioda terjadi penurunan tegangan sebesar 0,7 volt, dan (2) rating arus (I_L) dari dioda jika diketahui arus bebannya 25 A. *(Kunci jawaban: $V_{o,DC}=174,7 \text{ V}$, $I_{rms}=14,4 \text{ A}$)*

d. Sebuah rangkaian penyearah gelombang-penuh tiga fasa dihubungkan dengan sumber tegangan sebesar 480 volt/line dan dihubungkan dengan beban resistif 25Ω . Tentukan besar tegangan dan arus beban dari penyearah ini. *(Kunci jawaban: $V_{o,DC}=648 \text{ V}$, $I_{o,DC}=25,9 \text{ A}$)*