BAB II

DASAR TEORI

2.1. Cahaya

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang pada ruang hampa memiliki cepat rambat sebesar 2.998 x 10^8 m/s (Young, 1976). Cepat rambat cahaya pada medium hampa dengan konstanta permeabilitas (μ_0) dan permitivitas (ε_0) dinyatakan sebagai :

$$V_\psi = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = c \qquad (2\text{-}1)$$

Perbandingan kecepatan fase gelombang elektromagnetik pada kondisi vakum dan medium tertentu dinyatakan sebagai indeks bias (Jenkins, 1981), yang secara matamatis dituliskan sebagai :

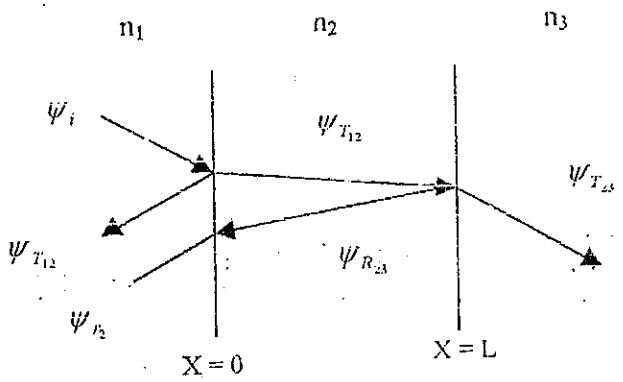
$$\frac{c}{V_\psi} = \frac{\sqrt{\mu\varepsilon}}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = n \qquad (2\text{-}2)$$

Dalam perambatannya dari medium satu ke medium yang lain, gelombang sebagian akan dipantulkan dan sebagaian diteruskan. Peristiwa itu secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.1.

Gelombang datang pada x = 0 sebagaian dipantulkan dengan koefisien pantul R_{12} dan sebagian lagi diteruskan dengan koefisien transmisi T_{12} (Young, 1976). Gelombang hasil transmisi ini pada x = L sebagian diteruskan dengan koefisien transmisi T_{23} dan sebagian dipantulkan dengan koefisien pantul R_{23}. Pengamatan pada penelitian kali ini meninjau pada gelombang yang dipantulkan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

oleh batas antara medium 1 dan medium2, serta yang dipantulkan oleh batas antara medium 2 dan medium 3 yang sampai pada sensor cahaya pada waktu yang bersamaan.



Gambar 2.1. Perambatan gelombang dalam medium kontrol

Jika gelombang yang datang memiliki persamaan simpangan gelombang sebagai berikut :

$$\Psi_i = A_0 \text{ Cos } (\omega t - kx), \tag{2.3}$$

dan simpangan gelombang yang terpantul dan diteruskan di x = 0 adalah :

$$\Psi_{R1} \ (x = 0) = A_0 R_{12} \text{ Cos } (\omega t - k x), \tag{2.4}$$

maka $A_{R1} = A_0 R_{12}$, dengan $R_{12} = \dfrac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$ dan (2.5)

$$\Psi_{T1} \ (x = 0) = A_0 T_{12} \text{ Cos } (\omega t - kx) \tag{2.6}$$

Simpangan gelombang yang dipantulkan di x = L dan ditransmisikan lagi pada x = 0 adalah :

$$\Psi_{R2} \ (x = L) = A_0 T_{12} R_{23} T_{21} \text{ Cos } (\omega t - kx) \tag{2.7}$$

dengan :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$T_{12} = \frac{2 \cdot n_1}{n_1 + n_2},$$

$$R_{23} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3},$$

$$T_{21} = \frac{2n_2}{n_1 + n_2}$$

Dari persamaan (2.7) didapat amplitudo gelombang pantul (Ψ_{R2}) yaitu :

$$A_{R2} = A_0 \, T_{12} \, R_{23} \, T_{21} \tag{2.8}$$

Maka besarnya amplitudo gelombang pantul keseluruhan yang diterima sensor cahaya adalah A_{R1} dan A_{R2}.

Karena besarnya intensitas gelombang sebanding dengan kuadrat amplitudonya, maka diperoleh relasi antara intensitas gelombang pantul (I_R) dengan intensitas gelombang datang (Io) (Hirose, 1985). Sehingga persamaan intensitas dinyatakan sebagai:

$$\frac{I_R}{I_0} = \left[\frac{A_{R1}}{A_0}\right]^2 + \left[\frac{A_{R2}}{A_0}\right]^2$$

dan ,

$$I_R = [R_{12}]^2 \; I_0 + [T_{12} R_{23} T_{21}]^2 I_0 \tag{2.9}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai koefisien transmisi dan refleksi dari persamaan (2.5) dan (2.7) pada persamaan (2.9), maka diperoleh relasi antara intensitas gelombang pantul ψ_R dengan indeks bias medium yang melingkupinya, yang dinyatakan sebagai :

$$I_R = \left\{\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right\}^2 I_0 + \left\{\frac{4n_1 n_2 (n_2 - n_3)}{(n_1 + n_2)^2 (n_3 + n_2)}\right\}^2 I_0 \tag{2.10}$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dengan persamaan (2.10) serta mengambil contoh nilai n_1 adalah 1, n_2 adalah 1.52 dan n_3 adalah nilai yang berubah untuk tiap-tiap cairan, tampak bahwa intensitas gelombang pantul bergantung pada nilai n_3 untuk suatu keadaan n_1 dan n_2 yang tertentu.

Pada perambatan suatu gelombang cahaya yang melewati medium transparan dengan sudut normal (0°), besarnya intensitas cahaya yang dipantulkan adalah 4 % dan besarnya intensitas cahaya yang diteruskan adalah 96 % (Hirose. 1985). Berdasarkan pada hal tersebut, maka diasumsikan bahwa intensitas cahaya yang diterima sensor cahaya untuk kaca tipis (kurang dari 5 mm) adalah 4 % I_0 yang dipantulkan oleh permukaan pertama (x = 0) ditambah dengan 96 % dari (4 % dari 96 % I_0) yang dipantulkan oleh permukaan kedua (x = l) dan diteruskan lagi oleh permukaan pertama menuju sensor.

2.2. LED, Cara Kerja dan Karakteristiknya

Dioda pemancar (*Light Emiting Diode =LED*) adalah bahan semikonduktor dengan sambungan p-n yang memancarkan cahaya dengan daerah panjang gelombang antara infra merah sampai dengan ultra violet. Jenis cahaya yang dipancarkan LED tergantung dari materi dan susunan dioda p-n. Terdapat beberapa jenis bahan yang sering dipakai dalam LED (Wahyu , 1995) antara lain :

- Ga As (*Galium Arsenid*) menghasilkan infra merah
- Ga As P (*Galium Arsenid Phosphide*) menghasilkan cahaya merah dan kuning
- Ga P (*Galium Phosphide*) menghasilkan cahaya merah dan kuning

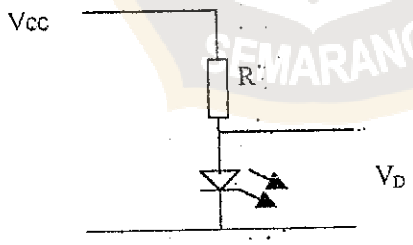
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Sebagaimana dioda yang lain, LED akan bekerja dengan baik pada saat mendapat tegangan arah maju. Pada saat mendapat tegangan arah maju ini maka daerah deplesi akan mengecil dan potensial penghalang akan menjadi rendah. Elektron pada tipe-n akan melewati sambungan p-n dan bergabung dengan hole pada daerah tipe-p. Elektron bebas dalam pita konduksi mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi dari hole. Jika terjadi penggabungan maka elektron turun ke tingkat energi yang lebih rendah. Pada saat elektron turun akan dibebaskan sejumlah energi dalam bentuk foton sehingga LED dapat mengemisikan cahaya.

Sebuah rangkaian LED sederhana terdiri dari catu daya, sebuah beban dan sebuah LED seperti terlihat pada gambar 2.2. Harga arus yang dilewatkan pada LED adalah :

$$I = \frac{V_{CC} - V_D}{R} \tag{2.11}$$

dengan Vcc adalah tegangan catu daya, V_D adalah tegangan ambang LED dan R adalah beban.

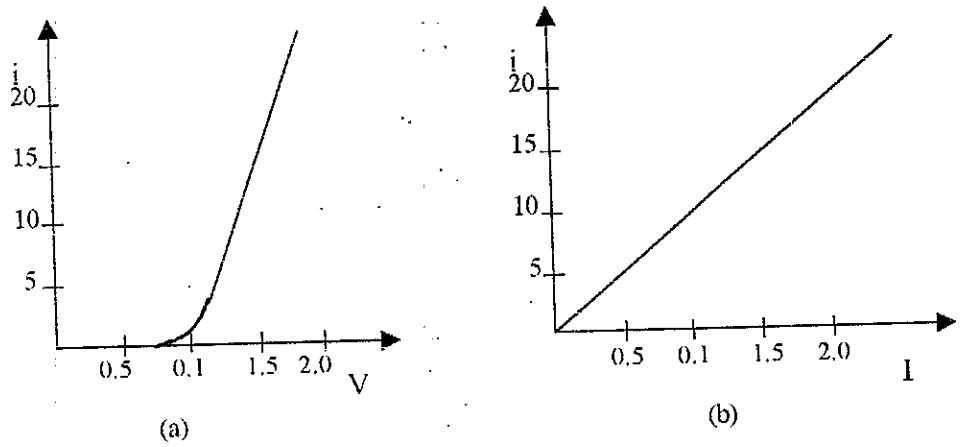


Gambar 2.2 Rangkaian LED sederhana

Seperti juga dioda yang lain, karakteristik LED adalah harga ketergantungan arus terhadap tegangan. Grafik karakteristik tegangan arus LED dan karakteristik

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

intensitas terlihat pada gambar 2.3, untuk LED sama dengan grafik untuk dioda. Perbedaannya hanya terletak pada pengertian tentang arus yang lewat.



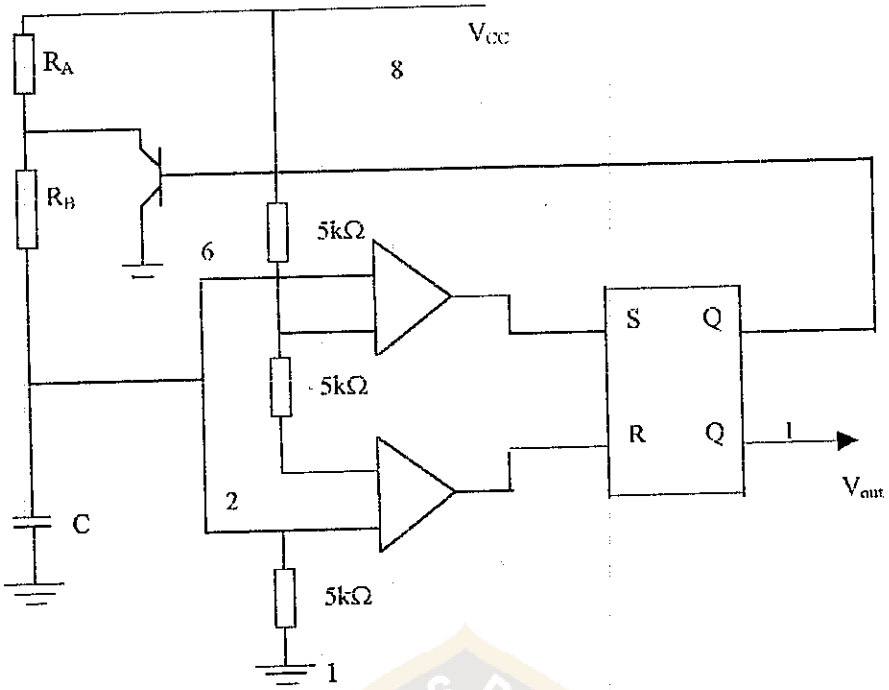
Gambar 2.3 Grafik karakteristik LED
a. Grafik tegangan –arus
b. Grafik Intensitas-arus

Harga arus yang lewat pada LED menentukan intensitas yang dipancarkan LED, atau arus sebanding dengan intensitas cahaya. Jika arus makin besar maka intensitas semakin besar. Kenaikan ini berharga linier sampai pada harga tertentu. Di atas harga yang ditentukan tersebut, arus yang masuk ke LED akan menyebabkan kerusakan LED.

2.3. Pewaktu (*Timer*) IC 555

IC 555 adalah pewaktu yang sangat serbaguna sehingga dapat dipakai untuk berbagai penerapan. Piranti ini dapat beroperasi pada tegangan catu antara 5-15V DC. Biasanya IC ini dijual dipasaran dalam kemasan IC DIP 8 pena dan untuk versi ganda (556) dijual dalam kemasan DIP 16 pena (Traister, 1987).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

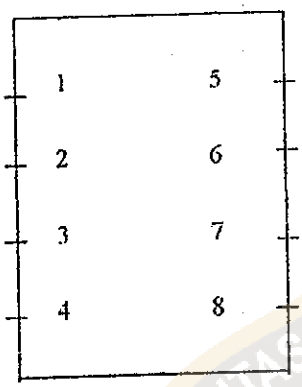


Gambar 2.4. Penampang dalam IC 555 (Malvino, 1991)

Pewaktu 555 menggabungkan sebuah osilator relaksasi, dua pembanding, flip-flop R-S, dan sebuah transistor pembuang (Malvino, 1991), seperti terlihat pada gambar 2.4. Alat ini digunakan sebagai pembangkit denyut, yang memiliki sifat-sifat pengaturan dengan stabilitas tinggi sehingga mampu menghasilkan osilasi atau waktu tunda yang cermat. Dalam operasi penundaan waktu secara tepat diatur oleh sebuah kondensator dan resisitor luar. Untuk operasi stabil sebagai osilator frekuensi yang dihasilkan dan daur kerjanya sekaligus dikendalikan oleh sebuah resistor dan kondensator. Rangkaian ini dapat di sulut (*triggered*) maupun di reset pada saat bentuk gelombang menurun dan struktur keluarannya dapat menerima arus sampai 200 mA atau mampu menggerakkan TTL.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Pewaktu IC 555 memberikan pengaturan waktu dari orde mikro detik sampai pada orde jam, yang bekerja pada mode monostabil dan astabil. Piranti ini memiliki daur kerja yang dapat diatur dan keluarannya dapat menggerakkan TTL. Keluaran dapat bekerja dengan mode keluaran mode normal on atau normal off serta mempunyai stabilitas frekuensi 0,005% per derajat celcius (Traister, 1987).



1. sasis
2. penyulut
3. keluaran
4. reset
5. teg kemudi
6. ambang
7. pengosongan
8. Vcc

Gambar 2.5 IC LM 555 8 pena

Terdapat beberapa penerapan IC 555 ini, termasuk pewaktuan presisi, pembangkit denyut, modulasi lebar denyut, modulasi posisi denyut, pewaktu berurutan dan deteksi denyut yang hilang.

Gambar 2.5 menggambarkan piranti ini dalam kemasan dua berjajar (*Dual in Line – DIL*) 8 pena dari silvana. Pabrik lain dan dengan bentuk yang lain kemungkinan spesifikasi fisiknya berbeda sedikit.

2.3.1. Operasi Monostabil

Dalam mode operasi monostabil pewaktu berfungsi sebagai pembangkit denyut sekali tembak (*one shot*) yang akan menghasilkan sebuah denyut keluaran tunggal dengan lebar tertentu bila disulut oleh sebuah denyut masukan. Keluaran

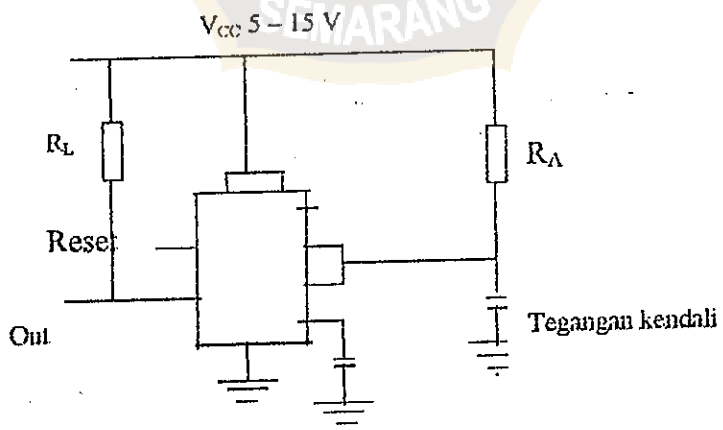
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

IC 555 bila dioperasikan sebagai multivibrator monostabil akan berubah menjadi tinggi setelah diberi denyut sulut.

Keluaran akan tetap tinggi selama waktu tertentu yang lamanya tergantung pada waktu pengosongan muatan kondensator. Ketika kondensator telah berkurang muatannya sampai harga tertentu, keluaran akan jatuh menjadi logika rendah yang merupakan keadaan normal. Dalam operasi multivibrator monostabil keluaran akan selalu berlogika rendah sampai denyut sulut diberikan kembali pada rangkaian (Traister, 1987).

Berdasarkan gambar 2.6, kondensator luar mula-mula dikosongkan oleh sebuah transistor di dalam pewaktu. Dengan menerapkan sebuah denyut penyulut negatip pada pena 2, flip-flop di dalam menjadi tersetel sehingga membebaskan hubung singkat yang melintasi kondensator luar dan meninggalkan tegangan keluaran. Tegangan kondensator meningkat ekponensial dengan konstanta waktu, yang dinyatakan sebagai :

$$T = R_A C \tag{2.12}$$



Gambar 2.6 Rangkaian operasi monotabil IC 555

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Bila tegangan kondensator sama dengan 2/3 Vcc, komparator akan mereset flip-flop yang kemudian mengosongkan kondensator dengan cepat dan membuat tegangan keluaran rendah. Rangkaian ini tersulut oleh isyarat masukan yang menuju negatip (*negatif going signal*) bila besarnya memcapai 1/3 Vcc. Sekali tersulut rangakaian akan tetap pada keadaan ini sampai selang waktu yang telah ditentukan habis bahkan meskipun disulut kembali dalam selang waktu ini keadaan tidak akan berubah (Traister, 1987). Selang waktu selama keluarannya dalam keadaan tinggi adalah:

$$T = 1{,}1\ R_A\ C \qquad (2.13)$$

Perlu diperhatikan bahwa karena tingkat pengisian muatan dan batas ambang pembanding secara langsung sepadan dengan tegangan catu sedang waktunya menjadi tidak tergantung pada catu. Menerapkan sebuah denyut negatip pada terminal reset (pena 2) ketika daur pewaktuan akan bekerja dalam mengosongkan kondensator dan menyebabkan daur pewaktuan berulang lagi dari permulaan. Selama denyut reset diterapkan keluarannya akan dibuat dalam keadaan rendah.

2.3.2. Operasi Astabil

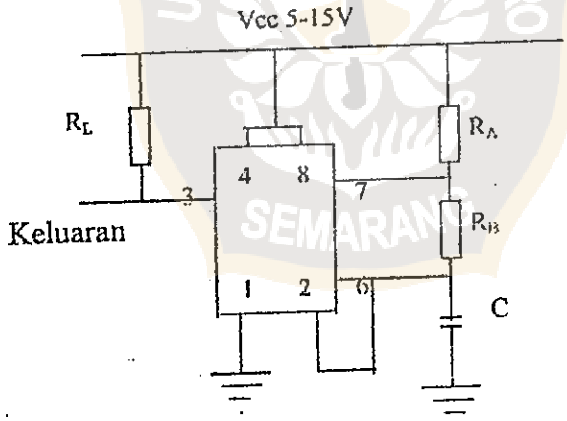
Sebuah rangkaian memiliki dua keadaan tak stabil. Operasi ini ditandai dengan adanya keadaan yang berganti-ganti antara logika tinggi dan rendah. Frekuensi penggantian dapat ditentukan lebih dulu melalui konstanta-konstanta rangkaian. IC 555 dapat dioperasikan sebuah multivibrator astabil, atau sering disebut dengan multivibrator bergetar bebas (*free running*). Bila digunakan dalam

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

mode ini keluaran akan terus –menerus bergantian antara logika rendah dan tinggi dengan frekuensi yang ditentukan oleh resistor dan kondensator luar.

Frekuensi yang dihasilkan multvibrator bisa saja dalam daerah frekuensi audio atau radio. Ini adalah mode operasi untuk membuat osilator. Keluaran IC 555 sudah dipotong (*Clipped*) atau dicincang (*Chopped*), berarti keluaran bukan lagi gelombang sinus sesungguhnya kecuali bila pada keluaran ditambahkan rangkaian penyangga (*buffer*). Keluaran normal mode ini adalah gelombang persegi empat yang kaya akan harmonisasi sehingga dapat digunakan sebagai isyarat (*signal tracer*).

Operasi tak stabil (astabil) dapat dilihat pada gambar 2.7, ia akan tersulut sendiri dan bekerja sebagai multivibrator tak stabil. Kondensator luar di isi melalui R_A dan R_B sedangkan pengosongan muatan hanya melalui R_B saja.



Gambar 2.7 Rangkaian astabil IC 555

Dengan demikian daur kerjanya secara tepat dapat ditentukan dari perbandingan harga dua resistor R_A dan R_B. Dalam mode operasi ini kondensator melakukan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

pengisian dan pengosongan dengan demikian frekuensi tidak tergantung pada tegangan catu (Traister, 1987). Waktu pengisian untuk keluaran tinggi adalah :

$$T_1 = 0{,}685\ (R_A + R_B)\ C \tag{2.14}$$

waktu pengosongan untuk keluaran rendah adalah :

$$T_2 = 0{,}685\ R_B\ C \tag{2.15}$$

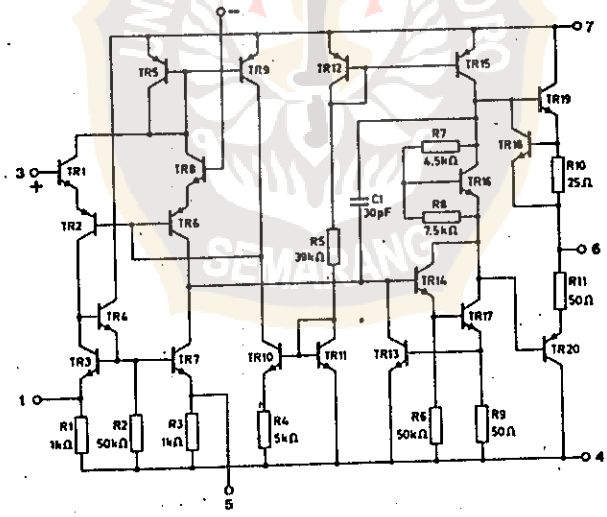
waktu total periode adalah :

$$T = T_1 + T_2 = 0{,}685\ (R_A + 2R_B)\ C \tag{2.16}$$

dan frekuensi osilasi adalah :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} \tag{2.17}$$

2.4. IC LM 741



Gambar 2.8 Rangkaian LM 741

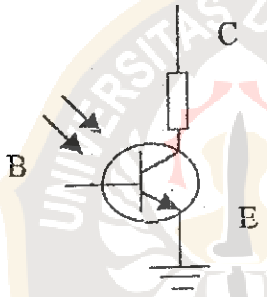
Seri LM 741 adalah suatu op-amp dengan kompensasi dalam dengan kapasitor 30 µf. Untuk 741 kita memiliki data sebagai berikut, hambatan masuk lingkar terbuka $R_{i,lb}$ = 2 Mohm, penguatan lingkar terbuka = 200. 000 pada

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

frekuensi rendah, hambatan keluaran lingkar terbuka $R_{o,lb}$ = 75 Ohm, lebar pita penguatan (frekuensi potong pertama) = 1 MHz (Sutrisno, 1987). Penampang dari LM 741 dapat dilihat pada gambar 2.8.

2.5. Phototransistor

Phototransisitor merupakan transistor yang peka terhadap cahaya. Sama seperti transistor pada umumnya, piranti ini juga terdiri dari dua buah dioda yaitu dioda emiter (sambungan emiter-basis) dan dioda kolektor (sambungan kolektor-basis). Pada phototransistor sambungan basis dibuka (Malvino, 1991).



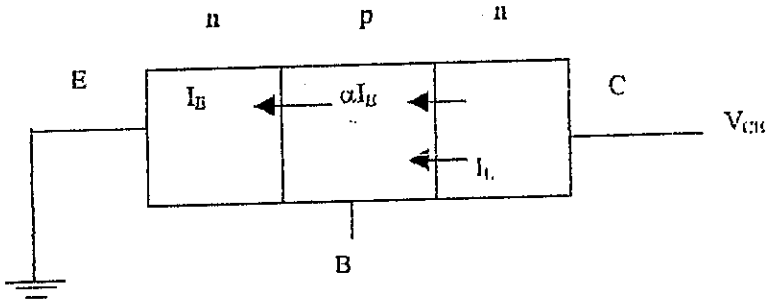
Gambar 2.9 Phototransistor

Transistor jenis ini bekerja dengan merubah sinyal cahaya terdeteksi menjadi sinyal listrik (yang ditampilkan dalam bentuk tegangan). Phototransistor dikenai cahaya melalui sebuah jendela dan bertemu pada sambungan kolektor basis seperti terlihat pada gambar 2.9. Jika intensitas cahaya yang mengenai bertambah, maka I_R (arus balik paralel dengan dioda kolektor) bertambah (Malvino, 1991).

Dengan sistem kerja tersebut, maka phototransistor dalam perancangan ini dipakai sebagai sensor cahaya. Terjadinya arus pada phototransistor disebabkan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

foton cahaya yang jatuh di daerah basis menyebabkan terjadinya pasangan elektron-hole. Pasangan elektron-hole inilah yang menimbulkan sinyal listrik sebagaimana yang terjadi pada dioda secara umum.



Gambar 2.10 Blok diagram phototransistor

Jika cahaya jatuh pada basis, maka akan tercipta pasangan elektron-hole pada daerah sambungan B-C, sehingga menghasilkan arus foto I_L dalam arah bias reverse. Lubang (*hole*) menuju daerah basis (positip) sehingga basis relatif lebih positip dibanding emiter. Arus pada B-E adalah arus bias arah maju, artinya aliran elektron dari emiter menuju basis seperti pada gambar 2.10. Harga arus emiter adalah jumlah antara arus foto dengan fraksi arus emiter yang situliskan sebagai :

$$I_E = \alpha I_E + I_L \tag{2.18}$$

dengan I_E adalah arus emiter, α adalah penguatan arus common basis dan I_L adalah arus foto.

Saat rangkaian terbuka maka arus kolektor sama dengan arus emiter, sehingga dapat dinyatakan :

$$I_C = \alpha I_C + I_L, \text{ atau } I_C = \frac{I_L}{1-\alpha} \tag{2.19}$$

Penguatan arus common emiter (β) sama dengan pada transistor yaitu :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \tag{2.20}$$

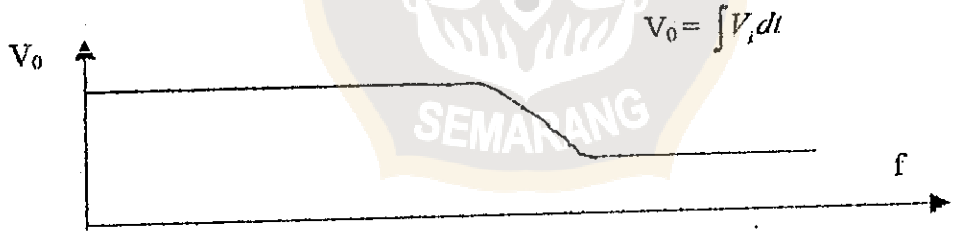
maka persamaan akhir didapatkan :

$$I_C = (1 + \beta)\, I_L \tag{2.21}$$

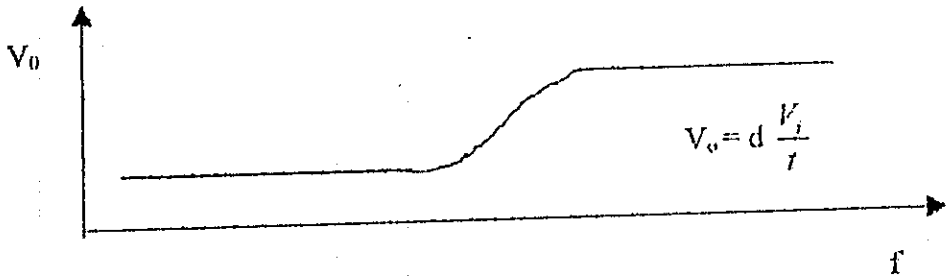
Nilai $(1 + \beta)\, I_L$ tak lain adalah arus gelap pada phototransisitor yaitu sebesar 90 μA. Jadi nilai I_C sama dengan I_E yang merupakan nilai arus gelap pada phototransistor tersebut.

2. 6. Filter Lolos Pita (*Band Pass Filter*)

Filter dibuat dari rangkaian integrator dan deferensiator dengan menggunakan op-amp. Rangkaian integrator merupakan rangkaian lolos rendah (*Low Pass Filter*), sedangkan deferensiator adalah filter lolos tinggi (*High Pass Filter*). Tanggapan frekuensi dari rangkaian integrator dan deferensiator terhadap frekuensi dapat dilahat pada gambar 2.11.



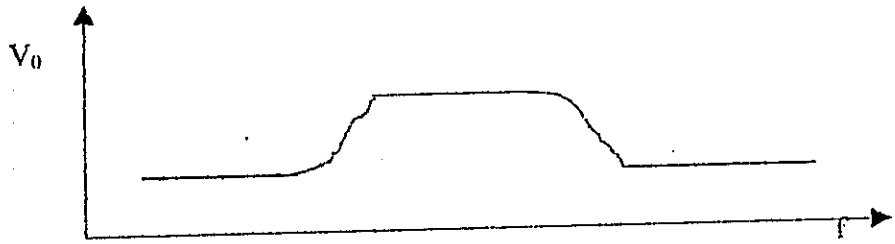
Gambar 2.11.a. Hubungan matematika dan grafik rangkaian integrator



Gambar 2.11.b. Hubungan matematika dan grafik rangkaian deferensiator

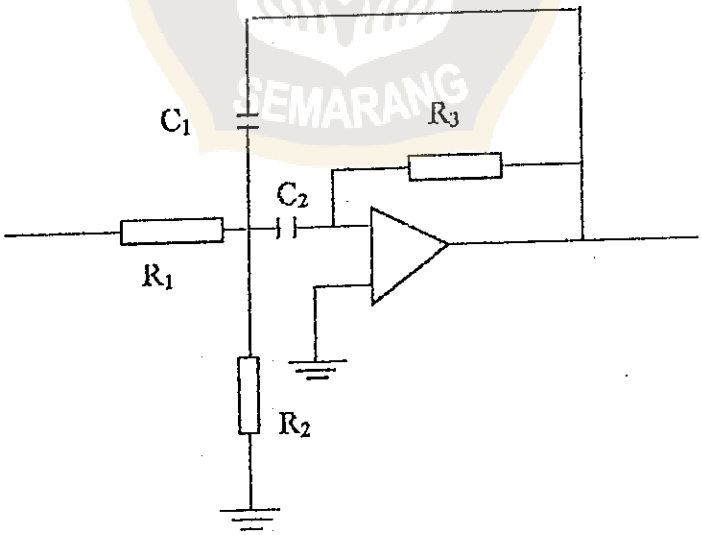
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Gabungan dari rangkaian integrator dan deferensiator maka menghasilkan rangkaian filter yang meloloskan frekuensi tertentu yang dikenal dengan filter lolos pita (*Band Pass Filter*). Tanggapan frekuensi untuk filter lolos pita dapat ditunjukkan seperti gambar 2.12.



Gambar 2.12. Tanggapan frekuensi band pass filter

Band pass filter yang diperlukan dalam perangkat ini adalah filter yang meloloskan frekuensi cahaya yang dihasilkan oleh LED dan dikendalikan oleh pulsa generator sebesar 1 kHz saja. Rangkaian Band Pass Filter secara lengkap dapat dilihat pada gambar 2.13.

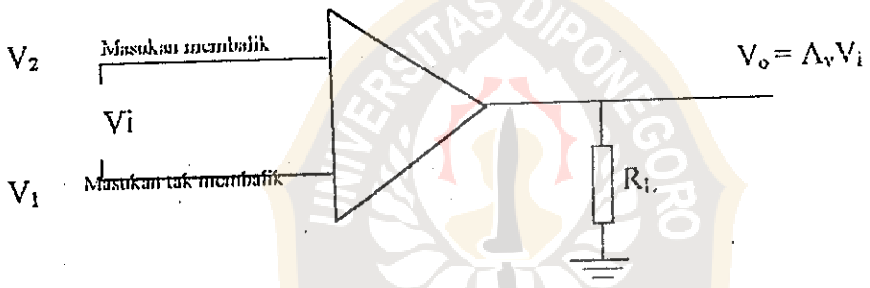


Gambar 2.13. Rangkaian Band pass filter

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.7. Penguat Operasional (op – Amp)

Penguat operasional (*Op-Amp*) adalah suatu penguat gandengan langsung dan bati-tinggi yang dilengkapi dengan umpan balik untuk mengendalikan karakteristik tanggapannya secara menyeluruh. Sejumlah besar penguat operasional mempunyai masukan diferensial dengan dua terminal, yaitu tegangan masukan V_1 dan V_2 disalurkan masing-masing kepada terminal membalik (*inverting*) dan terminal tak membalik (*non inverting*). Hampir semua penguat operasional hanya mempunyai satu terminal keluaran, seperti terlihat pada gambar 2.14 (Millman, 1993).

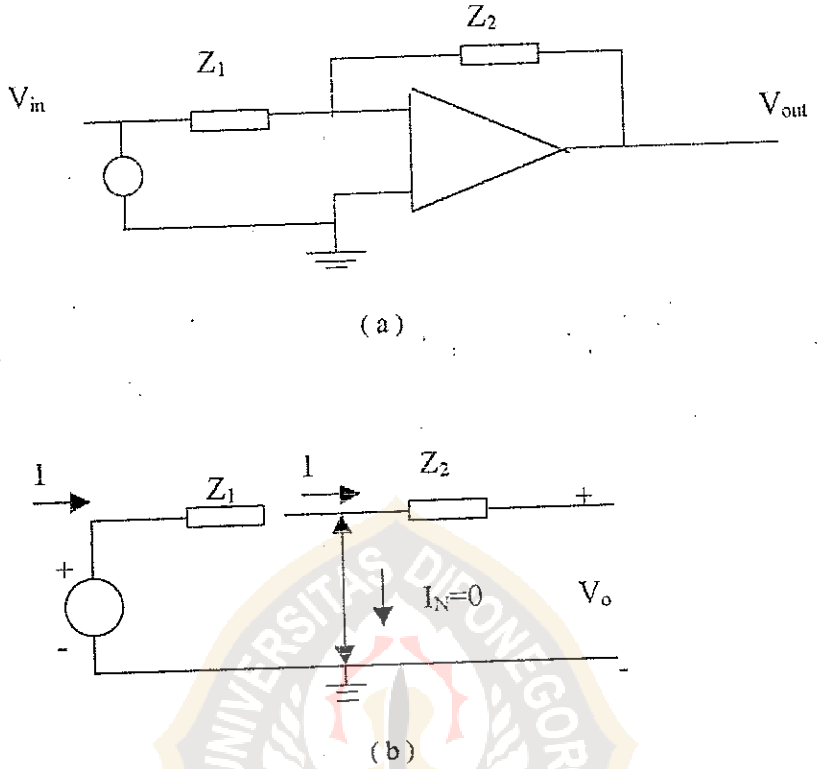


Gambar 2.14. Penguat Operasional Dasar

Sebuah rangkaian penguat operasional membalik seperti pada gambar 2.15 memiliki titik tegangan tanah semu (*virtual ground*). Istilah semu ini diartikan bahwa walaupun umpan balik dari keluaran ke masukan melalui Z_1 berfungsi untuk mempertahankan tegangan V_i pada tingkat nol, namun sesungguhnya tiada arus yang mengalir ke dalam tanah tersebut, yang digambarkan oleh anak panah berkepala dua (Millman, 1993). Besar tegangan yang dihasilkan dalam penguatan ini terhadap masukan V_{in} adalah :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$V_o = -\frac{Z_2}{Z_1} V_{in} \qquad (2.22)$$



Gambar 2.15. a. Rangkaian penguat membalik (inverting) dengan umpan balik paralel tegangan (Voltage-Shunt). b. Tanah semu dalam penguatan operasional.

2.8. Pembanding (*Komparator*)

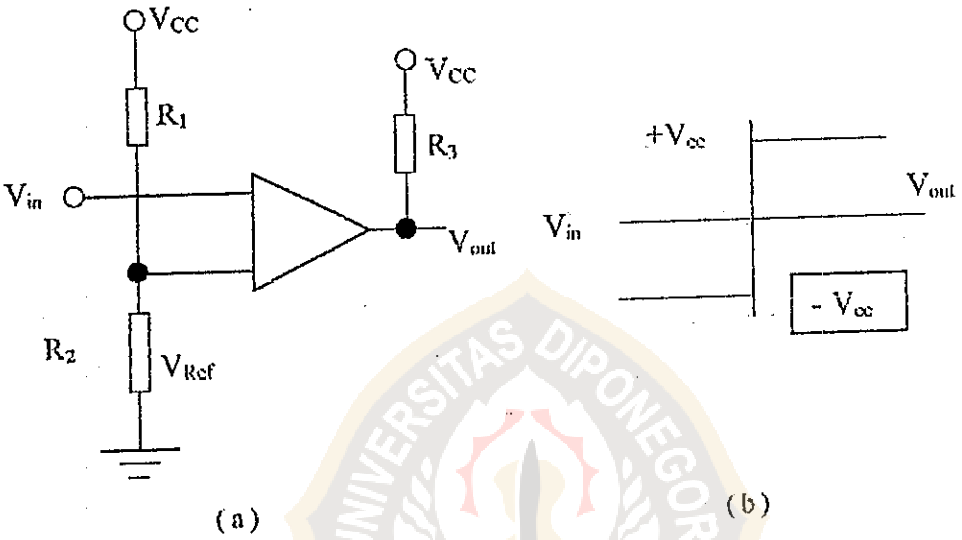
Pembanding (*komparator*) merupakan suatu perangkat yang berfungsi untuk membandingkan tegangan isyarat masukan (V_i) terhadap suatu tegangan acuan ($V_{Referensi}$) tertentu (Millman, 1993). V_{out} pada rangkaian pembanding op-amp hanya akan mengeluarkan tegangan rendah atau tinggi, tergantung pada V_{in} dan V_{ref}. Cara kerja rangkaian pembanding op-amp dapat dijelaskan oleh gambar 2.16. Jika V_{in} lebih besar dari V_{Ref}, maka tegangan V_{CC} Volt yang dikenakan pada tahanan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

R_3 akan muncul pada V_{out}. Sebaliknya jika V_{in} lebih kecil dari V_{Ref}, V_{out} menjadi rendah (Malvino, 1991).

Harga V_{Ref} dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$V_{Ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \tag{2.23}$$



Gambar 2.16. Rangkaian komparator
a) Rangkaian komparator
b) Tegangan keluaran komparator

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)