

PENGGUNAAN KONVERTER SATU FASA KE TIGA FASA DENGAN BENTUK ARUS INPUT YANG AKTIF UNTUK MENJALANKAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA

TUGAS AKHIR

Oleh :

**PRAMONO
Stb. 98.812.0010**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2005**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 11/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)11/12/23

RINGKASAN

Pada kondisi tertentu adakalanya sistim tenaga listrik hanya tersedia sistim satu fasa, sementara ada beban yang membutuhkan suplai tiga fasa. Untuk mengatasi kesulitan ini diperlukan suatu peralatan yang dapat mengatasi kesulitan melayani beban tiga fasa ini. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini dengan menggunakan konverter satu fasa yang menggunakan teknik elektronik daya. Konverter yang dibahas ini merupakan kombinasi dari dua konverter yakni konverter AC ke DC (rectifier) dan konverter DC ke AC (inverter) dimana konverter ini menggunakan enam buah switch peralatan semi konduktor daya jenis IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor). Penyearah dari konverter ini memiliki kemampuan untuk menghilangkan orde harmonisa arus input yang rendah. Sedangkan pada bagian konverter DC ke AC (inverter tiga fasa) memiliki kemampuan untuk menghasilkan output tegangan dan frekuensi variabel. Untuk lebih memaksimalkan kinerja dari konverter satu fasa ke tiga fasa ini maka akan dilakukan pemilihan nilai konduktor, kapasitor serta frekuensi switching dari konverter.

ABSTRACT

At some stage sometimes system of electric power is only made available by system one fasa, whereas there is burden requiring triphase supply. To overcome this difficulty is needed by an equipments which can overcome the difficulty serve the this triphase burden. One of way of for the mangatasi of this problem by using converter one fasa using technique of energy electronic. Converter studied by represent the combination from two converter namely converter AC (rectifier and converter DC to AC Inverter of where this converter use six semi full switch equipments of conductor of specific power IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor). Penyearah from this converter own the ability to eliminate the order of low harmonisa input current. While at shares of converter DC to AC (inverter three phase) owning ability to yield the output of tension and variable frequency. To more to maximizing of performance from converter one fasa of is three this fasa hence will be a election assess the conductor, capasitor and also frequency switching from converter.

DAFTAR ISI

	<i>Halaman</i>
KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Metode Perancangan	2
1.3. Tujuan Penulisan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Pembahasan	4
BAB II MOTOR INDUKSI	5
2.1. Umum	5
2.2. Prinsip Kerja Motor Induksi	5
2.3. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	7
2.4. Kopel Motor Induksi	8
2.5. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi	8
BAB III KONVERTER	11
3.1. Umum	11
3.2. Rectifier (Penyearah)	12
3.2.1. Penyearah Satu Fasa Setengah Gelombang	12
3.2.2. Penyearah Satu Fasa Gelombang Penuh	14

3.2.3. Rangkaian Penyearah Pengganda Tegangan	15
3.2.4. Penyearah Satu Fasa Setengah Gelombang Terkendali	17
3.3. Pengendalian Arus Bolak-Balik	20
3.4. Inverter	21
3.4.1. Prinsip Kerja	22
3.4.2. Inverter Tiga Fasa	24
3.4.3. Pulse Width Modulation (PWM) Inverter	26
3.4.4. Inverter Tiga Fasa Dengan 4 buah Transistor	28
3.5. Program PWM Untuk Mengurangi Harmonisa	32
3.6. Konverter Satu Fasa Ke Tiga Fasa	35
BAB IV PENGGUNAAN KONVERTER SATU FASA KETIGA FASA DENGAN BENTUK ARUS INPUT YANG AKTIF UNTUK MENJALANKAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA	36
4.1. Umum	36
4.2. Penyearah Muka (Front End Rectifier)	42
4.3. Penggunaan Inverter Tiga Fasa Dengan 4 Switch IGBT	49
4.4. Analisa Perhitungan	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.2. Kesimpulan	56
5.3. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan energi listrik dewasa ini cukup berkembang. Perkembangan jaman yang makin modern mendorong terjadinya elektrifikasi disegala bidang. Demikian juga halnya pada industri besar, industri kecil maupun industri rumah tangga. Penggunaan motor-motor listrik sebagai penggerak mekanis semakin banyak digunakan.

Motor listrik yang umumnya digunakan adalah motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Bila dilihat dari jumlah pemakaian maka lebih banyak menggunakan motor induksi tiga fasa karena motor induksi-tiga fasa memiliki keunggulan-keunggulan dibanding motor induksi satu fasa. Dalam penggunaan motor induksi tiga fasa ini sering pula diinginkan kecepatan motor induksi ini dapat bervariasi sesuai dengan permintaan beban. Motor induksi tiga fasa ini disuplai dengan jaringan sistim tiga fasa.

Pada keadaan tertentu diperlukan untuk menggunakan motor induksi tiga fasa dimana suplai daya yang tersedia ke suatu daerah adalah satu fasa. Di daerah ini bila kita menggunakan suplai daya tiga fasa tidak ekonomis, karena beban tiga fasa yang akan dilayani pada daerah ini hanya kecil dan kemungkinan untuk memindahkan beban itu ke daerah lain. Beban yang dimaksud disini adalah motor induksi tiga fasa tersebut.

Untuk mengatasi kesulitan manjalankan motor induksi tiga fasa ini maka telah banyak dilakukan cara seperti :

Untuk mengatasi kesulitan menjalankan motor induksi tiga fasa ini maka telah banyak dilakukan cara seperti :

- Menggunakan kapasitor penyeimbang fasa
- Menggunakan dc-link (penggunaan konverter satu fasa ke tiga fasa).

Perkembangan elektronika daya akhir-akhir ini telah dimungkinkannya untuk membuat suatu konverter satu fasa ke tiga fasa dengan menggunakan peralatan semi konduktor daya. Sehingga untuk mengatasi masalah menjalankan motor induksi tiga fasa pada suplai satu fasa dapat digunakan teknik elektronika daya ini.

Konverter satu fasa ke tiga fasa yang dibahas pada makalah Tugas Akhir ini merupakan konverter satu fasa ke tiga fasa yang terdiri dari kombinasi penyearah dan inverter. Konverter ini menggunakan 6 buah switch semikonduktor daya jenis IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) serta mempunyai kemampuan untuk mengurangi harmonisa dari arus input dan pengaturan kecepatan motor dengan menggunakan teknik perubahan lebar pulsa/Pulse Width Modulation (PWM).

1.2. Metode Perancangan

Untuk memudahkan analisa perhitungan motor induksi maka terlebih dahulu membuat gambar dalam rangkaian ekivalen dimana sisi sekunder dari motor induksi dilihat dari stator.

Motor induksi secara sederhana memenuhi persyaratan untuk penggerak kecepatan motor tetapi motor memerlukan kecepatan dan rentang kecepatan yang dapat diatur dimana pengaturan-pengaturan frekuensi dan tegangan.

1.3. Tujuan Penulisan

Skripsi mengenai konverter satu fasa ke tiga fasa ini disusun memiliki tujuan-tujuan sebagai berikut :

1. Memberikan ide untuk menjalankan motor induksi tiga fasa pada suplai daya yang tersedia hanya satu fasa.
2. Meminimisasi penggunaan peralatan semikonduktor daya yang digunakan pada konverter satu fasa ke tiga fasa untuk menghemat biaya pembuatan konverter.
3. Mengurangi harmonisa dari arus input yang menuju konverter.
4. Memberikan penjelasan tentang penyearah (rectifier) satu fasa dan inverter tiga fasa.
5. Memberikan penjelasan tentang penggunaan Pulse Width Modulation (PWM).

1.4. Batasan Masalah

Dalam penulisan makalah Tugas Akhir ini maka penulis membuat batasan-batasan masalah yang dibahas agar pembahasan tidak terlampaui luas. Adapun batasan-batasan masalah tersebut adalah :

1. Pembahasan yang dilakukan adalah konverter satu fasa ke tiga fasa yang menggunakan 6 buah switch semikonduktor daya jenis IGBT.
2. Tidak dilakukan pembahasan mengenai kontrol elektronika dari penyalan konverter serta pembahasan mengenai harmonisa tidak dilakukan secara mendetail.
3. Rumus-rumus yang terdapat pada makalah ini tidak dilakukan penurunan secara mendetail terutama untuk rumus yang merupakan aproksimasi.

4. Pembahasan mengenai harmonisa dilakukan secara umum.
5. Analisa perhitungan yang dilakukan adalah pemilihan induktor dan kapasitor serta frekuensi switching dari penyearah muka (front end rectifier).
6. Tidak dilakukan perhitungan frekuensi switching dari inverter tiga fasa.
7. Efisiensi dari peralatan/konverter tidak dibahas.

1.5. Sistematika Pembahasan

Adapun isi dari Skripsi ini disusun dalam sistematika pembahasan yang terdiri dari 5 (lima) bab yang masing-masing bab terdiri atas sub bab yang dapat diuraikan sebagai berikut :

- Bab I : Merupakan Bab Pendahuluan yang berisikan Kata Pengantar, Metode Perancangan, Tujuan Penulisan, Batasan Masalah dan Sistematika Penulisan.
- Bab II : Pada bab ini merupakan pembahasan dari motor induksi, prinsip kerja motor induksi, rangkaian ekivalen motor induksi, pengaturan kecepatan motor induksi dan penerapan penggerak motor induksi yang kecepatannya dapat diatur dengan menggunakan inverter.
- Bab III : Merupakan bab yang berisikan aplikasi umum reactifier (penyearah), pengendalian arus bolak balik PWM untuk mengurangi harmonisa, konverter 1 fasa ke 3 fasa.
- Bab IV : Pada bab ini merupakan perhitungan dari penggunaan konverter 1 fasa ke 3 fasa dengan bentuk arus input yang aktif untuk menjalankan motor induksi 3 fasa.
- Bab V : Merupakan bab yang berisikan kesimpulan dan saran.

BAB II

MOTOR INDUKSI

2.1. Umum

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Motor induksi banyak digunakan di industri dan peralatan-peralatan rumah tangga sebagai penggerak penghasil tenaga mekanis.

Motor induksi terdiri dari dua tipe yakni motor induksi dengan rotor belitan dan motor induksi dengan rotor sangkar. Motor induksi rotor sangkar memiliki rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian menyerupai sangkar tupai. Konstruksi motor induksi tipe ini lebih sederhana dibandingkan dengan tipe belitan, sehingga harganya lebih murah.

2.2. Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi berdasarkan induksi elektromagnetik yakni bila belitan/kumparan stator diberi sumber tegangan bolak-balik 3 fasa maka arus akan mengalir pada kumparan tersebut, menimbulkan medan putar (garis-garis fluks) yang berputar dengan kecepatan sinkron dan akan mengikuti persamaan.

$$N_s = 120 f/p \dots\dots\dots (\text{rpm}) \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

- N_s = Kecepatan putar dari medan putar stator dalam rpm
- f = Frekuensi arus dan tegangan stator (Hz)
- p = Banyaknya kutub

Garis-garis fluks dari stator tersebut berputar dan memotong penghantar-penghantar rotor sehingga pada penghantar-penghantar tersebut timbul EMF (Electro Motoris Force) atau GGL (Gaya Gerak Listrik) atau tegangan induksi.

Berhubung kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka pada kumparan tersebut mengalir arus. Arus yang mengalir pada penghantar rotor yang berada dalam medan magnet berputar dari stator, maka pada penghantar rotor tersebut timbul gaya yang berpasangan dan berlawanan arah, gaya tersebut menimbulkan torsi yang cenderung memutar rotor bila torsi mula akan berputar dengan kecepatan putar (N_r) searah dengan putaran medan putar stator (N_s).

Seperti yang telah dijelaskan bahwa tegangan induksi timbul karena terpotong-potong penghantar rotor oleh medan putar stator, artinya tegangan/ggl induksi timbul karena adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (N_s) dan kecepatan rotor (N_r) yang dinyatakan dengan slip (S).

Slip

Slip timbul karena perbedaan perputaran medan putar stator dan perputaran rotor. Ada 3 (tiga) macam slip :

1. Slip mutlak, dinyatakan oleh persamaan :
 $S = N_s - N_r$ 2.2
2. Slip pecahan dinyatakan oleh persamaan :
 $S = (N_s - N_r) / N_s$ 2.3
3. Slip dalam persen (%), dinyatakan oleh persamaan :
 $S = (N_s - N_r) / N_s \times 100$ 2.4

Frekuensi Arus Rotor

Pada waktu rotor masih diam maka frekuensi arus rotor sama dengan frekuensi arus stator (f). Waktu rotor berputar maka frekuensinya (f) akan dipengaruhi oleh slip yang mengikuti persamaan :

$$f = S \cdot f' \dots\dots\dots 2.5$$

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p}$$

$$f \text{ sinkron} = \frac{n_s \cdot p}{120}$$

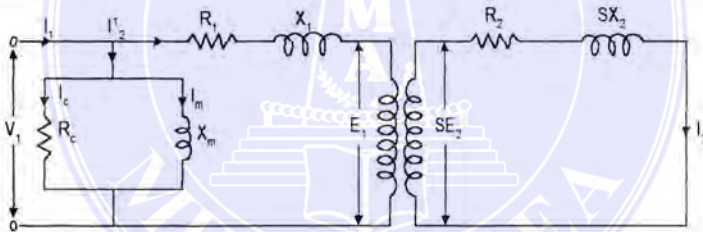
$$f_1 = \frac{p(n_s - n_r)}{120}$$

$$f' = f_1 \cdot S$$

$$= \frac{n_s \cdot p}{120} \times \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

2.3. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik sama dengan transformator. Karena motor induksi dianggap sebagai transformator dengan rangkaian sekunder berputar. Sehingga rangkaian motor induksi seperti gambar berikut :

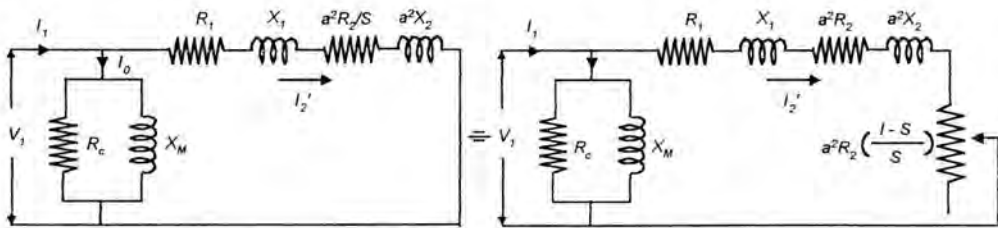


Gambar 2.1. Rangkaian Motor Induksi

dimana :

- V₁ = tegangan sumber (volt)
- R₁ = tahanan stator (ohm)
- R₂ = tahanan rotor (ohm)
- X₁ = reaktansi bocor stator (ohm)
- X₂ = reaktansi bocor rotor (ohm)
- R_c = tahanan inti besi (ohm)
- X_m = reaktansi magnetisasi (ohm)
- I₁ = arus stator (ampere)
- I₂ = arus rotor (ampere)
- I_c = arus inti besi (ampere)
- I_m = arus magnetisasi (ampere)

Untuk memudahkan analisa perhitungan motor induksi maka dilukiskan rangkaian motor induksi tersebut dalam rangkaian ekivalen seperti gambar 2.2 dimana sisi sekunder dari motor induksi dilihat dari stator dengan perbandingan transformasi sebesar a ($a = E_1 / E_2$)



Gambar 2.2. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

2.4. Kopel Motor Induksi

Dari rangkaian motor induksi gambar 2.1 arus I_2' adalah :

$$I_2' = \frac{E_1}{\sqrt{(a^2 R_2 / S)^2 + (a^2 X_2)^2}} \dots\dots\dots 2.6$$

dan

$$\cos \phi = \frac{\text{tahanan}}{\text{impedansi}} = \frac{a^2 R_2 / S}{\sqrt{(a^2 R_2 / S)^2 + (a^2 X_2)^2}} \dots\dots\dots 2.7$$

$$P = T \cdot \omega = 3 E_1 I_2' \cos \phi \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana :

- P = daya
- T = kopel
- ω = kecepatan sudut

maka

$$T = P / \omega E_1 I_2' \cos \phi$$

Bila $Z_1 = R_1 + j X_1$ dianggap kecil, E_1 hampir sama dengan V_1 maka,

$$T = \frac{3}{\omega} V_1^2 \frac{S a^2 R_2}{(a^2 R_2)^2 + S^2 (a^2 X_2)^2} \dots\dots\dots 2.9$$

2.5. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi

Motor induksi secara sederhana memenuhi persyaratan bagi penggerak kecepatan tetap. Tetapi, banyak penerapan motor memerlukan adanya beberapa kecepatan, atau malahan memerlukan rentang kecepatan yang dapat diatur.

Berdasarkan rumus dari persamaan (2.1) $N_s = \frac{120 f}{P}$ maka kecepatan

serempak suatu motor induksi dapat diubah dengan cara :

- a. Merubah banyaknya kutub
- b. Mengubah frekuensi jala-jala

Sedangkan dari persamaan (2.3) $S = \frac{N_s - N_r}{N_s}$ maka kecepatan motor induksi

dapat diatur dengan mengubah slip dari motor induksi yang diubah dengan :

- c. Mengubah tegangan jala-jala
- d. Mengubah tahanan rotor
- e. Menyisipkan tegangan dengan frekuensi yang sesuai ke dalam rangkaian rotor.

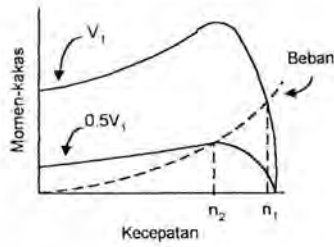
Sifat yang menonjol dari metode pengaturan kecepatan ini akan dijelaskan sebagai berikut :

- Pengaturan Frekuensi Jala-Jala (*Line Frequency Control*)

Kecepatan serempak motor induksi diatur dengan mengubah-ubah frekuensi jala-jala. Agar dapat dijaga kerapatan fluks yang kira-kira tetap, tegangan jala-jala juga diubah secara langsung dengan frekuensi. Karenanya momen torsi maksimum sangat mendekati tetap. Motor induksi dipergunakan dengan cara ini mempunyai karakteristik serupa dengan karakteristik motor dc yang terpisah dengan fluks tetap dan tegangan jepit kumparan yang diubah-ubah.

- Pengaturan Tegangan Jala-Jala (*Line Voltage Control*)

Kopel yang dihasilkan suatu motor induksi besarnya sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan pada terminal-terminal primernya, seperti terlihat pada kedua karakteristik kecepatan – kopel pada gambar 2.3. Bila beban mempunyai karakteristik kecepatan – kopel yang nampak sebagai garis putus-putus, kecepatannya akan berkurang dari n_1 menjadi n_2 . Metode pengaturan kecepatan ini dipergunakan untuk motor-motor kecil.

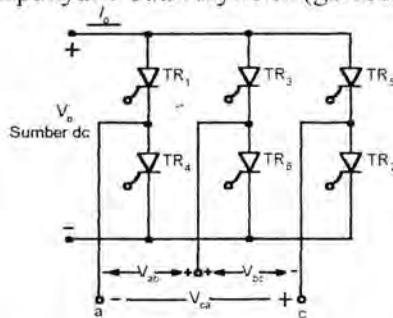


Gambar 2.3. Kurva Momen (Kopel) Dengan Kecepatan Motor Induksi

2.6. Penerapan Penggerak Motor Induksi Yang Kecepatannya Dapat Diatur Dengan Inverter

Sebagaimana telah dibahas secara singkat pada bagian II.5 bahwa pengaturan kecepatan motor induksi dapat diperoleh dengan pengaturan frekuensi dan tegangan.

Daya frekuensi yang diatur dibangkitkan oleh rangkaian thyristor disebut inverter. Inverter digunakan untuk mengubah tegangan dari sumber dc ke suatu beban ac yang mempunyai frekuensi dan tegangan fasa yang sembarang. Suatu motor dilengkapi dengan peralatan tertentu terdiri atas sebuah penyearah untuk mengubah daya pencatu ac menjadi dc, sebuah inverter mengubah arus bolak-balik menjadi frekuensinya dapat diubah-ubah dari suatu sumber dc, dan sebuah sistim pengaturan untuk mengatur frekuensi dan tegangan suplai ke motor. Inverter yang memberikan daya pada frekuensi dapat diubah-ubah pada sistim penggerakan motor induksi biasanya merupakan inveter tiga fasa. Inverter tiga fasa umumnya mempunyai 6 buah thyristor (gambar 2.4).



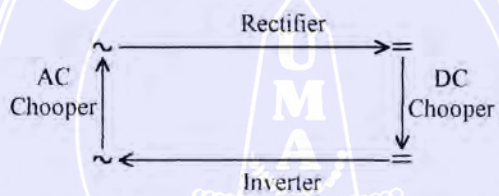
Gambar 2.4. Susunan Jembatan Inverter Tiga Fasa.

BAB III KONVERTER

3.1. Umum

Aplikasi dari bidang elektronika daya di industri adalah sangat luas, antara lain mencakup bidang-bidang pengaturan kecepatan motor untuk berbagai keperluan, power suplai DC, power suplai AC.

Pada setiap aplikasinya terlihat adanya kerja konversi energi listrik ke energi listrik yang jenisnya disesuaikan dengan kondisi keluaran yang diinginkan beban. Saat ini perkembangan elektronika daya sebagai konverter statis sangat besar.



Gambar 3.1. Bagan konversi energi listrik ke listrik

Bagan di atas menunjukkan sistim konversi energi listrik ke listrik yang dilaksanakan dengan teknik elektronika daya.

Tidak jarang dijumpai dalam konversi energi listrik ke listrik menggunakan kombinasi dari dua konverter guna mencapai kondisi output sistim yang dikehendaki, misalnya untuk konverter sistim satu fasa ketiga fasa yang dibahas pada makalah ini menggunakan kombinasi dari rectifier (penyearah) dan inverter.

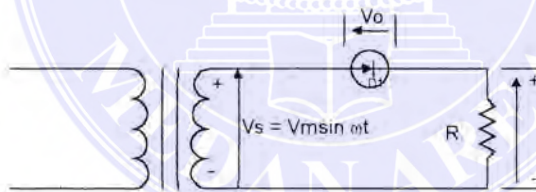
3.2. Rectifier (Penyearah)

Rectifier merupakan suatu konverter untuk mengkonversikan arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Rectifier menurut pengoperasiannya dapat kita bagi dua yakni tidak terkendali dan terkendali. Rectifier yang tidak terkendali menggunakan dioda sebagai komponen utamanya, sedangkan rectifier yang terkendali menggunakan thyristor sebagai komponen utamanya.

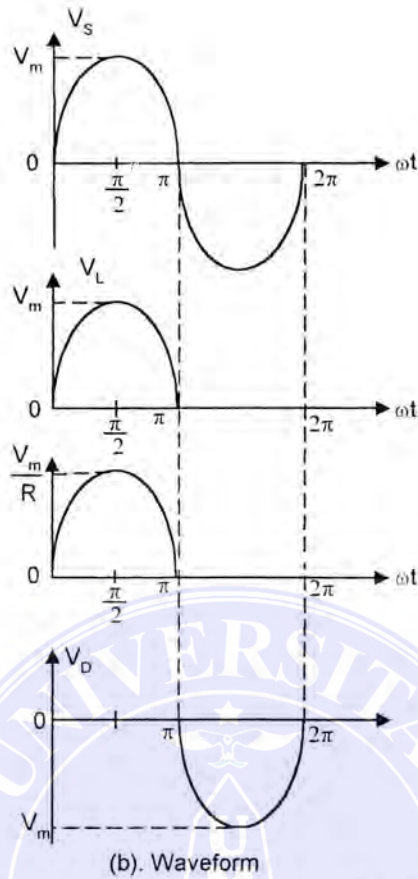
3.2.1. Penyearah Satu Fasa Setengah Gelombang

Gambar 3.2.a. di bawah merupakan rangkaian sederhana dari penyearah setengah gelombang dengan menggunakan sebuah dioda. Gambar tegangan keluaran (*output*) dengan beban tahanan murni ditunjukkan pada gambar 3.2.b.

Selama setengah siklus positif tegangan masuk (*input*), dioda D_1 konduksi dengan tegangan input terlihat pada beban. Selama setengah siklus negatif dari tegangan input maka dioda D_1 terblokir sehingga tegangan output adalah nol.



(a). Diagram rangkaian penyearah satu fasa setengah gelombang



Gambar 3.2. Penyearah satu fasa setengah gelombang

Bila V_{dc} = tegangan output rata-rata

I_{dc} = arus output rata-rata

V_{rms} = tegangan output efektif

I_{rms} = arus output efektif

Maka :

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_m \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{-V_m \left(\cos \frac{\omega T}{2} - 1 \right)}{T} \dots\dots\dots 3.1$$

Bila frekuensi sumber $f = 1/T$ dan $\omega = 2\pi f$

Maka :

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 0,318 V_m$$

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

Tegangan efektif dari sebuah gelombang didefinisikan :

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T V e^2 (t) dt \right]^{1/2}$$

Untuk sebuah tegangan sinusoidal dari $V e^2 (t) = V_m^2 \sin^2 \omega t$ untuk $0 \leq t \leq T/2$

dan tegangan efektif dari tegangan output :

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^{T/2} (V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = \frac{V_m}{2} = 0,5 V_m \dots\dots\dots 3.2$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{0,5V_m}{R}$$

3.2.2. Penyearah Satu Fasa Gelombang Penuh

Gambar 3.3. menunjukkan rangkaian penyearah gelombang penuh dengan sebuah transformator tap tengah. Setengah dari transformator dengan sebuah dioda merupakan penyearah setengah gelombang dan output dengan kedua sisi merupakan penyearah gelombang penuh. Tegangan output rata-rata dari penyearah ini adalah :

$$V_{dc} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t . d\omega t = \frac{2V_m}{\pi} = 0,6366 V_m \dots\dots\dots 3.3$$

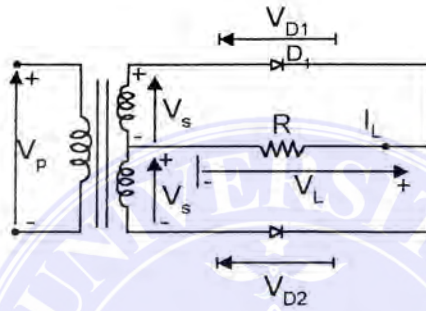
Selain menggunakan transformator tap tengah, untuk menghasilkan penyearah gelombang penuh dapat juga kita gunakan transformator dengan 4 buah dioda penyearah seperti ditunjukkan pada gambar 4.4a. Selama setengah siklus positif dari tegangan input, maka arus mengalir melalui dioda D₁ dan D₂. Selama setengah siklus negatif maka D₃ dan D₄ akan konduksi. Bentuk gelombang

tegangan output ditunjukkan pada gambar 3.4.b. Tegangan puncak dari dioda disini disebut V_m , rangkaian dioda seperti ini disebut jembatan penyearah.

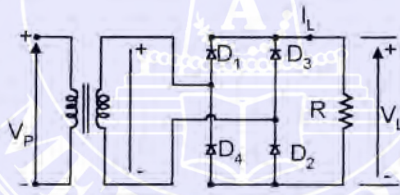
Tegangan efektif dari tegangan output adalah :

$$V_{rms} = \left[\frac{2}{T} \int_0^{T/2} (V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707 V_m \dots\dots\dots 3.4$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = 0,707 \frac{V_m}{R}$$



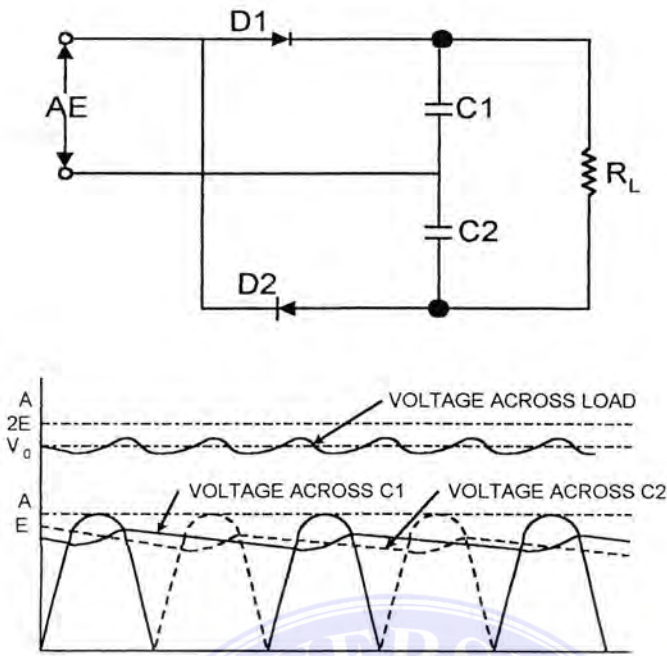
Gambar 3.3. Penyearah gelombang penuh dengan trafo tap tengah



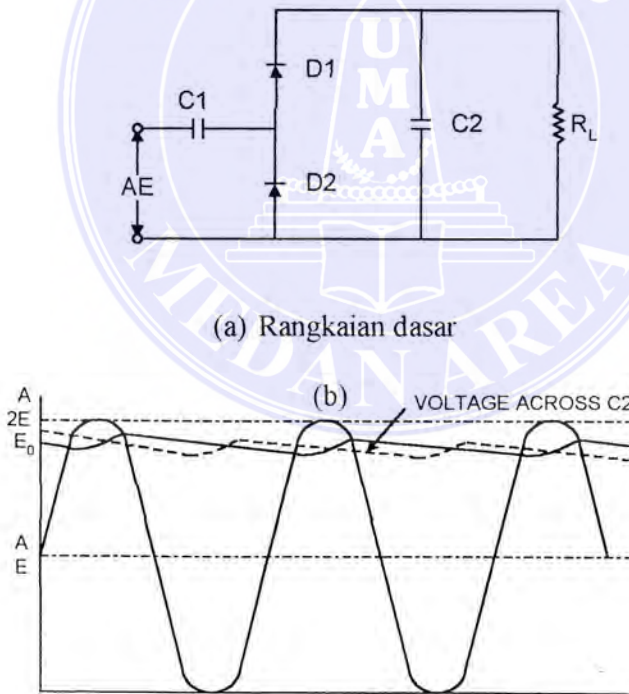
Gambar 3.4. Penyearah jembatan gelombang penuh

3.2.3. Rangkaian Penyearah Pengganda Tegangan

Rangkaian ini menggunakan prinsip dari kapasitor yang diparalel dengan sebuah input AC akan diisi/dimuati dan tegangan antar kapasitor yang seri akan dijumlahkan untuk mendapatkan tegangan output DC lebih tinggi dari tegangan sumber.



Gambar 3.5. Penyearah Pegganda Tegangan Konvensional



(a) Rangkaian dasar

(b) Gelombang out put

Gambar 3.6. Penyearah Pegganda Tegangan

Rangkaian konvensional dan kaskade pengganda tegangan ditunjukkan pada gambar 3.5 dan 3.6. Pada rangkaian konvensional kapasitor C_1 dan C_2 diisi (*charged*) selama setengah siklus bolak-balik untuk harga input tegangan AC melalui D_2 pada setengah siklus dan pada setengah siklus yang lain muatannya dibuang (*discharged*) yang seri dengan sumber AC dan melalui dioda D_1 mengisi kapasitor C_2 hingga harga tegangan pada kapasitor C_2 2 kali dari tegangan puncak AC.

3.2.4. Penyearah Satu Fasa Setengah Gelombang Terkendali

Tegangan dan daya penyearah terkendali dapat dikontrol dengan mengontrol saat peralatan semikonduktor daya yang digunakan mulai konduksi. Peralatan semikonduktor daya ini antara lain adalah thyristor.

Thyristor Penyearah Dengan Beban Resitif

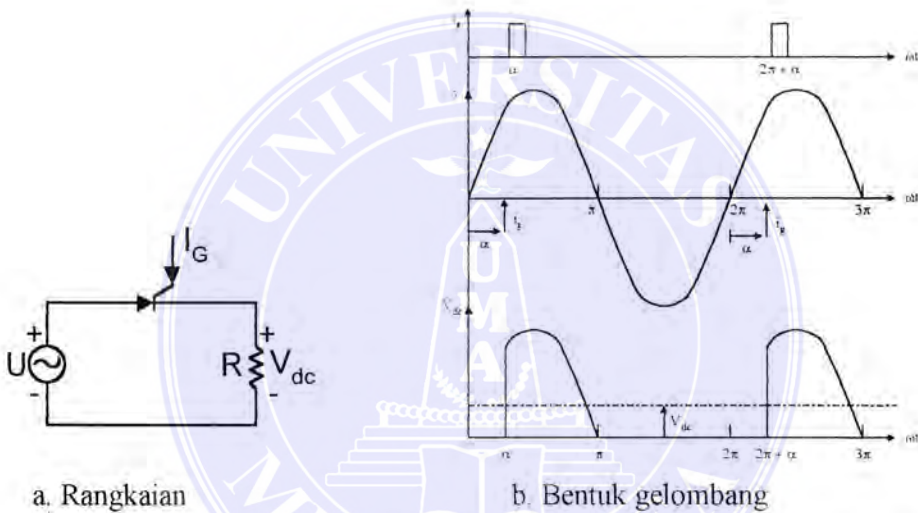
Gambar 3.7 menunjukkan rangkaian dari penyearah setengah gelombang terkendali dengan beban resistif murni. Thyristor ini dibias maju (konduksi) selama interval $0 < \omega t < \pi$, $2\pi < \omega t < 3\pi$ dan seterusnya.

Sebuah pulsa gerbang digunakan untuk mengasut (menyalakan) thyristor dengan sudut α (ditentukan dari mulai tegangan suplai) seperti gambar 3.7 sudut α ini dikenal dengan sudut penyalaan dari thyristor. Arus thyristor menjadi nol pada $\omega t = \pi$, 3π dan thyristor konduksi mulai dari α hingga π , 3π dan seterusnya. Interval ketika thyristor konduksi disebut interval konduksi dan tegangan beban sama dengan tegangan suplai $V_{dc} = V$. Tegangan rata-rata dari beban adalah :

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t \cdot d(\omega t)$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots 3.5$$

Sudut penyalan dapat diubah-ubah mulai dari 0 hingga π yang akan mengubah tegangan output, sebagai contoh pada $\alpha = 0$, $V_{dc} = \frac{V_m}{2\pi}$ yang sama dengan tegangan output pada penyearah setengah gelombang dengan dioda. Jadi jika thyristor dinyalakan pada $\alpha = 0$ maka thyristor sama dengan dioda.



Gambar 3.7. Penyearah Setengah Gelombang Terkendali Dengan Beban Resistif

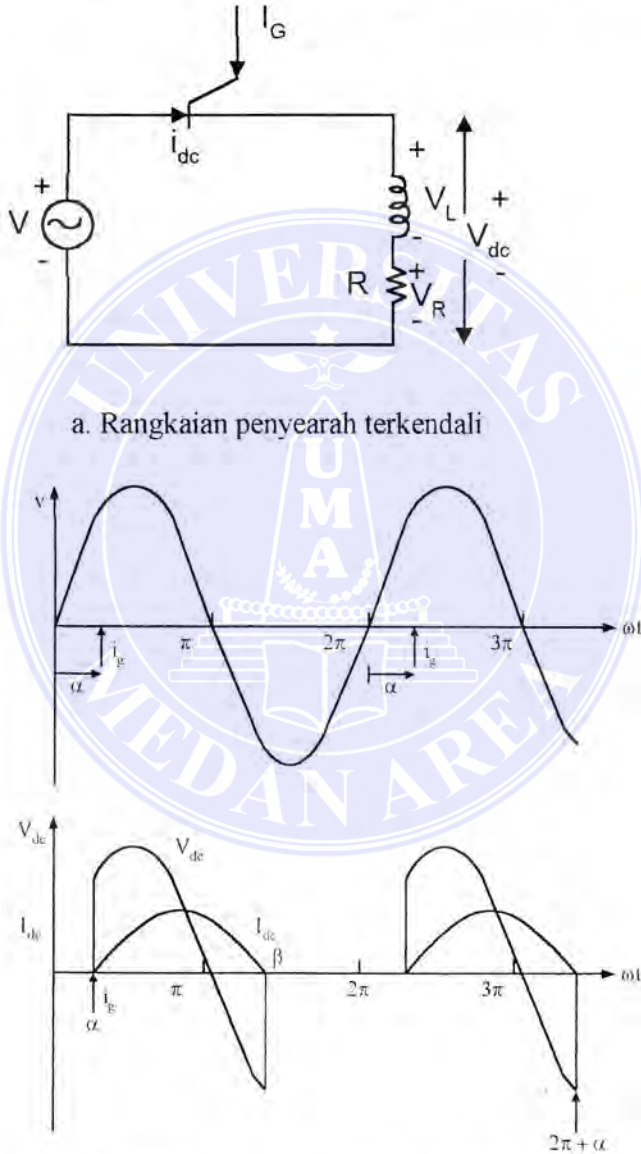
Thyristor Penyearah Dengan Beban Reaktif

Hampir semua beban yang diaplikasikan pada sistem tenaga listrik terdiri dari beban resistif (R) dan beban induktif (L). Sebagai contoh adalah motor dc yang memiliki resistansi dan induktansi. Thyristor penyearah dengan beban R dan L ditunjukkan pada gambar 3.8.a. Thyristor dinyalakan pada sudut penyalan α yang berarti mulai konduksi pada saat $\omega t = \alpha$. Induktansi pada beban

menimbulkan arus lagging sehingga arus menjadi nol pada $\omega t = \beta$ sebagai pengganti pada $\omega t = \pi$ yang terjadi pada beban resistif murni.

Gelombang output dari arus ditunjukkan pada gambar 3.8.b. Selama interval konduksi ($\alpha \rightarrow \beta$) $V_{dc} = V$.

$$\text{Tegangan output rata-rata, } V_{dc} = \int_{\alpha}^{\beta} \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\alpha}^{\beta} \dots\dots\dots 3.6$$

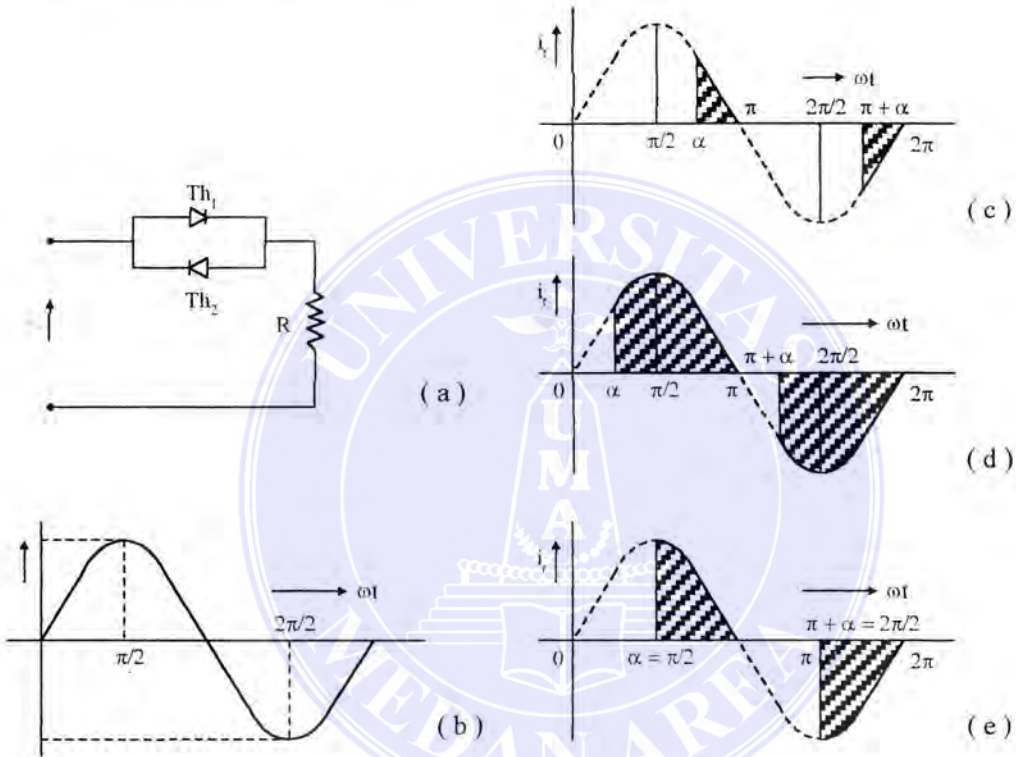


Gambar 3.8. Penyearah Setengah Gelombang Terkendali Dengan Beban Reaktif

3.3. Pengendalian Arus Bolak-Balik

Pengendalian Arus Satu Fasa

Gambar 3.9.a. memperlihatkan suatu rangkaian yang terdiri dari atas beban R, dan dua buah thyristor Th_1 dan Th_2 kedua. Kedua thyristor ini dipasang secara anti paralel. Rangkaian ini diisi oleh tegangan bolak-balik u dan arus beban yang mengalir adalah sebesar i_r .



Gambar 3.9.b. Pengendalian Arus Satu Fasa

Pada gambar 3.9.b. terlihat bentuk tegangan u yang merupakan tegangan bolak-balik harmonisa tunggal.

Karena letak kedua thyristor Th_1 dan Th_2 secara anti paralel, maka arus beban yang mengalir arus searah melainkan arus bolak-balik, yang dipotong pada sudut $\omega t = \alpha$ dan $\omega t = \pi + \alpha$, bilamana α merupakan sudut penyalan thyristor.

Pada gambar 3.9.c. tampak arus i_r untuk sudut α lebih besar dari $\pi/2$. Dengan demikian maka diperoleh suatu arus bolak-balik yang mengalir hanya antara waktu α dan π , antara $\pi + \alpha$ dan 2π dan seterusnya. Nilai efektif dari arus ini adalah kecil, karena mengalir hanya sebentar saja selama satu periode.

Gambar 3.9.d. memperlihatkan arus beban i_r , untuk nilai $\alpha = 2/\pi$. Sama halnya seperti pada gambar 3.9.c, arus i_r ini juga arus bolak-balik, namun nilai efektif arus ini lebih besar, karena mengalir selama setengah periode. Pada gambar 3.9.e tampak hal yang sama namun untuk sudut yang lebih kecil dari $2/\pi$. Dengan sendirinya arus beban ini mempunyai nilai efektif yang lebih besar lagi daripada arus menurut gambar 3.9.d.

Dan bilamana $\alpha = 0$, maka arus bolak-balik mengalir secara penuh melalui beban R. Dengan demikian maka tampak, bahwa dengan mengatur sudut penyalan α , dapat diperoleh suatu arus bolak-balik pada sisi beban yang besarnya variabel, yang dapat diatur besarnya.

Suatu rangkaian yang terdiri dari dua thyristor yang dihubungkan secara anti paralel seolah-oleh bekerja sebagai hambatan variabel. Perbedaannya adalah bahwa kerugian energi pada thyristor kecil sekali.

Cara mengendalikan sudut α ini disebut pengendalian fasa. Perlu juga dikemukakan, bahwa sebuah pasangan thyristor dalam hubungan anti paralel dapat juga digantikan oleh sebuah triac yang merupakan dwi jurusan.

3.4. Inverter

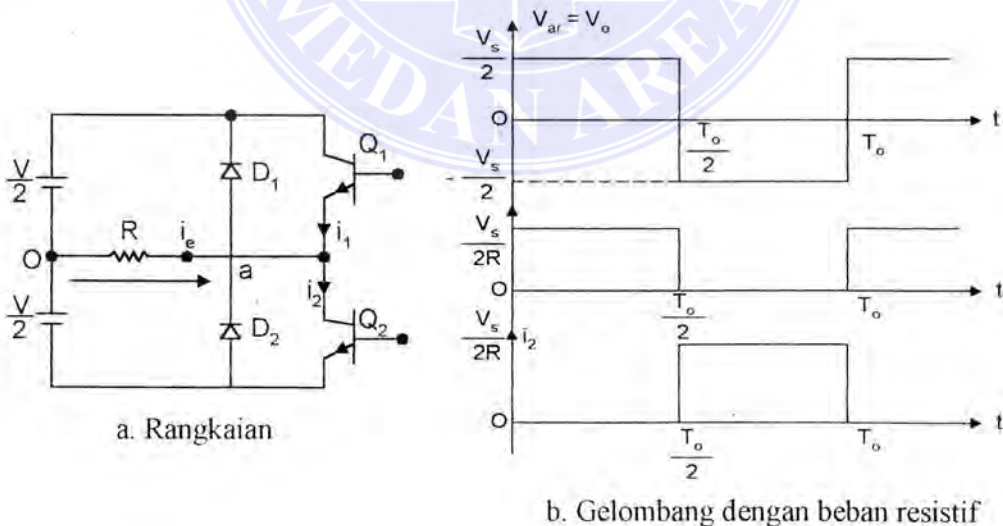
Inverter merupakan suatu peralatan yang mengubah tegangan input dc menjadi tegangan output ac dengan besaran tegangan dan frekuensi yang

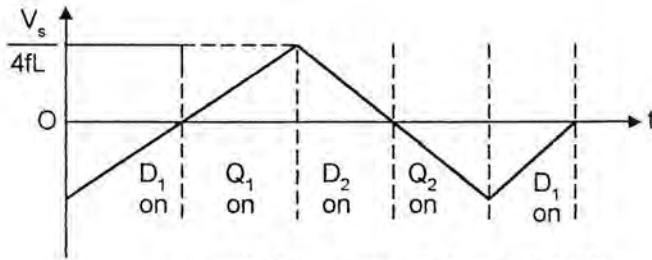
diinginkan. Penggunaan inverter saat ini cukup berkembang, misalnya dalam pengaturan kecepatan motor-motor listrik maupun sebagai konverter dc ke ac. Tegangan output dari suatu inverter dapat tetap atau bervariasi.

Tegangan output yang variabel dapat dikontrol dengan mengubah-ubah penguatan/gain dari inverter itu. Metode ini dikenal dengan metode Pulse Width Modulation (PWM). Penguatan dari inverter adalah perbandingan antara tegangan output ac terhadap tegangan input dc.

3.4.1. Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari suatu inverter satu fasa dapat diterangkan dengan gambar 3.10 a. Rangkaian inverter terdiri dari dua chopper, saat hanya transistor Q_1 dinyalakan untuk waktu $T_o/2$, tegangan seketika pada beban V_o adalah $V_s/2$. Jika transistor Q_2 dinyalakan pada waktu $T_o/2$, tegangan $-V_s/2$ terjadi pada beban. Rangkaian logika didisain pada waktu Q_1 dan Q_2 tidak dinyalakan pada saat bersamaan. Gambar 3.10.b menunjukkan bentuk gelombang untuk tegangan output dan arus transistor dengan sebuah beban resistif.





c. Arus beban dengan beban induktif

Gambar 3.10. Inverter Satu Fasa Setengah Jembatan

Inverter ini memerlukan tiga kawat sumber dc dan ketika sebuah transistor padam maka tegangan reverse adalah V_s pada tegangan sumber $V_s/2$. Inverter ini dikenal dengan inverter setengah jembatan.

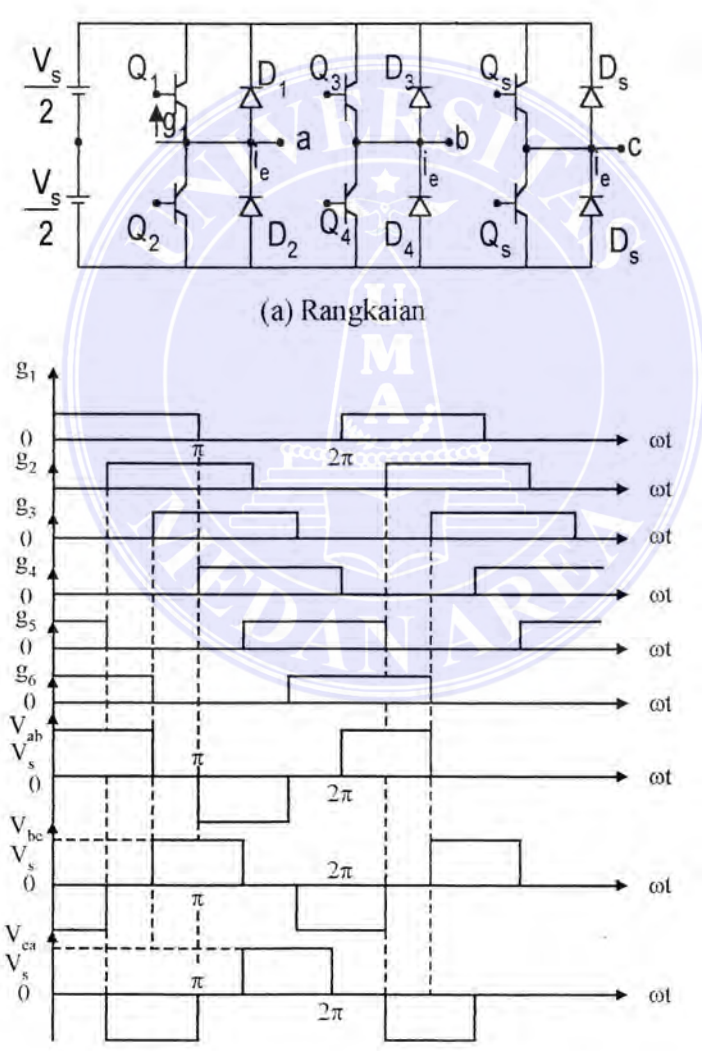
Tegangan efektif (rms) dari output inverter adalah :

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \dots\dots\dots 3.7$$

Untuk beban induktif arus beban tidak dapat berubah secara langsung dengan tegangan output. Jika Q_1 dinyalakan pada $t = T_o/2$, arus beban akan terus mengalir melalui D_2 , beban dan lower half sumber dc hingga arus menjadi nol. Hal yang sama terjadi ketika Q_1 dipadamkan pada $t = T_o$, arus beban mengalir melalui dioda D_1 , beban dan upper half sumber dc. Ketika dioda D_1 dan D_2 konduksi energi disuplai kembali ke sumber dc dan dioda ini dikenal dengan dioda feed back (umpan balik). Gambar 3.10c memperlihatkan arus beban dan interval konduksi dari peralatan untuk beban induktif murni. Dari sini dapat diketahui bahwa transistor konduksi pada saat $T_o/2$.

3.4.2. Inverter Tiga Fasa

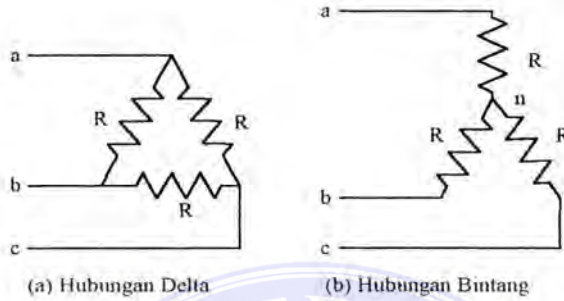
Inverter tiga fasa umumnya digunakan untuk aplikasi daya yang besar. gambar 3.11.a menunjukkan rangkaian dari inverter tiga fasa yang menggunakan 6 buah transistor dan 6 buah dioda. Ketika transistor Q_1 di switch on (dinyalakan) maka terminal a terhubung ke terminal positif dari tegangan input dc. Ketika transistor Q_4 di switch on maka terminal a terhubung ke terminal negatif dari sumber dc. Di sini ada 6 mode pengoperasian dalam satu siklus dengan durasi setiap mode adalah 60 derajat.



Gambar 3.11. Inverter Tiga Fasa

Sinyal gerbang yang ditunjukkan gambar 3.11b dipisahkan satu sama lain dengan sudut 60 derajat untuk memenuhi tegangan tiga fasa yang setimbang.

Beban mungkin terhubung dalam hubungan bintang atau delta seperti ditunjukkan gambar 3.12. Bila salah satu arus fasanya diketahui maka arus fasa yang lain dapat ditemukan.



Gambar 3.12. Beban Inverter Tiga Fasa

Tegangan phasa ke phasa pada gambar 3.12. dapat diturunkan dengan deret fourier, dengan sudut dari V_{ab} adalah $\pi/6$ dan harmonisa genap adalah nol maka :

$$V_{ab} = \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right) \dots\dots\dots 3.8$$

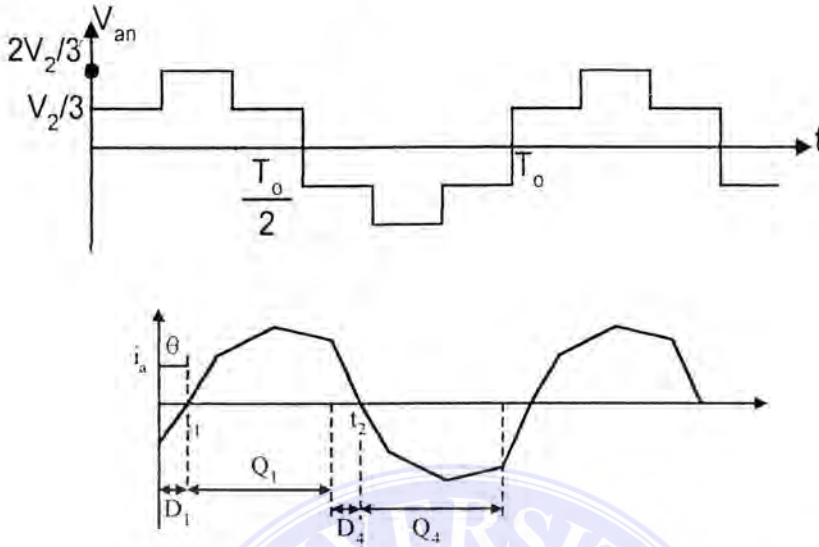
V_{bc} dan V_{ca} dapat diketahui dengan mencubitusikan perbedaan sudut antara fasa V_{bc} dan V_{ca} dengan V_{ab} sebesar 120 derajat dan 240 derajat.

$$V_{bc} = \sum \frac{4V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \sin n \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots 3.9$$

$$V_{ca} = \sum \frac{4V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \sin n \left(\omega t - \frac{7\pi}{2} \right) \dots\dots\dots 3.10$$

Dengan beban resistif murni maka dioda antara transistor tidak akan berfungsi. Jika beban adalah induktif maka arus pada inverter akan terlambat dari tegangannya seperti terlihat pada gambar 3.13 saat transistor Q_4 padam maka hanya bagian negatif arus phasa i_a melalui dioda D_1 . Disini terminal beban a dihubungkan ke sumber dc melalui D_1 hingga arus polaritas reverse beban pada t

= t_2 . Selama periode $0 \leq t \leq t_1$, transistor Q_1 tidak akan konduksi. Transistor Q_4 hanya akan mulai konduksi pada $t = t_2$.



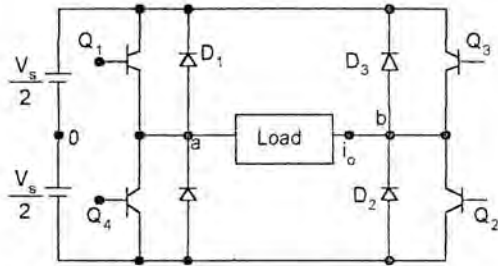
Gambar 3.13. Gelombang Output Inverter Tiga fasa Dengan Beban RL

3.4.3. Pulse Width Modulation (PWM) Inverter

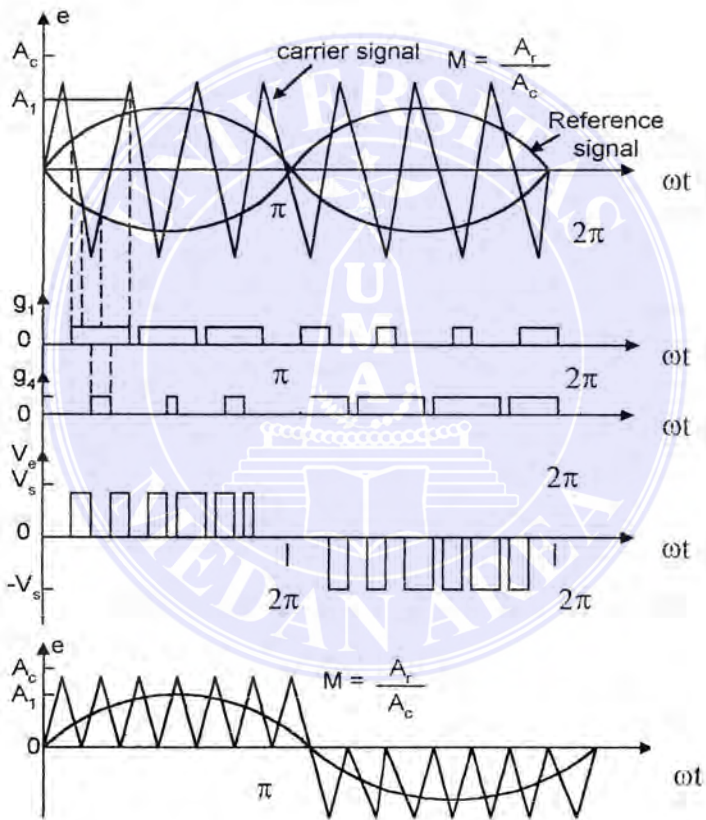
Aplikasi inverter pada industri dewasa ini cukup berkembang, ada banyak cara untuk bervariasi penguatan/gain dari inverter. Salah satu cara yang paling umum digunakan saat ini adalah PWM. Untuk mengontrol PWM ini salah satu tekniknya dikenal dengan Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM).

Pada SPWM sinyal yang ditunjukkan pada gambar 3.15 dihasilkan dengan membandingkan suatu frekuensi sinyal referensi (f_r) dengan frekuensi sinyal pembawa/carrier (f_c) yang berbentuk gelombang segitiga pembawa. Untuk memahami gambar 3. 15 dapat kita pahami dari gambar rangkaian inverter satu fasa jembatan gelombang penuh seperti yang terlihat pada gambar 3.14. Dua buah transistor dari lengan yang sama tidak dapat konduksi secara bersamaan. Frekuensi dari sinyal referensi menentukan frekuensi output dari inverter, yaitu f_o

dan amplitudo puncaknya (A_r), pengaturan terhadap frekuensi referensi merupakan pengaturan terhadap indeks modulasi yang berhubungan dengan perubahan tegangan output (V_o).



Gambar 3.14. Inverter Satu Fasa Jembatan Penuh.



Gambar 3.15. Sinusoidal Pulse Modulation

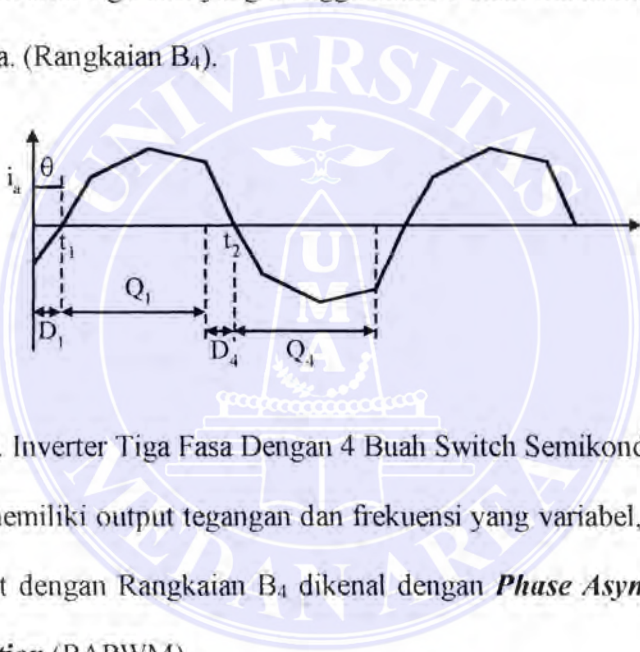
Tegangan output efektif (rms) dapat dirubah dari 0 ke V_s dengan mengubah-ubah indeks modulasi M dari 0 ke 1. Dapat diamati bahwa luas dari

tiap pulsa mendekati luas gelombang sinusnya. Jika δ_m adalah lebar dari pulsa ke m. untuk mendapatkan tegangan output rms (efektif) adalah :

$$V_o = V_s \left(\sum_{m=1}^p \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{1/2} \dots\dots\dots 3.11$$

3.4.4. Inverter Tiga Fasa Dengan 4 Buah Transistor

Kemungkinan untuk meminisasi jumlah dari komponen yang digunakan untuk inverter tiga fasa dapat dilakukan. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan inverter tiga fasa yang menggunakan 4 buah transistor switch dan 4 buah dioda daya. (Rangkaian B₄).

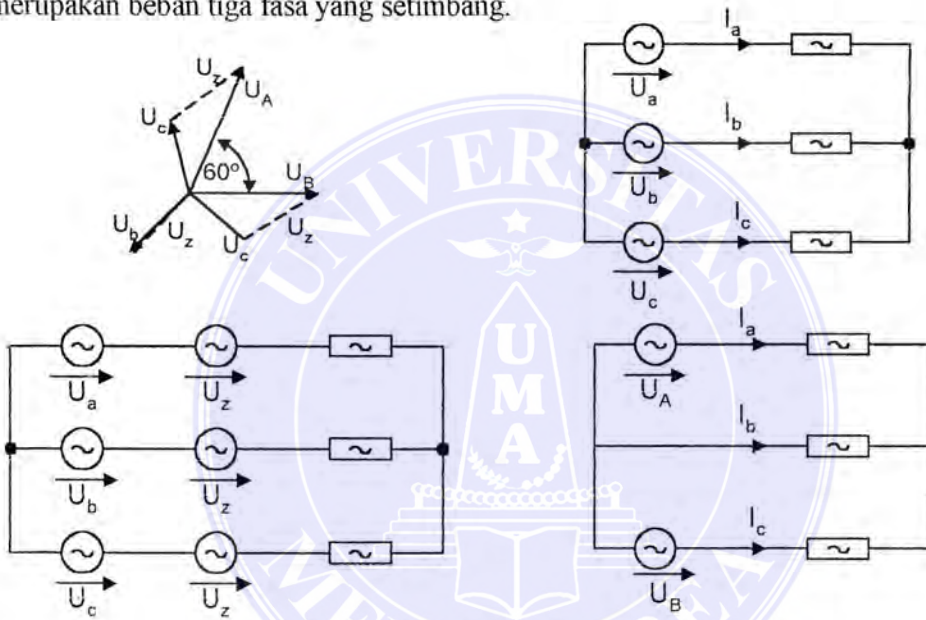


Gambar 3.16. Inverter Tiga Fasa Dengan 4 Buah Switch Semikonduktor Daya
 Inverter yang memiliki output tegangan dan frekuensi yang variabel, pengontrolan tegangan output dengan Rangkaian B₄ dikenal dengan **Phase Asymmetric Pulse Width Modulation** (PAPWM).

Inverter B₄ yang mensuplai beban tiga fasa pada konfigurasi sumber yang terbagi, arus I₃ pada fasa yang ketiga berhubungan dengan arus I₁ dan I₂ pada dua fasa yang terkontrol. Pengontrolan tegangan fasa dapat dilakukan dengan menggunakan PWM terhadap dua buah fasa tegangan suplai.

Beban tiga fasa disuplai oleh sistim tegangan setimbang tiga fasa U_a, U_b dan U_c (gambar 3.17b). Penambahan suatu tegangan U_z yang berlawanan dan

memiliki amplitudo yang sama dengan U_b pada tiap fasa (gambar 3.17c) menghadirkan komponen simetris nol dan tidak mempengaruhi aliran arus pada sistim selama titik beban mengambang (tidak terhubung ke tanah). Konsekuensinya perbedaan antara sistim tiga fasa setimbang U_a, U_b, U_c dan sistim $60^\circ U_A, U_B$, adalah pencerminan dari beban hubungan bintang pada gambar 3.17d dengan tegangan periodik U_z . arus I_a, I_b, I_c , masih merupakan komponen simetris positif yang setimbang bila beban sistim $60^\circ U_A, U_B$, merupakan beban tiga fasa yang setimbang.



Gambar 3.17. Suplai Beban Tiga Fasa Dari Dua Sumber Tegangan Dengan Beda Sudut 60°

Analisa sistim $60^\circ U_A, U_B$

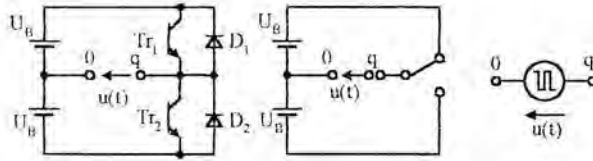
Seperti terlihat pada gambar 3.18 rangkaian inverter B4 diekivalenkan dalam perphasa yang terdiri dari transistor Tr_1 dan Tr_2 serta dioda D_1 dan D_2 . Titik potensial dari “q” dan “o” dapat direpresentasikan seperti gambar 3.18c dimana $U'(t)$ merupakan tegangan normalisasi PWM.

$$U'(t) = \frac{U(t)}{U_B} = s(t) = s(t \pm nT) \quad n \in \mathbb{IN}$$

Dimana $s(t)$ merupakan fungsi switching domain waktu.

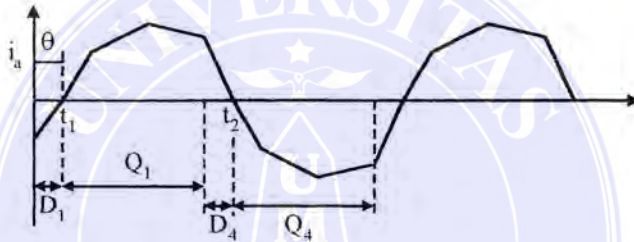
Dari gambar 3.19 dapat kita turunkan bahwa :

$$\begin{aligned}
 U_1'(t) &= k_1 \cdot s(t) & k &= \text{konstanta ; } k_1 ; k_2 ; k_3 \in \text{IN} \\
 U_2'(t) &= k_2 \cdot s(t + \Delta t_2) & T &= 1/f_1 \quad \dots\dots\dots 3.12 \\
 U_3'(t) &= k_3 \cdot s(t + \Delta t_3)
 \end{aligned}$$



Gambar 3.18.

Analisa PWM Secara Umum Dalam Tiap Fasa Pada Fasa Asymetric Control



Gambar 3.19.

Pengaturan Fasa Asimetris Dipecahkan Dalam Komponen Simetris

Untuk menganalisa sistim 60oUA, UB maka dianggap bahwa ketiga kawat tiga fasa dihubung singkat yang merupakan gangguan tiga fasa simetris. Dan tegangan q_1, q_2 dan q_3 merupakan tegangan periodik dengan periode T sehingga tegangan kawat fasa akan terdiri dari harmonisa orde “v” pada frekuensi dasar sehingga tegangan domain (daerah) frekuensi ini adalah :

$$\begin{aligned}
 u_1(t) &\rightarrow U_1(vf_1) = k_1 S(f) \\
 U_2(vf_1) &= k_2 S(f) \exp (-j2\pi f \Delta t_2) ; \dots\dots\dots 3.13 \\
 U_3(vf_1) &= k_3 S(f) \exp (-j2\pi f \Delta t_3)
 \end{aligned}$$

Seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.19 tiga buah tegangan switch yang tidak setimbang dapat digambarkan sebagai penjumlahan dari komponen-komponen simetris yang berbeda.

Dalam domain frekuensi komponen simetris untuk tegangan switching ini adalah :

$$U_0(vf_1) = \frac{1}{3} S(f) [1 + \exp(-j\phi_2v) + (\exp(-j\phi_3v))]$$

$$U_m(vf_1) = \frac{1}{3} S(f) [1 + \exp j(2\pi/3 - \phi_2v) + (\exp j(2\pi/3 - \phi_3v))] \dots\dots\dots 3.14$$

$$U_g(vf_1) = \frac{1}{3} S(f) [1 + \exp j(-2\pi/3 - \phi_2v) + (\exp j(2\pi/3 - \phi_3v))]$$

Dimana U_0 , U_m , U_g , adalah komponen tegangan simetris untuk urutan nol, positif dan negatif. Dengan melihat gambar 3.19 dan 3.20 dan mengetahui bahwa tidak ada hubungan dari sistim ke tanah sehingga dapat ditetapkan :

$$k_1 = k_2 = 1 \qquad k_3 = 0$$

$$\text{Maka } U_3(t) = 0 \qquad \phi_2 = (2\pi/6)$$

Sehingga secara umum tegangan urutan yang tersedia adalah urutan positif dan negatif.

$$U_m(vf_1) = \frac{1}{3} S(f) [1 + \exp j(2\pi/3 - \phi_2v) + (\exp j(-2\pi/3 - \phi_3v))] \dots\dots\dots 3.15$$

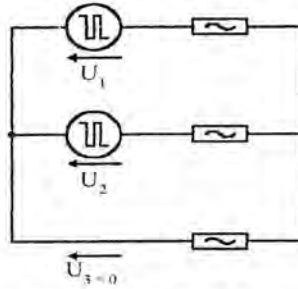
$$U_g(vf_1) = \frac{1}{3} S(f) [1 + \exp j(-2\pi/3 - \phi_2v) + (\exp j(2\pi/3 - \phi_3v))] \dots\dots\dots 3.16$$

Dan dengan mensubstitusikan harga-harga konstanta di atas didapat :

$$U_g(vf_1) \equiv 0$$

$$U_m(vf_1) = \frac{1}{\sqrt{3}} S(f_1) \exp(j\pi/6)$$

Dari uraian di atas dapat diketahui bahwa untuk PAPWM dapat dihasilkan hanya komponen simetris positif dengan membedakan sudut fasa U_A dan U_B sebesar 60° .



Gambar 3.20. PAPWM Dengan 2 Buah Fasa Yang Terkontrol

3.5. Program PWM Untuk Mengurangi Harmonisa

Program PWM untuk mengurangi order harmonisa yang rendah menghasilkan output yang baik yang diikuti dengan pengurangan ripple arus, pulsa torsi dan kriteria output yang lain. Program untuk mengurangi harmonisa ini digunakan untuk input atau output yang tetap.

Gambar 3.21.a. dan 3.21.b. menunjukkan inverter satu fasa untuk konfigurasi setengah jembatan dan jembatan penuh. Dengan menggunakan teknik single line to netral (SLN) dapat digunakan untuk mengurangi harmonisa pada inverter satu fasa. Gambar A pada lampiran menunjukkan gelombang persegi dari fungsi switching SLN. Koefisien fourier dari fungsi switching ini adalah :

$$a_n = \frac{4}{n\pi} \left[-1 - 2 \sum_{k=1}^N (-1)^k \cos(n\alpha_k) \right] \dots\dots\dots 3.17$$

$$b_n = 0 \dots\dots\dots 3.18$$

Persamaan nonlinier untuk memilih dari N-1 order harmonisa yang dikurangi (termasuk triplen) seperti 3,5,7,9, dan sebagainya. Dapat ditulis sebagai :

$$\begin{bmatrix} 2 \cos \alpha_1 & -2 \cos \alpha_2 & 2(-1)^{N+1} \cos \alpha_N \\ 2 \cos 3\alpha_1 & -2 \cos 3\alpha_2 & 2(-1)^{N+1} \cos 3\alpha_N \\ 2 \cos(x_3)\alpha_1 & -2 \cos(x_3)\alpha_2 & 2(-1)^{N+1} \cos(x_3)\alpha_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\pi\alpha_1}{4} + 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

dimana

$$x_3 = 2N - 1 \dots\dots\dots 3.19$$

Lampiran A mengilustrasikan persamaan 3.19 dengan $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \dots < \alpha_N < \frac{\pi}{2}$.

Frekuensi switching (fc) untuk inverter satu fasa ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

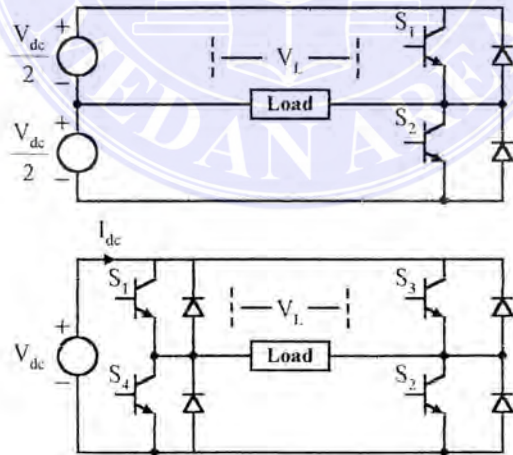
$$f_c = (2N + 1) f \dots\dots\dots 3.20$$

dimana :

N = Variabel N adalah banyak penyalan (α_1 hingga α_N)

f = frekuensi input

fc = frekuensi switching (jumlah siklus arus yang diinterupsi tiap detik pada tiap switch)



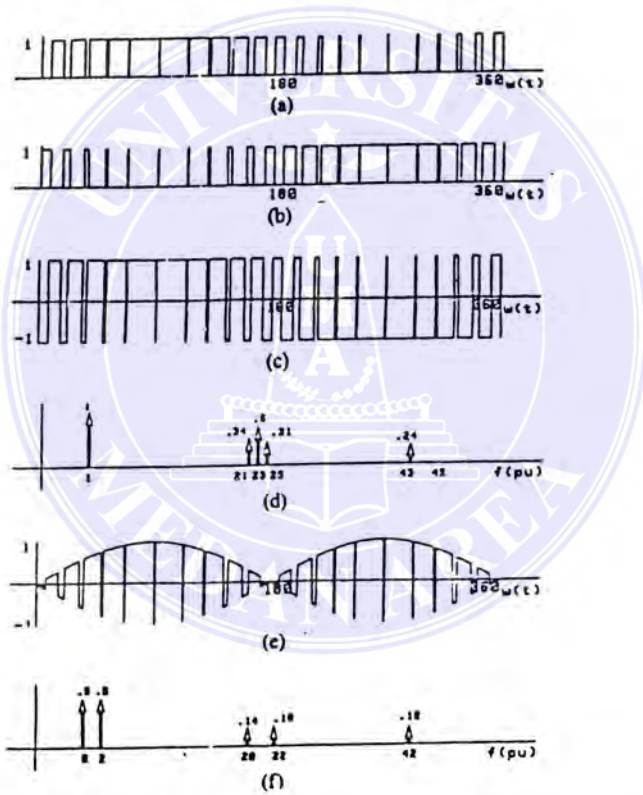
Gambar 3.21 (a) Inverter Satu Fasa Setengah Gelombang ;
(b) Inverter Satu Fasa Setengah Gelombang Penuh

Gambar 3.22a hingga 3.22f merupakan ilustrasi dan inverter satu fasa jembatan penuh pada SLN untuk $N = 11$. Gambar 3.22a dan 3.22b menunjukkan sinyal gerbang untuk switch S1 dan S3. Gambar 3.22c dan 3.22d merupakan tegangan line to line. Orde dari harmonisa pertama dan kedua pada output inverter adalah :

$$D_1 = 2N + 1$$

$$D_2 = 2N + 3 \dots\dots\dots 3.21$$

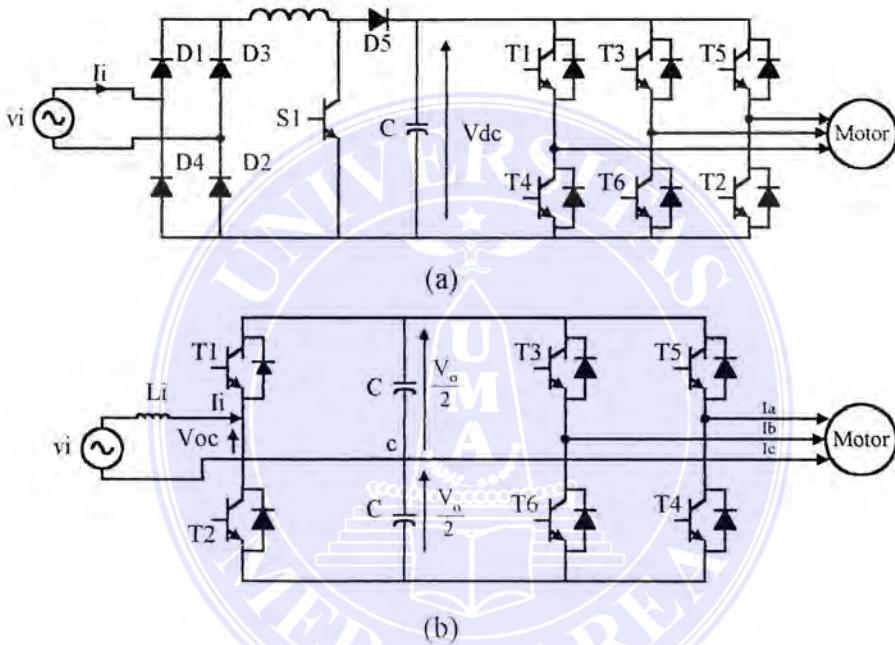
Gambar Adalah pada lampiran menunjukkan variasi umum dari D_1 dan D_2 untuk perubahan pada tegangan output (V_1). Gambar 3.22e dan 3.22f menggambarkan arus input I_{dc} dan spektrum frekuensinya untuk $pf = 1$.



Gambar 3.22. Bentuk Gelombang Dari Inverter Jembatan Penuh Satu Fasa Pada Program PWM SLN1 ; (a). Sinyal Gelombang Switch S1 (SW1) ; (b). Sinyal Gelombang Switch S3 (SW3) ; (c). Tegangan Line To Line (VL) ; (d). Spektrum Frekuensi Dari (e). Arus Input DC ; I_{dc} ($pf = 1$) ; (f). Spektrum Frekuensi dari (e)

3.6. Konverter Satu Fasa Ke Tiga Fasa

Untuk mengkonversikan sistim satu fasa ke sistim tiga fasa dengan menggunakan peralatan semikonduktor daya dapat dilakukan dengan mengkombinasikan rectifier (penyearah) dengan inverter. Penyearah yang digunakan disini adalah penyearah satu fasa dan inverter yang digunakan adalah inverter tiga fasa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat rangkaian seperti di bawah ini.



Gambar 3.23.

(a). Konverter Satu fasa Ke Tiga fasa Konvensional : (b). Konverter Satu Fasa Ke Tiga fasa Dengan 6 Buah IGBT Dan 6 Buah Dioda Daya

Konverter yang dibahas pada makalah ini adalah konverter untuk jenis gambar 3.23b dengan tujuan untuk menghasilkan kinerja yang lebih baik serta ditujukan untuk meminimisasi penggunaan peralatan elektronika daya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari uraian-uraian pada bab sebelumnya maka dapat diambil beberapa kesimpulan berikut :

1. Motor induksi tiga fasa dapat dioperasikan pada suplai daya satu fasa.
2. Konverter yang digunakan menggunakan enam switch IGBT dan enam buah dioda daya sehingga meminimasi biaya peralatan yang digunakan.
3. Arus input yang aktif yang menuju konverter mengandung harmonisa.
4. Arus input yang menuju konverter dapat diperbaiki mendekati bentuk sinus dengan faktor daya mendekati satu sehingga meningkatkan kualitas output dari konverter.
5. Konverter yang dimaksud lebih baik digunakan untuk melayani sebuah beban tiga fasa karena konverter pada invertornya menggunakan pengontrolan dengan dua fasa tegangan (PAPWM).

5.2. Saran

Makalah Tugas Akhir ini ditujukan untuk memberikan suatu pemikiran untuk mengatasi kesulitan menjalankan motor induksi tiga fasa pada daerah/tempat yang hanya tersedia satu fasa dengan menggunakan kemajuan-kemajuan yang telah diperoleh dari bidang elektronika daya. Konverter yang dibahas pada makalah ini hanya menggunakan enam switch IGBT dan dioda daya untuk meminimasi penggunaan peralatan.

Penulis memiliki beberapa saran untuk yang menyangkut tugas akhir ini antara lain :

1. Untuk menggunakan konverter satu fasa ke tiga fasa ini maka perlu terlebih dahulu diketahui kapasitas dari motor induksi tiga fasa yang akan dijalankan guna mengetahui kapasitas konverter yang akan digunakan.
2. Untuk mengetahui nilai induktor, frekuensi switching dari front end rectifier (penyearah muka) dan kapasitor dc-link perlu diketahui tegangan serta frekuensi sumber satu fasa.
3. Perlu studi yang lebih lanjut untuk mengetahui kemungkinan penggunaan konverter sekaligus sebagai pengereman regeneratif pada motor.



DAFTAR PUSTAKA

1. A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Ir Stephen D Umans, Ir Djoko Achyanto M.Sc. E. E. "*Mesin-Mesin Listrik*". Erlangga, Jakarta 1989.
2. Bryan Norris, "*Electronic Power Control and Digital Techniques*", McGRAW HILL Book Company.
3. Guy Seguer; Mc. Grow Hill, "*Power Elektronik Converters*", 1986.
4. Hamzah Berahim, Ir, "*Pengantar Teknik Tenaga Listrik*", Andi Offset Yogyakarta, 1996.
5. M. H. Rashid "*Power Electronic Devices and Application*", Printice Hall Engle wood Cliffs New Jersey, 1933.
6. M. H. Rashid "*Elektronika Daya*", 1993.
7. P. C. Sen, "*Principles of Electric Machines and Power Electronics*", Jhon Wiley & Sons.
8. Prasad N. Enjeti and Ashek Rahman, "*A New Single Phase to Three Phase Converter With Active Input Current shapping for Low Cost ac Motor Drives*", IEEE Trans. Industry Application, Vol 29 No.4, July/August 1993.
9. Zuhail "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*", 1988