

2. LANDASAN TEORI

2.1. *Inverter*

Inverter adalah alat yang di gunakan untuk merubah daya DC (*Direct Current*) ke daya AC (*Alternating Current*). Rangkaian *Inverter* menggunakan Transistor atau dengan SCR, dimana untuk daya yang rendah sampai dengan daya sedang digunakan transistor, sedangkan untuk daya yang tinggi menggunakan SCR. Untuk penggunaan *Inverter*, transistor mempunyai perbedaan dengan SCR yaitu kecepatan *Switching* yang mempengaruhi frekuensinya, kemudahan pengontrolan, efisiensi transistor lebih besar dan lebih kuat, sedangkan *Inverter* dengan SCR membutuhkan peralatan ekstra yang cukup banyak dan rumit. *Inverter* dengan transistor banyak sekali penggunaannya, misalnya untuk daya pada peralatan elektronik, dalam pendinginan, penerangan darurat, dsb. Rangkaian *Inverter* dibagi menjadi 2 kelas, yaitu *Inverter amplifier* dengan tipe gelombang sinus (*Sine Wave Inverter*) dan *Inverter saturate switch* dengan tipe gelombang kotak (*Square Wave Inverter*). Dalam *Inverter amplifier*, transistor digunakan mengoperasikan *amplifier* dalam keadaan tidak jenuh (*Non Saturate Condition*). Efisiensi dan *Inverter* tipe ini biasanya kecil, karena banyak daya yang diserap oleh transistor. *Inverter* ini banyak digunakan untuk daya *output* kecil dan *power factor* beban serta regulasi beban tidak penting, efisiensi tidak diperhitungkan. Sedangkan *Inverter saturate switch* mempunyai efisiensi yang tinggi, karena transistor atau SCR digunakan untuk operasi seperti *switch*, yaitu keadaan *on* atau *off*. *Inverter* tipe ini diklasifikasikan dalam 2 jenis, yaitu *Voltage Driven Inverter* (*Inverter Tegangan*) dan *Current Driven Inverter* (*Inverter Arus*). Dalam penggunaan penyediaan sumber listrik pada kendaraan bermotor menggunakan *Inverter Saturate Switch* dan jenis *Inverter* arus.

2.2. *Multivibrator*

Multivibrator (MV) adalah rangkaian pembangkit pulsa yang menghasilkan keluaran gelombang segi empat. *Multivibrator* diklasifikasikan menjadi *multivibrator astable*, *bistable* dan *monostable*. *Multivibrator* merupakan suatu sistem yang berfungsi sebagai pembangkit pulsa/*trigger* gelombang kotak.

Multivibrator dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *Monostable Multivibrator* dan *Astable Multivibrator*. Untuk menentukan apakah rangkaian yang kita rencanakan adalah rangkaian *astable multivibrator* atau rangkaian *monostable multivibrator* dengan menggunakan tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Fungsi dari *Multivibrator*

FUNCTION	TERMINAL CONNECTIONS			OUTPUT PULSE FROM	OUTPUT PERIOD OR PULSE WIDTH
	TO V _{DD}	TO V _{SS}	INPUT TO		
Astable Multivibrator:					
Free Running	4,5,6,14	7,8,9,12	-	10,11,13	$t_A(10,11) = 4.40 RC$ $t_A(13) = 2.20 RC^*$
True Gating	4,6,14	7,8,9,12	5	10,11,13	
Complement Gating	6,14	5,7,8,9,12	4	10,11,13	
Monostable Multivibrator:					
Positive-Edge Trigger	4,14	5,6,7,9,12	8	10,11	$t_M(10,11) = 2.48 RC$
Negative-Edge Trigger	4,8,14	5,7,9,12	6	10,11	
Retriggreable	4,14	5,6,7,9	8,12	10,11	
External Countdown ^a	14	5,6,7,8,9,12	-	10,11	

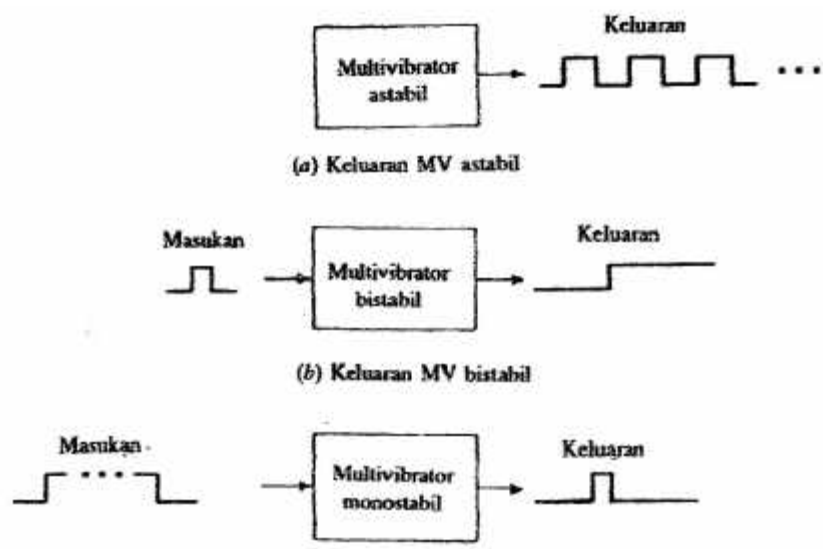
Pada penulisan tugas akhir mi yang digunakan hanya rangkaian *astable multivibrator* karena yang dibutuhkan adalah gelombang keluaran/*output* yang memiliki kondisi positif dan *negative trigger (free running)*. *Multivibrator* ini terdiri dan: *+trigger*, *-trigger*, *astable*, dan *re-trigger*. Rangkaian *astable multivibrator* memiliki *external reset buffer output* yaitu \bar{Q} , Q dan *oscilator*. Untuk. semua mode operasi, eksternal kapasitor harus disambungkan antara *C-timing* dan *RC-common* terminal, dan eksternal resistor harus disambungkan antara *R-timing* dan juga pada *RC-common* terminal. Untuk menentukan besarnya frekuensi yang dibangkitkan oleh *multivibrator* maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_A = 4.40RC \quad (2.1)$$

Sedangkan untuk menentukan besarnya daya *output* yang dihasilkan oleh *Multivibrator* pada pin no. 10 dan no. 11 menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = 4CV^2f \quad (22)$$

Suatu *multivibrator* astabil juga disebut dengan *multivibrator* bergerak bebas. *Multivibrator* astabil menghasilkan aliran kontinu pulsa-pulsa sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.1(a) dibawah ini:

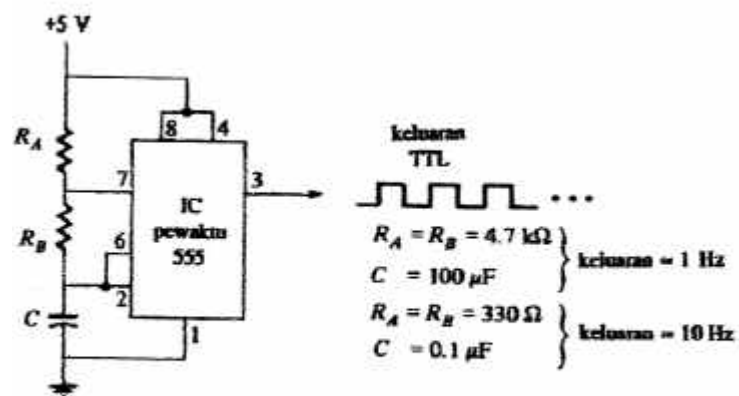


Gambar 2.1. Gelombang *Output* dan *Multivibrator*

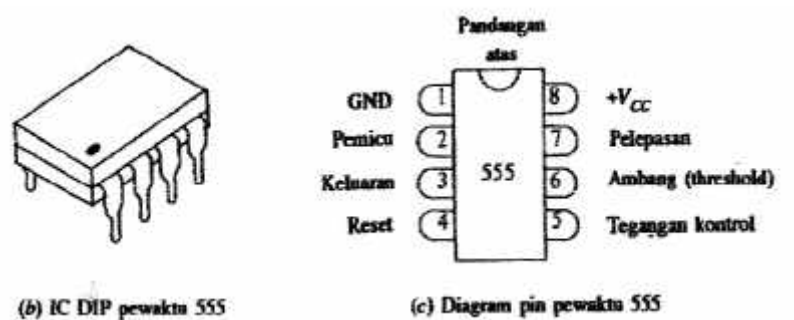
Sumber: Tokheim, Roger L.M.S. *Prinsip-prinsip Digital*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1994, hal. 132.

Multivibrator bistabil disebut juga dengan *flip-flop*. *Multivibrator* bistabil selalu dalam keadaan stabil satu atau dua (set atau reset). Bentuk dari *multivibrator* bistabil dapat dilihat pada Gambar 2.1(b), dengan pulsa masukan memicu perubahan bentuk keluaran dari rendah ke tinggi.

Multivibrator monostabil disebut juga *multivibrator* satu-pulsa. Ketika satu pulsa dipicu, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.1(c), maka *multivibrator* menghasilkan satu pulsa pendek.



(a) IC pewaktu 555 disambungkan sebagai sebuah MV astabil

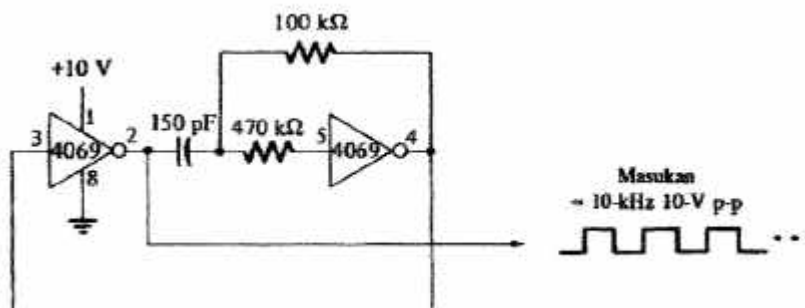


Gambar 2.2. Multivibrator dengan IC 555

Sumber. Tokheim, Roger L.M.S. *Prinsip-prinsip Digital*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1994, hal 133.

2.2.1. Multivibrator Astabil

IC pewaktu 555 multiguna dapat digunakan sebagai *multivibrator* astabil, bistabil atau monostabil. Pewaktu 555 menunjukkan hubungan seperti *multivibrator* astabil (bergerak bebas) dalam Gambar 2.2(a). Jika kedua resistor (R_a dan R_b) = 4,7 k Ω dan $C = 100 \mu\text{F}$, maka keluarannya akan melalui level pulsa TTL path frekuensi 1 Hz. Frekuensi keluaran *multivibrator* terlihat pada Gambar 2.2(a) dapat ditingkatkan dengan menurunkan nilai dan resistor dan/atau kapasitornya. Sebagai contoh, jika resistor (R_a dan R_b) = 330 Ω dan $C = 0,1 \mu\text{F}$, maka frekuensi keluaran akan naik menjadi 10 kHz. Pewaktu 555 biasanya dijual dalam bentuk IC DIP 8-pin seperti terlihat pada Gambar 2.2(b) dan fungsi semua pin untuk IC pewaktu 555 diperlihatkan pada Gambar 2.2(c).

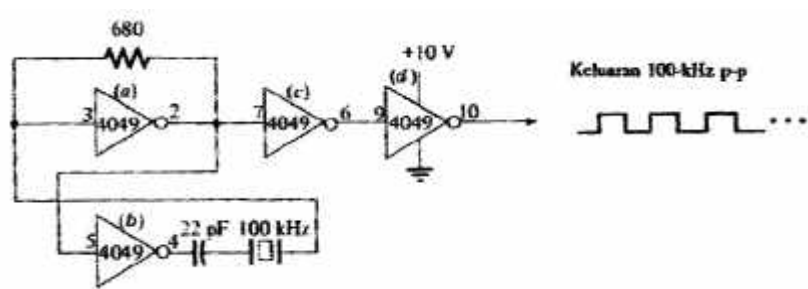


Gambar 2.3. Multivibrator Astable Menggunakan pengubah CMOS

Sumber: Tokheim, Roger L.M.S. *Prinsip-prinsip Digital*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1994, hal 133.

Rangkaian *multivibrator* astabil lainnya diperlihatkan pada Gambar 2.3. *Multivibrator* bergerak bebas ini menggunakan dua pembalik CMOS dari IC pengubah hex 4069. Perlu diperhatikan bahwa penggunaan dari sumber daya DC 10V adalah biasa (tetapi bukan standar) 10 kHz. Frekuensi keluaran dapat divariasikan dengan mengubah nilai dari tahanan dan kapasitor dalam rangkaian.

Rangkaian *multivibrator* astabil lainnya yang menggunakan pengubah CMOS diperlihatkan pada Gambar 2.4. *Multivibrator* bergerak bebas ini mengandung osilator yang dikontrol oleh kristal (4049a dan 4049b) dengan pengubah (4049c dan 4049d) yang digunakan untuk menaikkan gelombang persegi. Frekuensi keluaran dikontrol oleh frekuensi alamiah kristal, yang besarnya 10 kHz dalam rangkaian ini. Frekuensi ini sangat stabil. Keluaran gelombang persegi pada tingkat tegangan CMOS (sekitar 10V p-p).



Gambar 2.4. *Multivibrator* Astable dikontrol oleh Kristal

Sumber: Tokheim, Roger L.M.S. *Prinsip-prinsip Digital*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1994, hal. 134.

Multivibrator astabil sering disebut dengan detak bila mereka digunakan dalam sistem digital. Sistem detak digunakan dalam semua sistem dasar *mikroprosesor* dan *digital sinkron*. Beberapa karakter penting dari detak dalam sistem digital adalah frekuensi, waktu putaran detak, kestabilan frekuensi, kestabilan tegangan, dan bentuk gelombang. Waktu putaran detak dapat dihitung dengan persamaan:

$$T = 1/f \quad (2.3)$$

dengan T = periode, detik

f = frekuensi, Hz

detak memerlukan pulsa gelombang persegi dengan waktu naik dan waktu turun yang cepat.

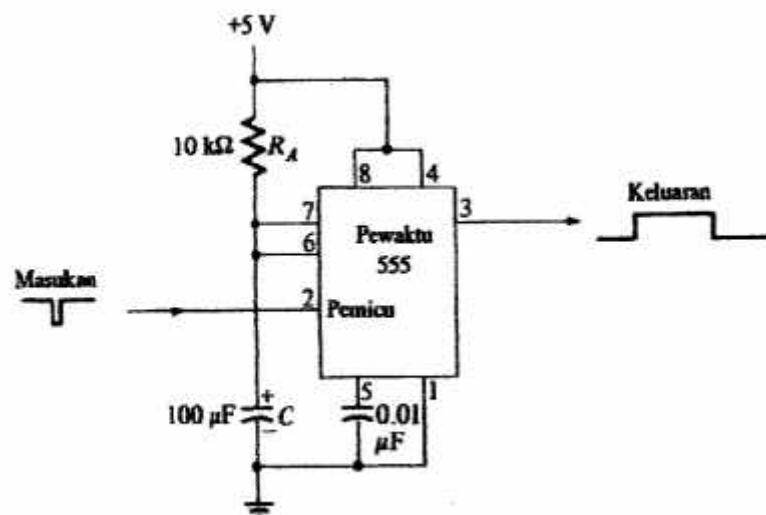
2.2.2. *Multivibrator* Monostabil

Multivibrator monostabil atau satu tembakan menghasilkan pulsa keluaran dengan lama waktu tetap, setiap saat inputnya dipicu. Ide dasar dari *multivibrator* monostabil diperlihatkan pada Gambar 2.1, pemicuan masukan dapat keseluruhan pulsa, transisi detak dan R (rendah) ke T (tinggi), atau transisi pulsa pemicu dan T ke R bergantung pada satu tembakan. Pulsa keluaran dapat berupa pulsa negatif atau positif. Pendesain dapat mengatur lamanya waktu pulsa keluaran dengan menggunakan kombinasi kapasitor-resistor yang berlainan. Pewaktu IC 555 disesuaikan, dihubungkan sebagai *multivibrator* satu tembakan dalam gambar 2.5. Pulsa masukan negatif pendek menyebabkan pulsa keluaran positif panjang. Lamanya waktu t dan pulsa keluaran dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T = 1,1 R_a C \quad (2.4)$$

dengan R_a sebanding dengan nilai resistor dalam ohm, C sebanding dengan nilai kapasitor dalam farad, dan t sebanding lamanya waktu pulsa keluaran dalam detik. Dengan menghitung lamanya waktu pulsa keluaran t untuk satu tembakan seperti terlihat pada Gambar 2.5 kita dapatkan

$$t = 1,1 \times 10.000 \times 0,00001 = 1,1 \text{ detik}$$

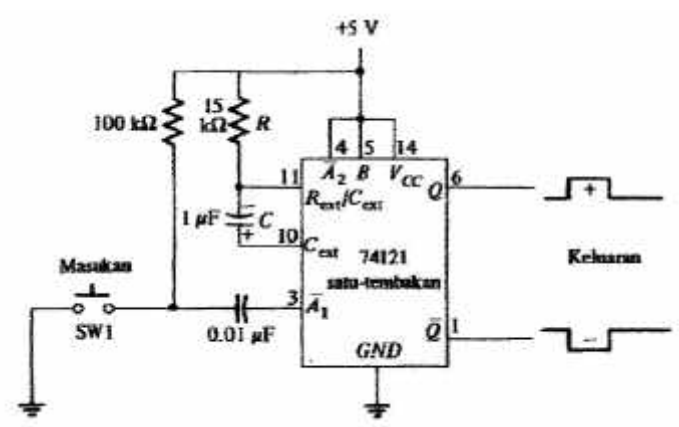


Gambar 2.5. IC 555 dihubungkan sebagai *Multivibrator* Monostabil

Sumber Tokheim, Roger L.M.S. *Prinsip-prinsip Digital*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1994, hal 136.

Lamanya waktu terhitung t dari pulsa keluaran untuk *multivibrator* satu tembakan dalam gambar diatas adalah 1,1 detik.

Multivibrator satu tembakan dalam Gambar 2.5. adalah *nonretriggerable* (bersifat tidak dapat dipicu kembali). Ini berarti bahwa ketika keluaran dan satu tembakan tinggi, ia akan diabaikan oleh setiap pulsa masukan. Selain *multivibrator* jenis *nonretriggerable* ada juga yang jenis *retriggerable* (bersifat dapat dipicu kembali) Pada Gambar 2.6 IC satu tembakan TTL 74121 digunakan untuk menghasilkan pulsa tingkat TTL tunggal ketika saklar mekanis ditekan. Para pelatih digital telah banyak gunakan dalam pelajaran pulsa detak negatif maupun positif tersedia dalam keluaran normal (Q) dan komplementnya (\bar{Q}) dari IC satu tembakan 74121.



Gambar 2.6. IC 74121 Dihubungkan untuk Menghasilkan Pulsa Detak Tunggal
Sumber: Tokheim, Roger L.M.S. *Prinsip-prinsip Digital*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1994, hal 136.

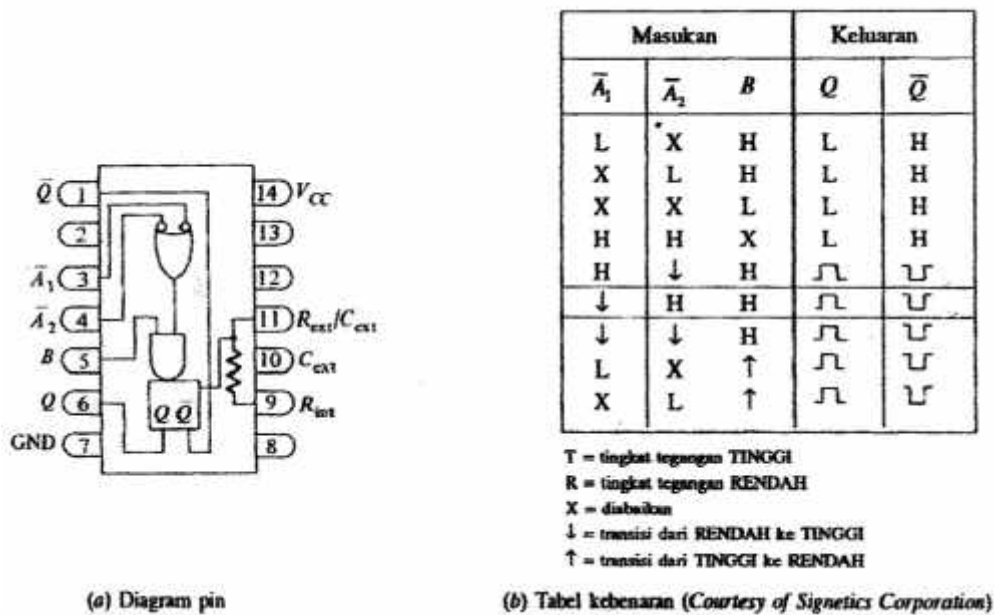
Lamanya pulsa keluaran dapat diatur dengan memvariasi nilai tahanan R dan kapasitor C. Untuk menghitung lamanya waktu pulsa keluaran, digunakan persamaan:

$$T = 0,7 RC \quad (2.5)$$

dengan K sebanding dengan nilai resistor dalam ohm, C sebanding dengan nilai kapasitor dalam farad, dan t adalah lamanya pulsa keluaran dalam detik. Dengan menghitung lamanya pulsa keluaran dalam rangkaian satu tembakan pada gambar 2.26, kita dapatkan:

$$t = 0,7 \times 15000 \times 0,000001 = 0,0105 \text{ detik}$$

Lamanya waktu terhitung t untuk pulsa keluaran dan satu tembakan pada gambar 2.26 adalah 0,0 105 detik, atau sekitar 10 mili detik.



Gambar 2.7. IC satu-tembakan ITL 74121 yang ada dipasaran

Sumber: Tokheim, Roger L.M.S. *Prinsip-prinsip Digital*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1994, hal 137.

Diagram pin dan tabel kebenaran untuk IC satu-tembakan 74121 digambar ulang dalam Gambar 2.7. Perlu diperhatikan bahwa IC 74121 satu tembakan memiliki tiga masukan pemicu terpisah (\bar{A}_1 , \bar{A}_2 , dan B). Khususnya, hanya masukan tunggal yang akan digunakan pada satu waktu. Di dalam pemasangannya terlihat pada gambar 2.7, masukan \bar{A}_1 (pin no 3) berlaku sebagai masukan pemicu. Hal ini sesuai dengan situasi 6 jalur dan tabel kebenaran. Masukan \bar{A}_2 dan B adalah TINGGI, dan masukan pemicu \bar{A}_1 beraksi pada transisi RENDAH ke TINGGI dari pulsa pemicu.. *Multivibrator* monostabil adalah berguna bagi penerapan pewaktu ketika faktor ketelitian tidak kritis. Satu tembakan juga digunakan untuk memperkecil penundaan dalam sistem digital.

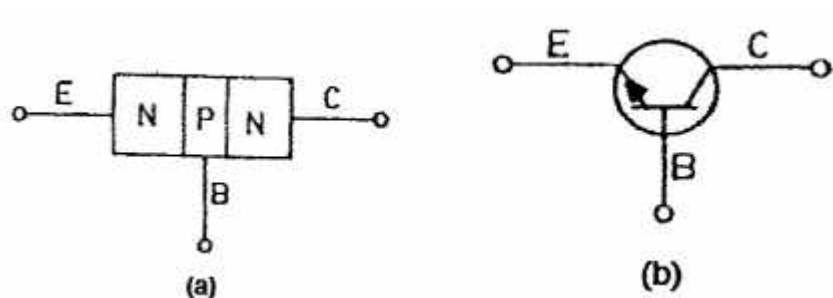
2.3. Transistor

Transistor berasal dari kata *transfer* dan *resistor* yang artinya perubahan perlawanan atau perpindahan. Pada dasarnya sebuah transistor terbuat dan kristal Germanium atau Silikon yang terdiri dan 3 sisi, dua sisi tipe P yang dipisahkan

oleh sebuah sisi tipe N, atau dua sisi tipe N yang dipisahkan oleh dua sisi tipe P. Jenis yang pertama disebut *transistor* PNP sedangkan untuk jenis yang kedua disebut transistor NPN.

2.3.1. Transistor NPN

Pada Gambar 2.8a akan terlihat struktur dasar dan transistor NPN. Bagian N sebelah kiri disebut emitor (E), bagian N sebelah kanan disebut kolektor (C), sedangkan bagian P diantara kedua bagian N tersebut dinamakan basis (B). Emitor dan kolektor terbuat dari bahan semikonduktor jenis N yang di *doped* lebih keras (*heavily doped*) sedangkan basis terbuat dari bahan semikonduktor jenis P yang di *doped* sangat ringan (*lightly doped*) dan dengan ukuran yang sangat tipis. Pada Gambar 2.8b memperlihatkan simbol transistor NPN, tanda panah menyatakan emitor (E) dan juga menunjukkan arah arus konvensional.

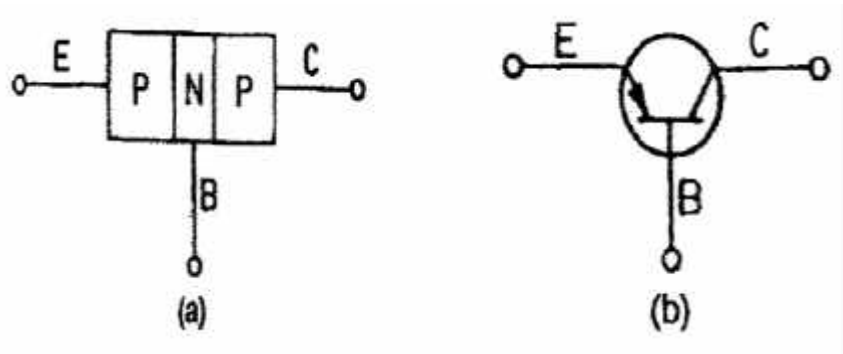


Gambar 2.8. Transistor NPN

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 98.

2.3.2. Transistor PNP

Pada transistor ini emitor dan kolektor terbuat dari bahan semikonduktor jenis P dan pada basis jenis N. Pada Gambar 2.9a dan Gambar 2.9b emitor disimbolkan dengan tanda panah yang mengarah ke dalam transistor. Dengan tanda panah pada emitor kita dapat membedakan jenis transistor dalam rangkaian.

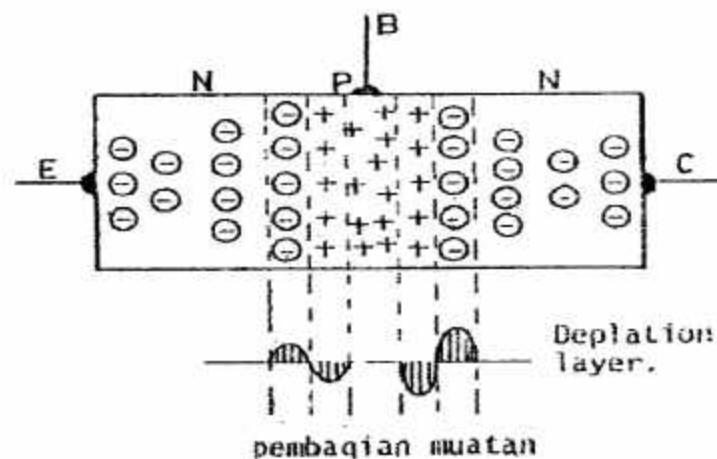


Gambar 2.9. Transistor PNP

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 99.

2.3.3. Pembagian Muatan di Dalam Transistor NPN dan PNP

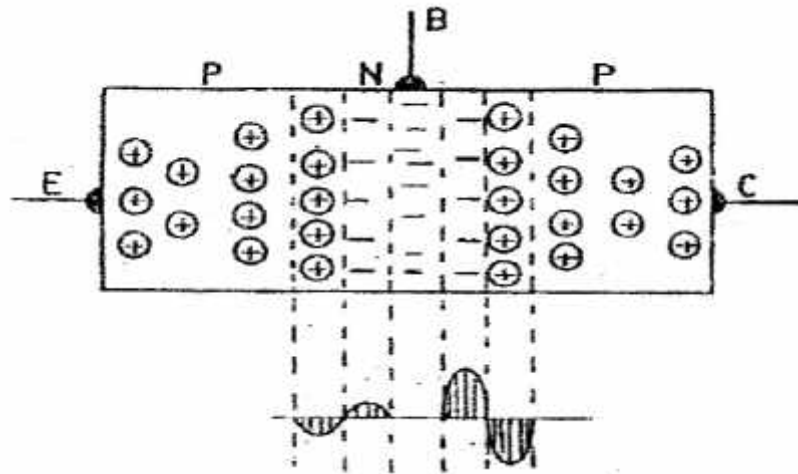
Pada Gambar 2.10 terlihat pembagian muatan dalam transistor NPN. Sewaktu pembuatan transistor di sekitar *junction* E-B dan C-B terjadi suatu daerah netral yang disebut *depletion layer*. *Depletion layer* ini lebih lebar pada *junction* C-B karena secara fisik kolektor lebih besar dan emitor. Disini elektron berfungsi sebagai pembawa muatan, karena ia mempunyai jumlah yang paling banyak/*majority*. Oleh karena itu ia juga disebut *majority carriers* dan *holes minority carriers*.



Gambar 2.10. Pembagian Muatan pada Transistor NPN

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 99.

Pada Gambar 2.11 diperlihatkan pembagian muatan pada transistor PNP. Disini *holes* mempunyai jumlah mayoritas, oleh sebab itu ia disebut pula *majority carriers* sedangkan elektron *minority carrier*.

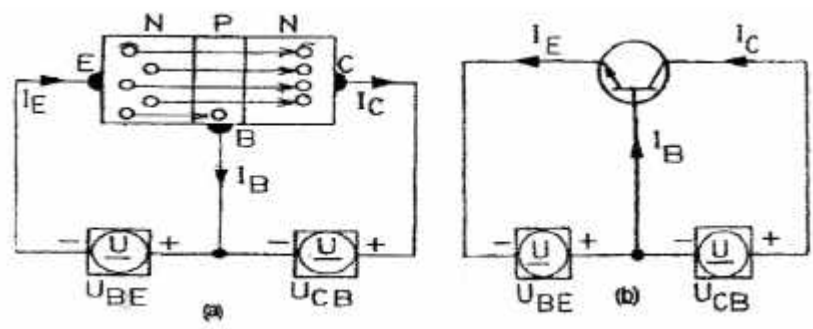


Gambar 2.11. Pembagian Muatan pada Transistor PNP

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 100.

2.3.4. Cara Kerja Transistor NPN dan PNP

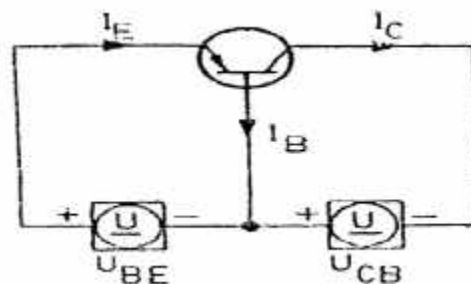
Pada transistor NPN yang berfungsi pembawa muatan adalah elektron. Elektron-elektron pada emitor didorong oleh elektron-elektron dari kutub negatif V_{BE} ke arah basis. Karena basis di *doped* I_e secara ringan, sedikit sekali (5%-0,1%) elektron dan emitor yang terkombinasi dengan *hole* di daerah basis. Jadi aliran elektron dari emitor ke basis hanya 5%-0,1% saja atau $I_B = 5\%-0,1\%$ dari I_e . Pada waktu bersamaan, kutub positif V_{CB} menarik elektron dari kolektor. Karena basis sangat tipis, elektron dari emitor yang tidak berkombinasi dengan basis (95%-99,9%) menerobos basis menuju ke kolektor atau $I_C = 95\%-99,9\%$ dari I_e .



Gambar 2.12. Cara Kerja Transistor NPN

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 100.

Pada Gambar 2.12a memperlihatkan jalannya arus pada transistor NPN. Menurut hukum Kirchoff (arus), jumlah arus pada suatu titik 0. Jadi $I_E - I_C - I_B = 0$ atau $I_E = I_C + I_B$. Arus emitor adalah jumlah arus kolektor dan arus basis. Cara kerja transistor PNP pada dasarnya sama saja dengan transistor NPN. Disini hole berfungsi sebagai pembawa muatan.



Gambar 2.13. Cara Kerja Transistor PNP

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 100.

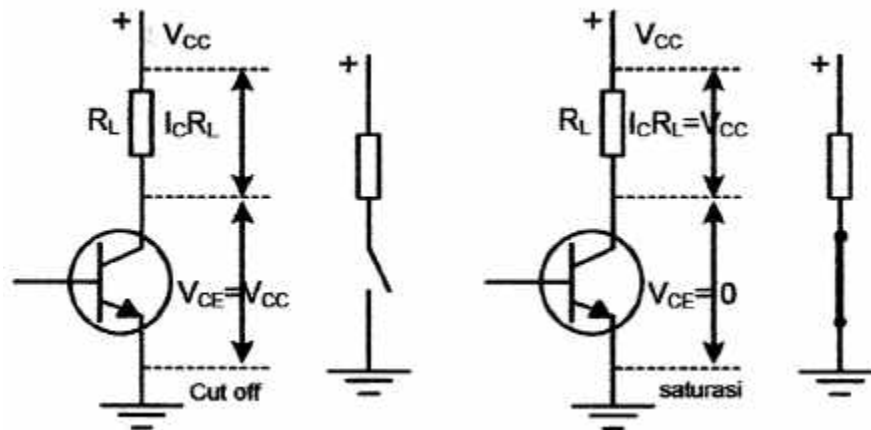
Path Gambar 2.13 diatas memperlihatkan jalannya arus pada transistor PNP dengan $I_E = I_C + I_B$. (2.6)

2.3.5. Transistor Sebagai Saklar

Dengan memanfaatkan sifat hantar transistor yang tergantung dan tegangan antara elektroda basis dan emitter (V_{BE}), maka kita dapat menggunakan transistor ini sebagai sebuah saklar elektronik, dimana saklar elektronik ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan saklar mekanik, seperti:

- Fisik relative jauh lebih kecil,
- Tidak menimbulkan suara dan percikan api saat pengontakan
- Lebih ekonomis

Prinsip saklar elektronik dengan transistor diperlihatkan seperti Gambar 2.14, dimana dalam gambar tersebut diperlihatkan kondisi *ON* dan *OFF* nya.

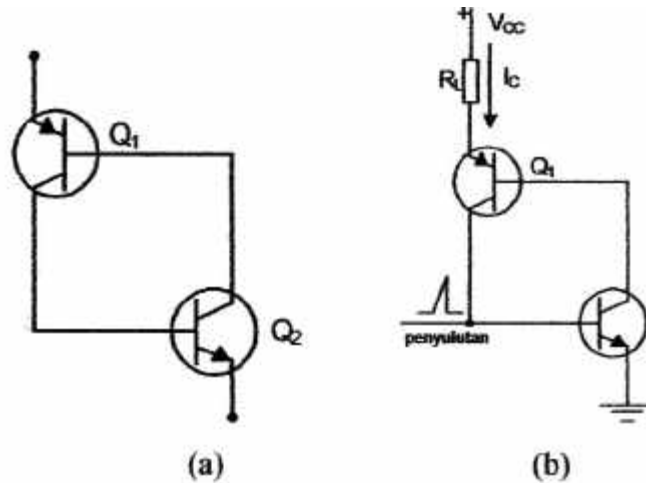


Gambar 2.14 Prinsip Saklar Transistor

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 100.

Kondisi *OFF* terjadi jika $I_C \cdot R_L = 0$, dimana dalam kondisi ini tegangan U_{BE} lebih kecil dan tegangan konduk transistor, sehingga tegangan V_{CE} . Sedangkan kondisi *ON* atau disebut juga kondisi saturasi akan terjadi jika $I_C \cdot R_L = V_{CC}$ dimana dalam kondisi ini V_{BE} sudah mencapai tegangan konduk transistor sehingga $V_{CE} = 0$.

Selain itu prinsip *switching* ini juga diterapkan dalam rangkaian kaskade, yaitu rangkaian yang terdiri dari dua buah transistor dengan pengutuban berbeda PNP dan NPN yang dihubung seri seperti gambar dibawah ini, dimana saklar ini akan terbuka jika persambungan antara Kolektor transistor -1 (Q1) dan Basis transistor-2 (Q2) diberikan signal penyulut (*trigger*).



Gambar 2.15 Rangkaian Kaskade Transistor

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 100.

Pada Gambar 2.14 akan diperoleh gambaran formulasi untuk perancangan transistor sebagai saklar yaitu:

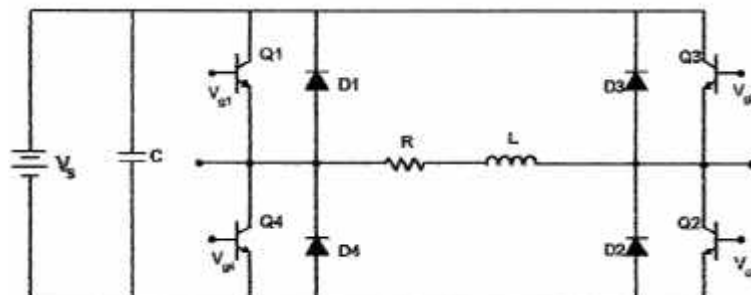
$$I_C = I_C (\text{saturasi}) = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (2.7)$$

$$I_C = \frac{I_C (\text{saturasi})}{b} = \frac{V_{CC}}{b R_C} \text{ dan } I_E = I_B + I_C \quad (2.8)$$

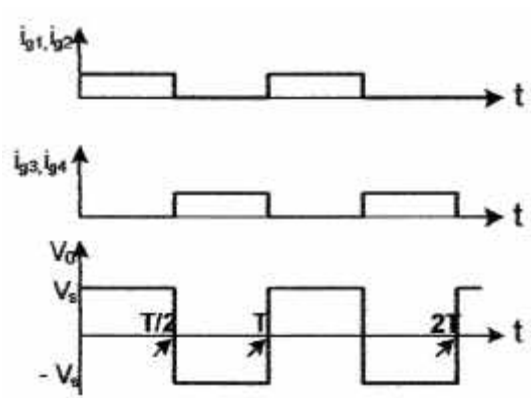
$$I_B = \frac{(V_{HI} - V_{BE})}{R_B} \text{ atau } R_B = \frac{(V_{HI} - V_{BE}) b_{\min} R_C}{V_{CC}} \quad (2.9)$$

2.3.6. Transistor Sebagai Penguat

Pada sistem jembatan akan diperoleh tegangan keluaran sebesar V_s dan $-V_s$. Karena sistem hubungan pada sumbernya hanya menggunakan sistem dua kawat.



(a) Gambar Rangkaian



(b) Bentuk gelombang keluaran

Gambar 2.16 *Inverter* satu-fasa sistem jembatan

Sumber: Rusli, Ridwan. Drs. *Teknik Elektronika*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1997, hal 100.

Ketika transistor Q₁ dan Q₂ di-*on*-kan secara bersamaan, tegangan masukan V_s akan muncul sebagai tegangan keluaran pada bebannya. Kemudian apabila transistor Q₃ dan Q₄ di-*on*-kan pada waktu yang sama, tegangan yang muncul pada bebannya menjadi terbalik polaritasnya, yang mana besarnya $-V_s$. Bentuk gelombang keluarannya ditunjukkan path gambar 3.5.b.

Path perancangan ini, akan ditentukan berdasarkan bentuk gelombangnya, antara lain

1. Tegangan Keluaran rms adalah:

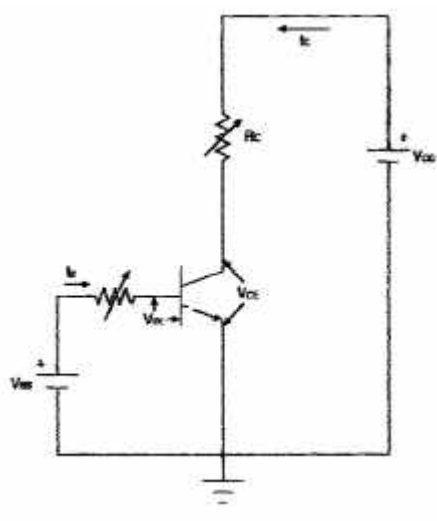
$$V_o = \left| \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} V_x^2 dt \right|^{1/2} = V_s \quad (2.10)$$

2. Arus Keluaran mis adalah:

$$I_o = V_o / R \text{ ampere} \quad (2.11)$$

2.3.7. Karakteristik Kolektor

Untuk mempelajari karakteristik transistor, maka transistor dipasang dalam rangkaian seperti pada gambar dibawah ini.

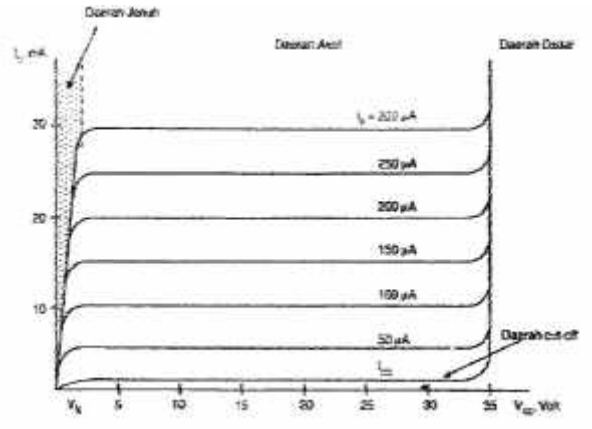


Gambar 2.17. Rangkaian yang digunakan untuk Mempelajari Karakteristik Kolektor

Sumber: Sri Widodo, Thomas. Dr. Ir. DEA. *Elektronika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika, 2002, hal 50.

Kurva karakteristik kolektor merelasikan I_C dan V_{CE} dengan I_B sebagai parameter. Pada gambar diatas terlihat bahwa kurva kolektor terbagi menjadi tiga daerah, yaitu jenuh, aktif, dan *cut off*.

- Daerah jenuh (saturasi) adalah daerah dengan V_{CE} kurang dari tegangan lutut (*knee*) V_K . Daerah jenuh terjadi bila sambungan emitor dan sambungan basis diberi bias maju. Pada daerah jenuh arus kolektor tidak tergantung pada nilai I_B . Tegangan jenuh kolektor-emitor, $V_{CE(sat)}$ untuk transistor silikon adalah 0,2 V sedangkan untuk transistor germanium adalah 0,1 V.
- Daerah aktif adalah antara tegangan lutut V dan tegangan *breakdown* (V_{BB}) serta diatas $I_B = I_{CO}$. Daerah aktif terjadi bila sambungan emitor diberi bias maju dan sambungan kolektor diberi bias balik. Pada daerah aktif arus kolektor sebanding dengan arus basis. Penguatan sinyal masukan menjadi sinyal keluaran terjadi pada daerah aktif.
- Daerah *cut-off* terletak di bawah $I_B = I_{CO}$. Sambungan emitor dan sambungan kolektor diberi bias batik. Pada daerah ini $I_E = 0$; $I_C = I_{CO} = I_B$.

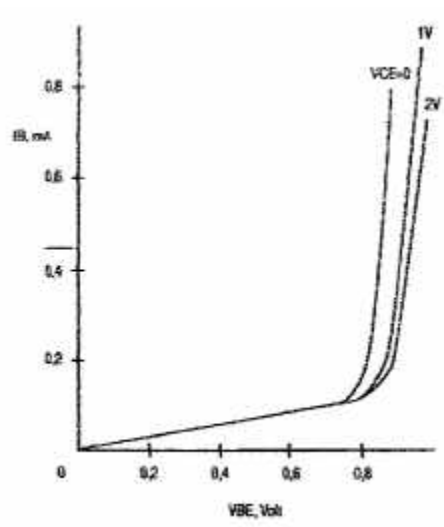


Gambar 2.18. Kurva Karakteristik Kolektor

Sumber: Sri Widodo, Thomas. Dr. Ir. DEA. *Elektronika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika, 2002, hal 51.

2.3.8. Karakteristik Basis

Kurva karakteristik basis merelasikan antara arus basis I_B dan tegangan basis-emiter V_{BE} dengan tegangan kolektor-emiter sebagai parameter seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.19. Kurva Karakteristik Basis

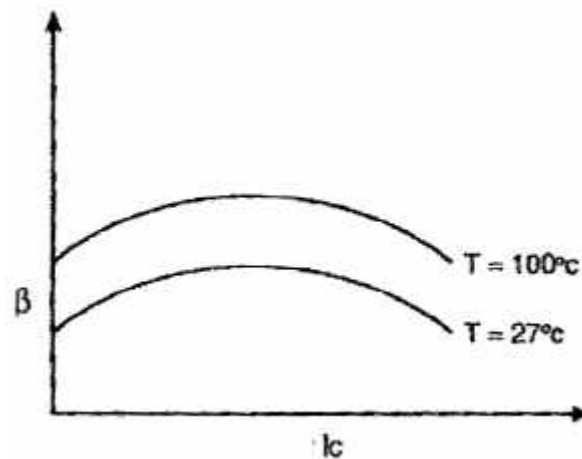
Sumber: Sri Widodo, Thomas. Dr. Ir. DEA. *Elektronika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika, 2002, hal 51.

Pada Gambar 2.16 terlihat dengan menghubungkan singkat kolektor-emiter ($V_{CE} = 0$) dan emitter diberi bias maju, karakteristik basis seperti diode. Dengan bertambahnya V_{CE} pada V_{BE} konstan, maka daerah deplesi disambungkan kolektor bertambah dan mengakibatkan lebar basis efektif berkurang. Dengan

berkurangnya lebar basis, maka arus basis rekombinasi berkurang, pengaruh ini disebut *Early Effect*. Titik ambang (*threshold*) atau tegangan lutut (V_K) untuk transistor germanium adalah di sekitar 0,1 sampai 0,2 V, sedangkan untuk transistor silikon di sekitar 0,5 sampai 0,6 V nilai V_{BE} di daerah aktif adalah 0,2 V pada transistor germanium dan 0,7 untuk silikon.

2.3.9. Kurva Beta

Kurva beta menunjukkan bagaimana nilai β berubah dengan suhu dan arus kolektor (Gambar 2.17). Nilai β bertambah dengan naiknya suhu. Nilai β juga bertambah dengan naiknya arus kolektor I_C Tetapi bila I_C naik di luar nilai tertentu β akan turun.

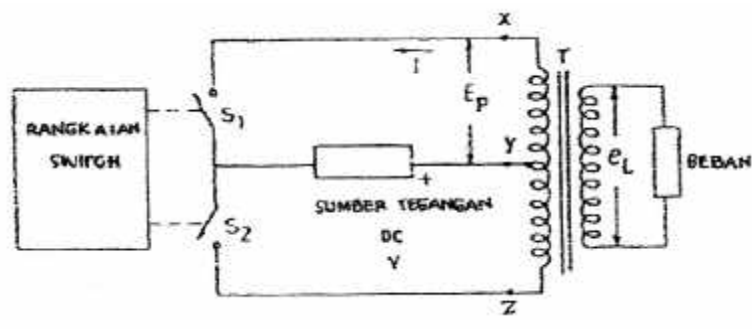


Gambar 2.20. Kurva Beta

Sumber: Sri Widodo, Thomas. Dr. Ir. DEA. *Elektronika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknik, 2002, hal 52.

2.4. Inverter Tegangan (*Voltage Driven Inverter*)

Voltage driven Inverter ialah *Inverter* dimana rangkaian di hubungkan dengan sumber DC (dengan impedansi Thevenin yang ideal = 0) melewati semikonduktor switch, langsung menuju ke kumparan primer dan transformator, seperti pada Gambar 2.18 dibawah ini:



Gambar 2.21. Dasar *Inverter* Tegangan

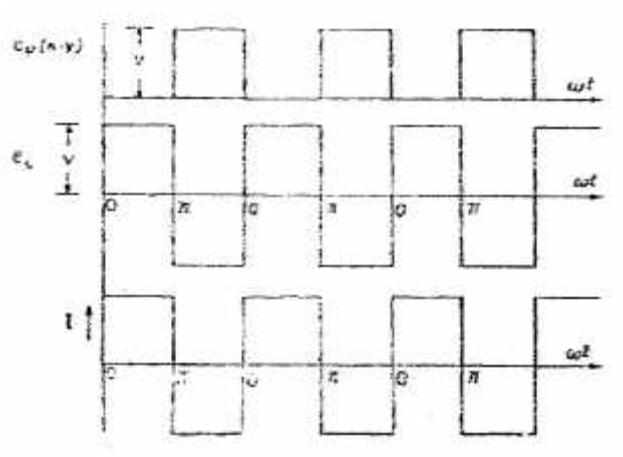
Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 727.

Dalam Gambar 2.18, S1 dan S2 adalah *switch* semikonduktor dengan *alternative open* (buka) dan *closed* (tertutup). Untuk interval waktu tertentu yang tetap, peralatan *switch* didapat dengan operasi *Astable Multivibrator* pada suatu frekuensi tertentu. Ketika *switch* S1 menutup, sumber tegangan akan lewat kumparan primer transformator antara X dan Z. Tegangan jenuh yang *drop* dari peralatan yang kecil, dan biasanya diabaikan. S1 akan menutup untuk periode tertentu sebelum S2 ganti menutup, S2 akan menutup untuk periode waktu yang sama dengan S1, dan selama itu sumber tegangan akan mengalir lewat kumparan primer transformator antara titik Y dan Z. S2 akan membuka dan S1 menutup, demikian bergantian pada periode tetap, sehingga tegangan lain akan diinduksikan pada kumparan sekunder dari transformator T. Selama sumber DC dikenakan langsung pada kumparan primer dan transformator, bentuk gelombang *output* dan *Inverter* selalu kotak. Arus dan *Inverter* tidak selalu kotak tetapi tergantung dari tipe beban, atau *power factor* beban. Variasi beban tersebut adalah:

2.4.1. Beban Resistif

Beban resistif tidak terlalu banyak mempengaruhi bentuk *output* dari arus beban seperti Gambar 2.19. Tegangan *output Inverter* berbentuk kotak, dan karena beban resistif maka Tegangan dan Arus satu fasa, maka gelombang arus juga kotak. Masing-masing *switch* membuka dan menutup selama 180° dan besar

arus tergantung pada besarnya beban. Daya yang diberikan oleh masing-masing semikonduktor adalah $VI dt$.

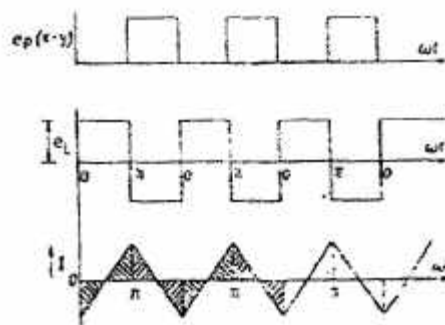


Gambar 2.22. Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus *Inverter* pada Beban Resistif.

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 728.

2.4.2. Beban Induktif

Beban induktif jika disuplai dengan arus AC selalu menyebabkan phase arus bergeser dengan phase tegangan. Pergeseran ini dapat dilihat pada Gambar dibawah ini :



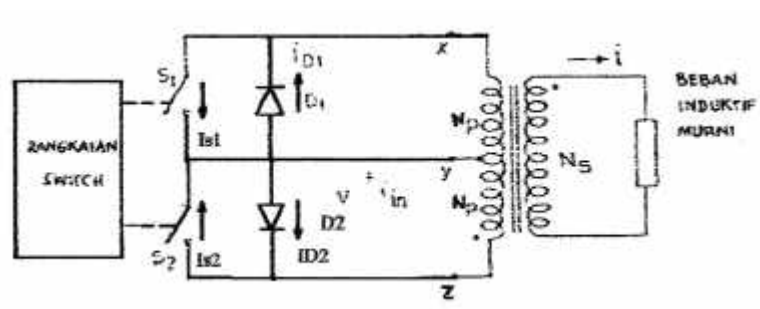
Gambar 2.23. Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Untuk Beban Induktif

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 729.

Dari gambar di atas, daerah arsiran menunjukkan daya beban, dimana saat tegangan beban dan arus beban keduanya positif atau negatif, daya diserap oleh beban, tetapi ketika tegangan dan arus berbalik fasa, daya dikirim oleh beban. Pada beban induktif, sifat dan beban berusaha mendorong arus lewat

oleh beban, tetapi ketika tegangan dan arus berbalik fasa, daya dikirim oleh beban. Pada beban induktif, sifat dan beban berusaha mendorong arus lewat peralatan. Padahal komponen semikonduktor akan menahan dan membalik arus. Arus yang berhenti secara mendadak akan menyebabkan tegangan balik yang sangat besar yang akan lewat transformator pada gulungan primernya. Tegangan balik ini sangat berpengaruh terhadap harga PIV dan komponen semikonduktor. Untuk mengatasi hal ini ada 3 macam cara agar lebih efektif yaitu:

- Dengan memberikan tegangan yang paralel pada beban pada sisi beban *Inverter*. Ini dinamakan "*Preloading Inverter*". *Preloading Inverter* memperbaiki *power factor*, tetapi metode ini menyebabkan efisiensi berkurang, sehingga untuk daya yang sama ukuran *Inverter* harus ditingkatkan.
- Sebagai Pengganti Tahanan, kombinasi rangkaian RC juga bisa ditambahkan paralel dengan beban induktif, tetapi metode ini kurang efektif.
- Dengan menggunakan teori *Back to Back Zener Diode* untuk menahan tegangan *transient* puncak selama *switching*.



Gambar 2.24. Rangkaian *Inverter* dengan Beban Induktif Murni dan Diode *Feed Back*

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 733.

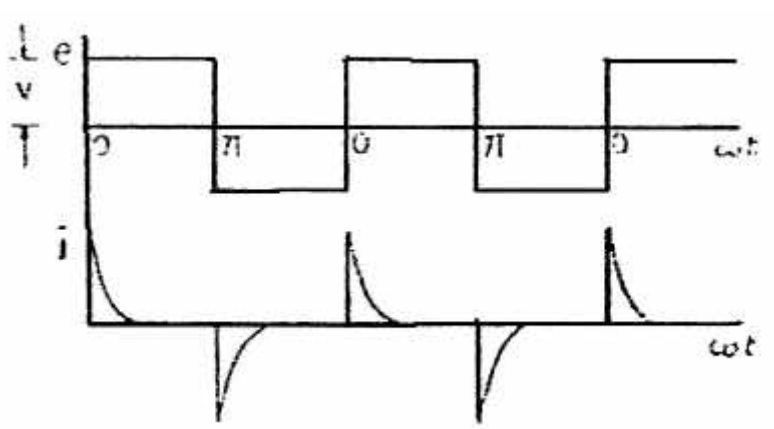
Metode yang paling banyak dipakai untuk mengatasi beban induktif adalah dengan menyediakan titik *by pass* pada arus *reverse* yang melewati komponen *switching semiconductor*. Ini dilakukan dengan menghubungkan *diode* pada *switch* semikonduktor seperti path Gambar 2.21. *Diode* m dinamakan *Diode Feed Back*. Jika ditinjau langsung dari beban, *diode feed back* beroperasi sebagai *Rectifier*, melakukan energi *reverse* untuk mengalir dan beban ke sumber

pada *switch* semikonduktor seperti pada Gambar 2.21. *Diode* ini dinamakan *Diode Feed Back*. Jika ditinjau langsung dan beban, *diode feed back* beroperasi sebagai *Rectifier*, melakukan energi *reverse* untuk mengalir dari beban ke sumber.

Jika kondisi ketika *S2* menutup dan arus mengalir melewatinya sesudah periode *S2 switch off* dan *S1 switch on*, arus melewati *S2*, tetapi energi pada beban induktif mencoba untuk mendorong arus pada arah yang sama, dan jika tidak tersedia arus untuk mengalir akan menyebabkan tegangan kejutan yang besar, sebesar $L \frac{di}{dt}$ untuk mengatasi masalah ini *diode* *D1* dan *D2* dihubungkan pada *S1* dan *S2* seperti pada gambar diatas. Ketika *S2 switch off* transformator berlaku seperti sumber, dan tegangan yang besar melebihi suplai sumber. Arus melewati sumber tegangan V dan melewati *diode* *D1*. Hal ini akan berlangsung sampai tegangan transformator sama atau lebih kecil dan tegangan suplai, sehingga selama *D1* konduktansi, *S1* *reverse* bias oleh tegangan *drop* dan *D1* dan tidak kondukt. Selama *D1* mendekati nol, *S1* mulai kondukt jika *S1* ditutup. Keadaan sama akan terjadi pada siklus *reverse* ketika *S1 switch off* dan *S2* ditutup.

2.4.3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif juga menimbulkan masalah pada *output Inverter*, karena terjadi juga pergeseran *phase* antar arus beban dan tegangan. Bentuk gelombang tegangan dan arus dan kumparan transformator seperti diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 2.25. Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Untuk Beban Kapasitif

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 734.

Setiap kali *switch* semikonduktor mulai bekerja (menutup), arus besar mengalir pada kumparan primer transformator. Karena gelombang kotak dan transformator sekunder menyuplai daya pada kapasitor dengan muatan kosong dengan impedansi yang sangat rendah dibandingkan dengan tahanan dari kumparan transformator dan dari tahanan *saturation switch* semikonduktor, arus akan mengalir cukup besar. Dalam hal seperti ini efisiensi *Inverter* menjadi kecil. Selanjutnya harga di/dt yang besar melebihi harga batas keamanan dan komponen semikonduktor dan akan menyebabkan kerusakan. Metode untuk memperkecil akibat ini hanya dengan jalan menambahkan tahanan pada *circuit*, menjadikan ukuran *Inverter* lebih besar jika diinginkan daya yang dihasilkan sama.

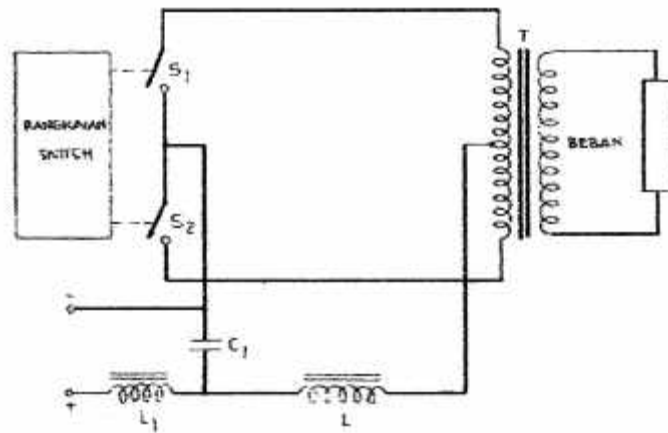
2.4.4. Beban Motor

Tegangan *Inverter* sebenarnya tidak direkomendasikan untuk beban motor karena sifat beban motor yang membutuhkan arus *start* yang sangat tinggi, dan keadaan transient baru dicapai pada beberapa *cycle*. Hal ini akan mengakibatkan *power factor* dari beban motor sangat rendah bahkan bisa mencapai 0,2 lagging. Untuk mengatasi hal ini bisa dipasangkan kondensator sebagai kompensasi, namun keadaan ini tidak teratasi untuk *power factor* yang sangat rendah selama keadaan transient. Keadaan transient motor sangat berbahaya terhadap *switch* semikonduktor. Untuk itu arus motor harus dibatasi dengan menambahkan tahanan pembatas yang dipasang seri dengan motor. Selain arus transient, yang menjadi masalah dan beban motor adalah harus dihindari keadaan *hunting* atau osilasi.

2.5. *Inverter Arus (Current Driven Inverter)*

Pada *Voltage Driven Inverter* bentuk tegangan dan transformator adalah gelombang kotak, sedangkan perbedaan fase arus tergantung pada tipe beban. Pada *Current Driven Inverter* arus dipertahankan pada harga yang konstan dan pada fasa tertentu, tetapi waktu *switching* dan bentuk gelombang tergantung pada tipe beban. Pada *current driven Inverter*, arus yang konstan mengalir melewati *switch* semikonduktor dan kumparan primer trafo untuk satu periode penuh. Dengan metode ini, maka beberapa masalah yang terjadi pada *Voltage Driven*

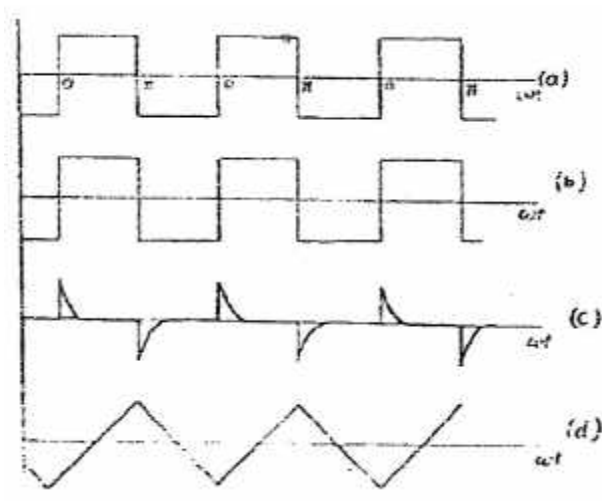
Inverter dapat diatasi. Rangkaian pada *Current Driven Inverter* pada dasarnya sama dengan *Voltage Driven Inverter*, hanya suplai sumber adalah sumber arus konstan.



Gambar 2.26. Rangkaian Dasar *Inverter* Arus

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 737.

Sumber tegangan konstan dirubah menjadi sumber arus konstan dengan memberi kumparan besar L yang seri Kumparan (*Choke*) ini biasanya disebut *Feed Choke*. Pada waktu *switch* semikonduktor tertutup, arus konstan mengalir melewati *switch* dan transformator primer. Pada umumnya suplai DC adalah Baterai yang mempunyai impedansi dalam rendah. Rangkaian LC digunakan untuk mengurangi *riple* Baterai. Bentuk operasi *Current Driven Inverter* diperlihatkan pada Gambar 2.23. Untuk arus gelombang kotak, tegangan pada beban resistif juga kotak, untuk beban induktif murni berbentuk triangular (segitiga). Bentuk gelombang segitiga untuk beban kapasitif murni terlihat pada Gambar 2.24, bahwa setengah *cycle* dari arus, tegangan berubah dari positif ke negatif.



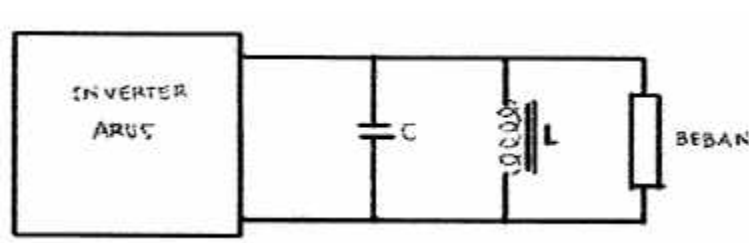
Gambar 2.27.

- Bentuk gelombang arus
- Bentuk gelombang tegangan path beban Resistif
- Bentuk gelombang tegangan path beban Induktif
- Bentuk gelombang tegangan path beban Kapasitif

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 738.

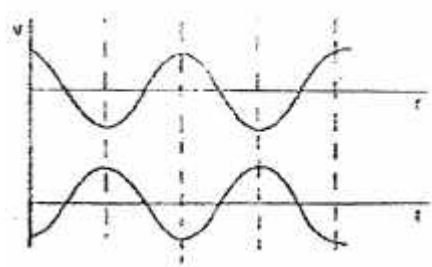
2.6. Gelombang Output Sinus

Current Drivent Inverter (Inverter Arus) banyak digunakan untuk membangkitkan daya gelombang sinus. Pada *Inverter*, gelombang sinus didapatkan dengan menambah rangkaian LC. Diagram skemanya seperti pada Gambar 2.25. Dan gambar tersebut, terdapat rangkaian LC yang berfungsi sebagai filter. Rangkaian LC menerima tegangan berbentuk kotak dan arus berbentuk kotak, dan difilter sampai menghasilkan bentuk sinus.

Gambar 2.28. *Inverter Arus* untuk Menghasilkan Gelombang Sinus

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 738.

Sebagai perbandingan, bentuk masing-masing gelombang dan bermacam-macam rangkaian adalah seperti di bawah ini:



Gambar 2.29. Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Dan *Inverter* Anus Pada Tipe Beban

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 739.

Bentuk gelombang pada Gambar 2.26 diatas, adalah masing-masing untuk beban *resistif*. Rangkaian LC ini juga menyebabkan impedansi *output* menjadi rendah. Dan gambar diatas untuk beban induktif maupun kapasitif selalu berbentuk sinus.

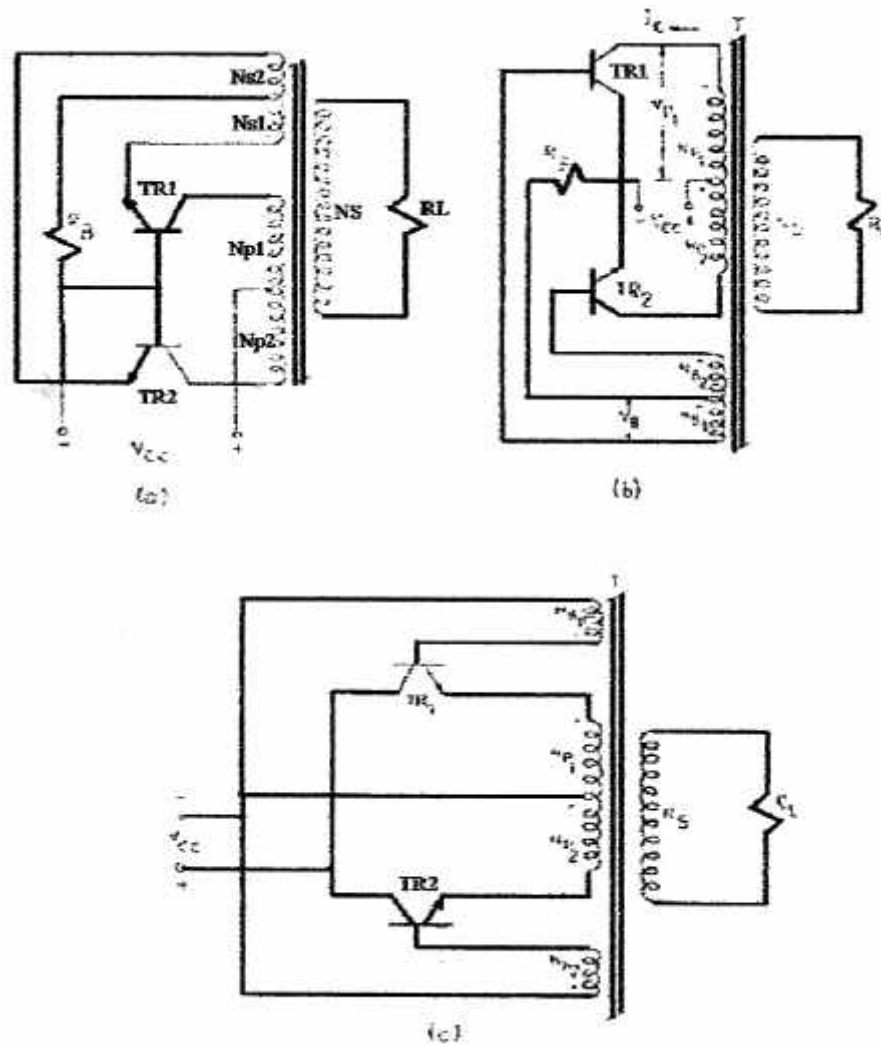
2.7. *Inverter* Transistor

Inverter dengan menggunakan transistor dapat dibagi dalam tiga konfigurasi rangkaian yaitu:

- a) Common Base
- b) Common Emitter
- c) Common Collector

Masing-masing konfigurasi tersebut seperti Gambar 2.20 rangkaian dengan *common base* mempunyai keuntungan yaitu tegangan suplai *input* kecil, tetapi kumparan *feed back* harus menahan arus yang besar pada emitter. Demikian juga dengan rangkaian *common collector*, dimana dari kedua rangkaian tersebut memungkinkan meletakkan transistor pada pendingin (*heat sink*) ukuran yang sama. (gambar dibawah ini menunjukkan tiga konfigurasi rangkaian *Inverter*).

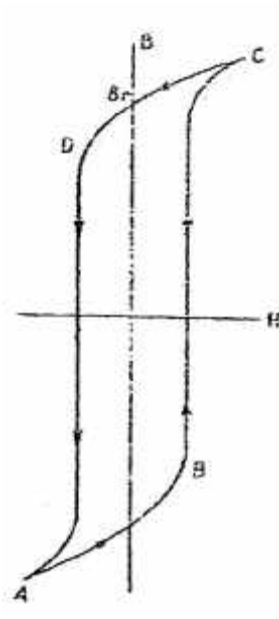
Common Emitter adalah merupakan rangkaian yang paling efisien. Oleh karena itu, akan dibahas secara detail mengenai *common emitter* ini.



Gambar 2.30. Tiga Macam Konfigurasi Rangkaian *Inverter*

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 741.

Operasi prinsip dan *Inverter* adalah dinyatakan dengan berpatokan pada konfigurasi *common emitor* (Gambar 2.27b), dan kurva BH transformator pada Gambar 2.28.



Gambar 2.31 Kurva BH Inti Transformator

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 742.

Akibat pengaruh dan tegangan konstan ini, *flux density* dan inti akan naik konstan mulai titik A, sepanjang ABC pada lengkung sebelah kanan dan kurva BR Dan sini didapatkan hubungan:

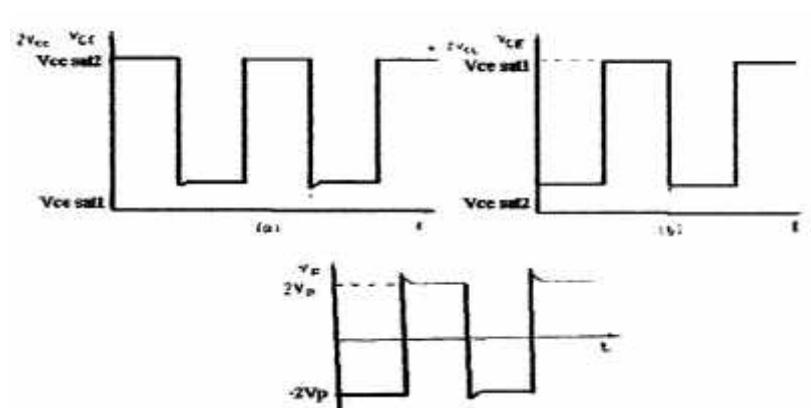
$$\Delta B = (V_{p1}/A_{npl}) \Delta t \times 10^8 \quad (2.12)$$

Dimana A adalah luas area dan inti dalam cm^2

Transient saturated mempunyai tahanan yang rendah dan arus kolektor $I_{c1} = I_r + I_m$, dimana I_r adalah harga dari arus beban yang direfleksikan ke primer dan I_m adalah arus magnetisasi. Harga dan I_m adalah konstan, tetapi I_m bervariasi terhadap waktu. Selama sisa inti *unsaturated*, harga dan I_m sangat kecil, tetapi naik dengan cepat sampai titik saturasi C sampai mencapai dB/dt konstan. Jika harga dan refleksi (pembalikan) arus beban meningkat dengan tajam, arus magnetisasi melebihi arus kolektor dimana TRI akan menyuplai *Base*. TRI mulai selesai dan keadaan saturasi, menyebabkan V_{p1} berkurang, V_B dan I_c ; berkurang, menyebabkan TRI *off* dan setengah gelombang telah berakhir. Arus peak kolektor I_{cp} tergantung pada arus *gain* transistor h_{fe} dan arus *base* I_b , hingga didapat:

$$I_{cp} = h_{fe} \cdot I_b = I_r + I_m$$

Untuk tepatnya, ketika arus kolektor mendekati arus *base* maksimum, tegangan dari transformator turun hampir nol dan titik c ke Br dan arus kolektor mulai turun. Ini menyebabkan *tegangan memberikan bias pada a TR2 konduct, don dimulailah* periode setengah gelombang berikutnya yang serupa dengan setengah gelombang yang pertama, hanya tegangan yang lewat NP2 berharga negative, sehingga menyebabkan tegangan kebalikan dan setengah gelombang yang pertama. Bentuk gelombang tegangan *Inverter* ini diperlihatkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.32. Bentuk Gelombang Tegangan *Inverter*

Sumber: Sen, P.C. (Paresh Chandra). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1990, hal 743.

Kondisi penting adalah bahwa harus cukup arus pada inti *saturated* ini tergantung path mmf inti ,jumlah lilitan dan panjang magnetik, yang didapat dan hubungan:

$$H = \frac{0,4 N_p}{l} \quad (2.14)$$

Dimana : H = mmf Intl

l = Panjang mu magnetic (cm)

Np = Jumlah lilitan pada setengah kumparan primer

Jika ampere *turns* primer yang tersedia tidak lebih besar kebutuhan *saturate* dan inti, operasi akan kacau. Frekuensi dan *Inverter* tergantung dari luas inti transformator, *flux density saturasi*, jumlah lilitan, dan tegangan suplai yang dapat ditulis dalam bentuk:

$$f = \frac{V_p}{4AN_pBs} 10^8 \quad (2.15)$$

Dimana : V_p = Tegangan yang melewati N_p
 $= V_{cc} - V_{ce\ sat} - V_{rp}$

V_{rp} = tegangan drop karena tahanan kumparan primer (Volt)

A = Luas inti cm^2

N_p = $N_{p1} = N_{p2}$ = Jumlah lilitan primer

B_s = Flux density saturasi inti (Gauss)

Inverter yang di desain untuk berbagai kegunaan dengan syarat tegangan *output* dan frekwensi yang konstan serta efisiensi memerlukan desain yang cukup rumit. Syarat- syarat khusus yang perlu diperhatikan dalam desain *Inverter* ialah:

- a) Kebutuhan tegangan *input*
- b) Tegangan *output* nominal dan regulasinya
- c) Frekuensi *output* dan kestabilannya
- d) Daya *output*
- e) Tipe dan beban dan *power* faktor beban
- f) Bentuk gelombang tegangan *output*, jika sinusoidal, persentase dan distorsi harmonik dan pengaruh variasi beban yang diijinkan, variasi tegangan *input* dan *power* faktor
- g) Efisiensi pada berbagai tipe beban
- h) Ukuran dan berat
- i) *Ambient temperature* dan *Rise temperature* yang diijinkan
- j) Tipe/model dan peralatan pengaman

Ketahanan Operasi dari *Inverter* tergantung dari karakteristik dan pemilihan transistor. Pemilihan transistor juga tergantung path kesanggupan mengalirkan arus kolektor maksimum dengan faktor keamanan yang cukup.

$$I_c = \frac{P_{in}}{V_{cc}} = \frac{P_o}{hV_{cc}} \quad (2.16)$$

Dimana: P_{in} = Power input

P_o = Power output

η = Efisiensi dari *Inverter*

Transistor harus dioperasikan dengan baik pada daerah operasi yang aman dan tegangan kolektor harus menahan tegangan dan $2 V_{cc}$ ditambah tegangan transient rangkaian. Jadi tegangan yang aman adalah sekitar 2,5 sampai

3 kali V_{cc} . Selain itu, transistor harus diletakkan pada pendingin (*heat sink*), karena harga panas *junction* tidak boleh melebihi harga spesifik pada beberapa kondisi operasi dengan persamaan:

$$\theta < \frac{T_j - T_a}{P_{av}} (\theta_{cs} + \theta_{sa}) \quad (2.17)$$

Dimana: θ_{jc} = Tahanan thermal antara *junction* dan *case*/badan transistor ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

θ_{cs} = Tahanan thermal antara *case*/badan transistor dengan pendingin ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

θ_{ca} = Tahanan thermal antara pendingin dengan sekitar ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

T_j = Temperatur *junction* dan transistor ($^{\circ}\text{C}$)

T_a = Suhu sekitar/*ambient temperature* ($^{\circ}\text{C}$)

P_{av} = Daya rata yang didesipasikan (Watt)

Tidak semua karakteristik cocok untuk semua transistor. Faktor-faktor penguatan, besar tegangan, tegangan saturasi pada ($V_{ce\ sat}$) kecepatan respon *switching* dan luas daerah pengamanan operasi perlu diperhitungkan pada desain *Inverter*.

Desain transformator juga merupakan hal yang penting, karena sangat mempengaruhi frekuensi, efisiensi, tegangan output dan tegangan *feed back* Pemilihan inti tidak boleh sembarangan. Untuk efisiensi yang tinggi, kerugian histerisis dan kerugian arus Eddy harus kecil, sehingga kerugian itu sebanding dengan besarnya kerugian resistiv dan kumparan. Faktor pertimbangan lain untuk memilih inti adalah ukuran, berat dan harga dan transformator. Inti dari besi Nikel (*Nikel iron tape wound*) adalah sangat baik untuk penggunaan *Inverter*, karena bahan tersebut mempunyai *flux density saturation* yang tinggi, lintasan histerisis persegi, mmf rendah, kerugian kecil dan sedikit terpengaruh oleh temperatur tinggi, mempunyai *range* temperatur yang besar, Untuk penggunaan *Inverter*, keseimbangan yang baik dan *coupling* tertutup dan kumparan transformator dan induktansi yang rendah adalah yang diinginkan. Bentuk inti yang dapat digunakan adalah Toroida bentuk C dan Bentuk EI. Untuk perencanaan inti, dapat menggunakan persamaan:

$$ACAW \geq \frac{2PO}{fBs} \times 10^8 \quad (2.18)$$

Dimana: P_o = power output

A_c = luas inti

A_w = Luas jendela

Harga $A_c A_w$ untuk inti toroida disediakan dan *data sheet* dengan suatu panjang lintasan faktor AC. Dengan diketahuinya harga $A_c A_w$, maka N_p dapat dihitung dengan persamaan sebelumnya. Jumlah kumparan sekunder dapat dihitung dan perbandingan tegangan dan didapat persamaan:

$$N_s = \frac{k V_o N_p}{V_p} \quad (2.19)$$

Dimana faktor k adalah kompensasi untuk tegangan drop transformator dan rugi-rugi. Harga k kurang lebih 1,05 sampai dengan 1,1. Jumlah lilitan dan kumparan *feed back* NB dihitung dan tegangan *feed back* nominal, dengan syarat:

$$V_B = V_{BE} + I_B R_B + V_x \quad (2.20)$$

Dimana V_x : tegangan *drop* pada rangkaian dasar, tidak termasuk *drop* tahanan. Jika V_B adalah kira-kira sama dengan V_{BE} , daya guna dan rangkaian akan tinggi tergantung dan transistor dan temperatur. Oleh karena itu tahanan seri *base* R_B selalu disediakan untuk mengurangi efek diatas. Dengan menghubungkan kapasitor pada R_B juga memperbaiki *turn off* dari transistor. Ukuran kawat dan kumparan primer, kumparan sekunder, dan kumparan *feedback* dihitung berdasarkan kerapatan arus, yaitu sekitar 1,8 A/mm. Dan ukuran kawat dan jumlah lilitan, luas kumparan A_w in dapat dihitung:

$$A_w \text{ in} = (2 N_p A_1 + N_s A_2 + 2 N_B A_3) \quad (2.21)$$

Dimana A_1 , A_2 , A_3 adalah luas lintasan primer, sekunder dan kumparan *feed back* termasuk isolasinya.

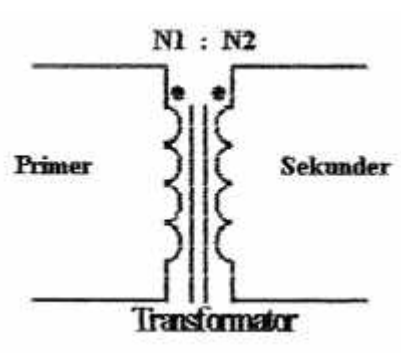
Efisiensi *Inverter* tergantung pada 2 kerugian besar, yaitu rugi-rugi transistor dan rugi-rugi transformator. Rugi-rugi transistor ada 3 macam yaitu:

- a) Kerugian selama keadaan *ON* (*ON state*)
- b) Kerugian selama keadaan *OFF* (*Off state*)
- c) Kerugian *transient*

Kerugian pada keadaan *ON* tergantung pada arus kolektor I_c dan V_{ce} Sat. Kerugian pada keadaan *OFF* tergantung pada I_{co} dan dua kali tegangan suplai. Kerugian *transien* terjadi selama periode *switching* dan mungkin menjadi sangat besar jika waktu *switching* lebih dan 1% dan periode total. Terlepas dari arus *Base* nominal, penambahan arus *Base* diinginkan untuk menjalankan transistor dengan baik path keadaan saturasi.

2.8. Transformator

Transformator dapat didefinisikan sebagai suatu peralatan tetap (statis) yang dapat memindahkan daya listrik dan suatu rangkaian (rangkai primer) ke rangkaian yang lain (rangkai sekunder) tanpa adanya perubahan frekuensi, Transformator terdiri dan dua kumparan induktif yang terpisah secara listrik tetapi terhubung secara magnetis.



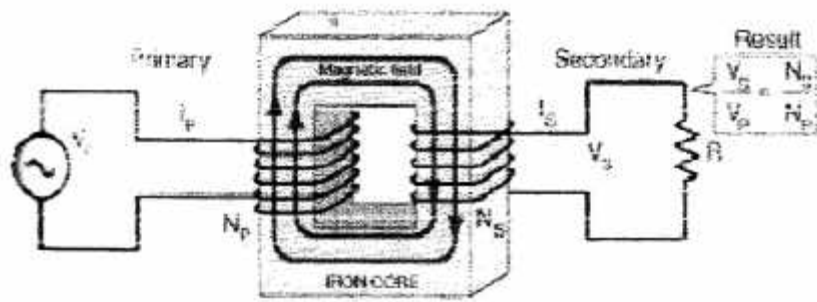
Gambar 2.33. Simbol Transformator Berinti Besi

Sumber: Sumanto, Drs. MA. *Teori Transformator*. Yogyakarta: Andi Offset, 1991, hal 1.

Gambar 2.30 merupakan simbol dan transformator dengan inti besi, dan arti titik menunjukkan arah dan gulungan kawat yang dililitkan pada sebuah inti transformator. Arti dua buah garis lurus vertikal menunjukkan inti yang dipakai oleh transformator (pada gambar menunjukkan transformator berinti besi).

Transformator pada umumnya terdiri dan inti dan dua bagian yaitu, bagian primer dan bagian sekunder yang masing-masing memiliki jumlah lilitan tertentu.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.22)$$



Gambar 2.34 Transformator Berinti dengan Dua Bagian (Bagian Primer dan Bagian Sekunder).

Sumber: Sumanto, Drs. MA. *Teori Transformator*. Yogyakarta: Andi Offset, 1991, hal 5.

Hubungan daya primer dan daya sekunder adalah sebagai berikut:

$$P_p = P_s \quad (2.23)$$

$$I_p \times V_p = I_s \times V_s \quad (2.24)$$

2.8.1. Prinsip Kerja Transformer

Prinsip kerja suatu transformer adalah induksi bersama (*Mutual Induction*) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh flux magnet. Dalam bentuk sederhana, transformator terdiri dari dua kumparan induktif yang secara listrik terpisah, tetapi secara magnet terhubung. Kedua kumparan tersebut mempunyai induksi bersama (*Mutual induction*) yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik (AC), fluks bolak-balik akan timbul di dalam inti, sehingga akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) induksi yang sesuai dengan hukum Faraday. Hukum Faraday menyebutkan bahwa:

- Tegangan ggl induksi ϵ di dalam rangkaian adalah sama dengan kecepatan perubahan fluks terhadap waktu.

$$\epsilon = -N \frac{dq_m}{dt} \quad (225)$$

Dimana, N adalah jumlah lilitan dan tanda (-) menyatakan arah ggl induksi yang berlawanan dengan arah penyebabnya atau yang dikenal dengan hukum Lenz (*Law of Lenz*).

- Perubahan fluks dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$d\mathbf{q}_m = dBA + AdB \quad (2.26)$$

$$\mathbf{e} = -N \left(A \frac{dB}{dt} + B \frac{dA}{dt} \right) \quad (2.27)$$

Dimana:

A : Luas penampang induktor (in

B : Medan Magnet (Tesla I T)

- Dalam hubungan dengan medan listrik E adalah

$$\mathbf{e} = -N \frac{d\mathbf{q}}{dt} = \oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} \quad (2.28)$$

Medan listrik disebabkan oleh muatan statik sehingga medan akan bersifat konservatif yaitu, integral tertutup medan elektrostatis di sekeliling kurva tertutup sama dengan nol. Sedangkan, pada ggl induksi medan listrik tidak konservatif yang berhubungan keadaan fluks.

Hubungan antara emf dan arus inilah yang disebut dengan induktansi, dan satuan yang digunakan adalah Henry (H). Kedua kumparan pada transformator mempunyai induksi bersama (*Mutual Induction*), maka saling mempengaruhi antara satu dengan yang lain dan dinotasikan dengan M. Kumparan pertama akan menghasilkan fluks magnet dan mempengaruhi kumparan kedua.

$$M_{12} = \frac{N_i \mathbf{F}_{12}}{i_i} \quad (2.29)$$

$$M_{12} i_1 = N_1 \frac{d\mathbf{F}_{12}}{dt} \quad (2.30)$$

$$M_{12} \frac{di_1}{dt} = N_1 \frac{d\mathbf{F}_{12}}{dt} \quad (2.31)$$

Maka, ggl induksi path kumparan pertama dan kumparan kedua adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{e}_2 = -M_{12} \frac{di_1}{dt} \quad (2.32)$$

$$\mathbf{e}_1 = -M_{21} \frac{di_2}{dt} \quad (2.33)$$

Dan persamaan (2.29) dan (230), terdapat hubungan mutual induktansi dan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} e_2 &= -M_{12} \frac{di_1}{dt} \\ e_2 &= -M_{21} \frac{di_2}{dt} \end{aligned} \right\} M_{12} = M_{21} = M \quad (2.34)$$

2.8.2. Inti Transformator

Ketika transformator pertama kali muncul, bahan-bahan ferro magnetik, terutama besi banyak digunakan sebagai inti. Sejalan dengan tuntutan karakteristik yang semakin menghendaki kesempurnaan, seperti *Eddy current* yang rendah, maka muncullah inti yang berlaminasi (berlapis-lapis).

Inti yang dipakai pada transformator adalah *ferrite*, yang mempunyai nama kimia Fe_2O_3XO , dimana X melambangkan satu atau lebih dan satu logam lain, misalnya : Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Mg, Cd. *Ferrite* dibentuk pada temperatur tinggi dan campuran oksidasi besi yang berbentuk bubuk dan oksidasi logam lain.

Dipilihnya *ferrite* sebagai inti karena *ferrite* mempunyai keunggulan yaitu mempunyai permeabilitas yang tinggi dan dapat dipergunakan untuk frekuensi tinggi tanpa rugi-rugi *Eddy current* menjadi besar. Hubungan permeabilitas dan frekuensi terdapat pada impedansi dan induktansi yang meliputi luas induktor, jumlah lilitan, dan panjang induktor yang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2}{l} A \quad (2.35)$$

dimana:

L : induktansi dalam H (Henry)

μ : *permeability* inti (core)

μ_0 : *permeability* udara vakum ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$)

N : jumlah lilitan induktor

A : luas penampang induktor (m^2)

l : panjang induktor (m)

Kemudian, impedansi dan induktor sebagai berikut:

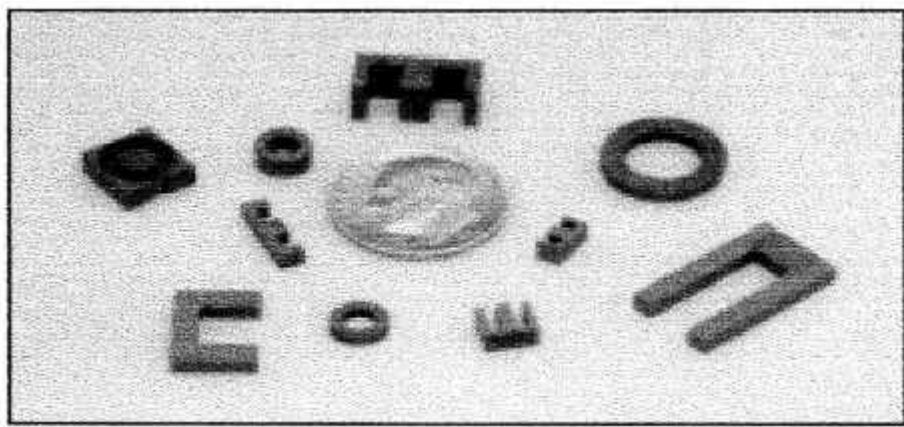
$$X_L = 2 \times f_c \times L$$

Dimana:

X_L : impedansi dan induktansi (Ω)

f_e : frekuensi kerja dan induktansi (Hz)

Ferrite sangat cocok dipakai untuk frekuensi tinggi maupun transformator daya. Tetapi, *ferrite* mempunyai bermacam-macam bentuk, antara lain: pot cores, *square cores* (RM cores), *E cores*, *H cores*, *U cores*, dan *toroids* (ring cores). Untuk lebih memperjelas pembahasan, gambar dan masing-masing model inti dapat dilihat path Gambar 2.25 berikut:



Gambar 2.35 Bentuk-bentuk inti ferit

Sumber: <http://www.epcos.com/web/publikationen/pdf/ferrites-core.pdf>