

BAB II

DASAR TEORI

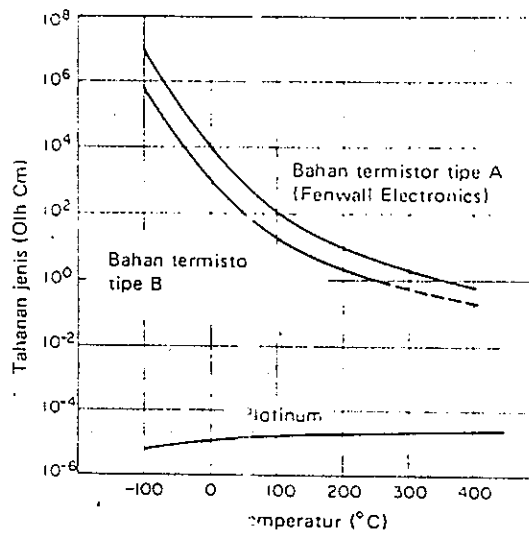
2.1. Sensor Suhu

Untuk mengukur energi panas suatu benda dibutuhkan sensor suhu. Sensor ini merupakan piranti untuk mengubah energi panas menjadi sinyal tegangan analog. Banyak sekali sensor suhu yang dapat digunakan misalnya *termistor*, *termokopel*, *termometer tahanan*, *Integrated Circuit* dan lain-lain (Cooper, 1985).

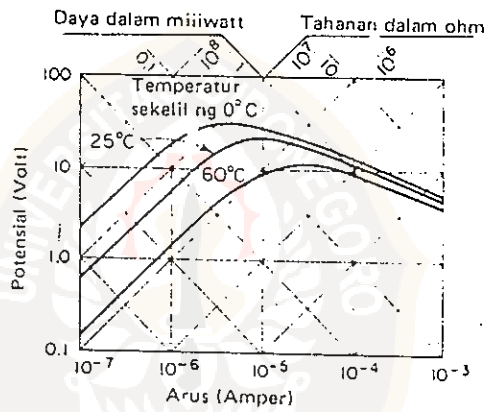
2.1.1. Termistor

Jenis sensor suhu ini berupa tahanan (*resistor*) yaitu jenis termistor (*thermal resistor*) yang mempunyai sifat koefisien temperatur tahanan negatif. Dalam beberapa hal tahanan termistor pada temperatur ruang bisa berkurang sebanyak 6 % untuk setiap kenaikan 1 °C. Kepekaan yang tinggi terhadap perubahan temperatur ini membuat termistor sangat sesuai untuk pengukuran, pengontrolan dan kompensasi temperatur secara presisi (Cooper, 1985).

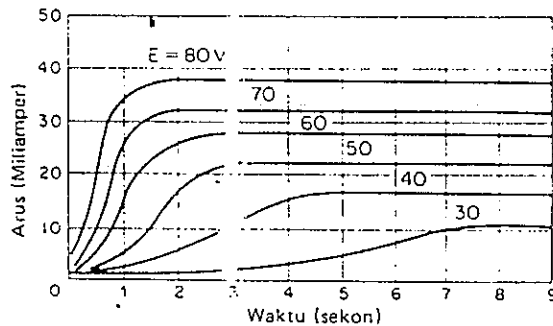
Ada beberapa karakteristik termistor antara lain : karakteristik temperatur tahanan, karakteristik arus tegangan, karakteristik waktu arus. Karakteristik temperatur tahanan pada gambar (2-1) menunjukkan bahwa termistor mempunyai koefisien temperatur tahanan negatif yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk sensor suhu yang ideal. Karakteristik arus tegangan pada gambar (2-2) menunjukkan bahwa tegangan termistor bertambah terhadap kenaikan arus hingga mencapai suatu nilai puncak kemudian tegangan turun dengan bertambahnya arus (Cooper, 1985).



Gambar 2-1 Karakteristik temperatur tahanan (Cooper,1985).



Gambar 2-2 Karakteristik arus-tegangan (Cooper,1985).



Gambar 2-3 Karakteristik waktu-arus (Cooper,1985).

Karakteristik pemanasan sendiri (*self-heat*), memberikan suatu bidang pemakaian yang baru bagi termistor. Dalam keadaan yang memanasi sendiri termistor adalah sensitif terhadap panas yang disentuhkannya. Kurva karakteristik waktu arus pada gambar (2-3) menunjukkan keterlambatan untuk mencapai arus paling besar sebagai fungsi dari tegangan yang dimasukkan. Bila efek pemanasan sendiri terjadi maka diperlukan waktu tertentu untuk memanasi dan menaikkan arus ke nilai mantap yang paling besar (*Cooper, 1985*).

Perubahan tahanan termistor yang relatif besar setiap perubahan temperatur menjadikannya sebuah pilihan yang jelas sebagai sensor suhu. Sebuah termistor dengan tahanan 2 k Ω pada suhu 25 $^{\circ}\text{C}$ dan koefisien temperatur sebesar 2,9 %/ $^{\circ}\text{C}$ akan memiliki perubahan tahanan sebesar 78 Ω / $^{\circ}\text{C}$. Hal ini dapat dihitung dengan rumus :

$$R_t = R_{ref} (1 + \alpha \Delta t) \quad (2-1)$$

dengan R_t adalah tahanan konduktor pada temperatur t ($^{\circ}\text{C}$).

R_{ref} adalah tahanan pada temperatur referensi.

α adalah koefisien temperatur tahanan.

Δt adalah selisih antara temperatur kerja dan temperatur referensi.

2.1.2. Termometer Tahanan

Detektor temperatur tahanan (*RTD - Resistance Temperature Detector*), menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga atau nikel murni yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing temperatur. Hubungan

antara temperatur dan tahanan konduktor dalam rangkuman sekitar 0°C dapat ditentukan dengan persamaan (Cooper, 1985) :

$$R_t = R_{ref} (1 + \alpha \Delta t) \quad (2-2)$$

dengan R_t adalah tahanan konduktor pada temperatur $t(^{\circ}\text{C})$.

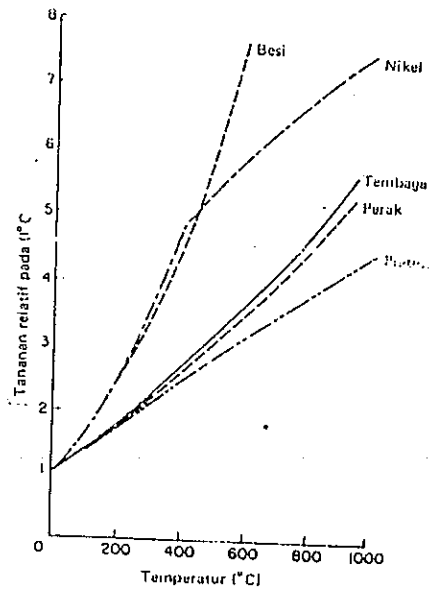
R_{ref} adalah tahanan pada temperatur referensi biasanya 0 °C.

α adalah koefisien temperatur tahanan.

Δt adalah selisih antara temperatur kerja dan temperatur referensi.

Hampir semua konduktor logam memiliki koefisien tahanan temperatur yang positif yaitu koefisien tahanannya akan bertambah terhadap kenaikan temperatur. Beberapa bahan seperti karbon dan germanium, memiliki koefisien temperatur tahanan yang negatif yang menandakan bahwa tahanan tersebut berkurang terhadap kenaikan temperatur. Elemen pengindra diinginkan nilai α yang tinggi, sehingga suatu perubahan tahanan yang besar terjadi pada perubahan temperatur yang relatif kecil.

Pada gambar (2-4) diperlihatkan variasi tahanan terhadap temperatur untuk berbagai bahan yang lazim digunakan. Grafik gambar (2-4) menunjukkan bahwa tahanan platina dan tembaga bertambah hampir linier terhadap temperatur, sedangkan karakteristik untuk nikel jelas tidak linier.



Gambar 2-4 Tahanan relatif (R_t/R_{ref}) terhadap temperatur untuk beberapa logam (Cooper, 1985).

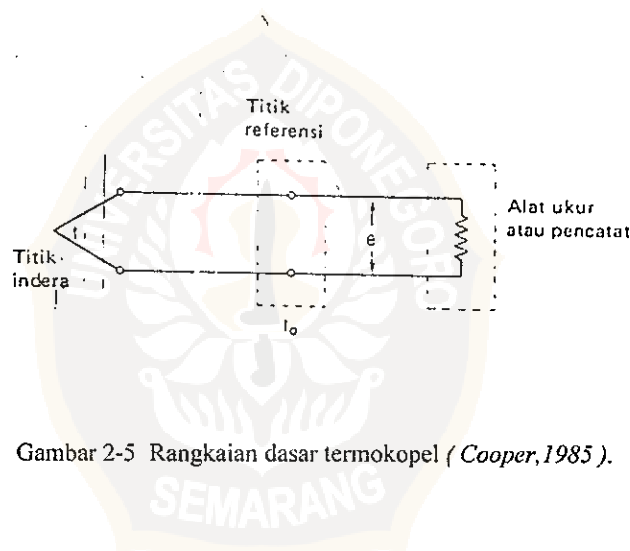
Tabel 2-1 Elemen -elemen termometer tahanan (Cooper, 1985).

Jenis	Rangkuman Temperatur	Ketelitian (kurang lebih)	Keuntungan	Kerugian
Platina	-300°Fs/d +1500°F	1°F	<ul style="list-style-type: none"> • murah • stabilitas tinggi • rangkuman kerja lebar 	<ul style="list-style-type: none"> • waktu respon lambat(15s) • tidak selinier tembaga
Tembaga	-325°Fs/d +250°F	0,5°F	<ul style="list-style-type: none"> • linieritas tinggi • ketelitian dalam lingkungan sekitar 	<ul style="list-style-type: none"> • rangkuman temperatur terbatas (250°F)
Nikel	32°Fs/d +150°F	0,5°F	<ul style="list-style-type: none"> • umur panjang • sensitivitas tinggi • koefisien temperatur tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • lebih linier • rangkuman temperatur sampai 150°F

Elemen pengindra dari sebuah termometer tahanan dipilih berdasarkan pemakaian. Tabel (2-1) menunjukkan karakteristik dari tiga bahan tahanan, kawat platina kebanyakan digunakan untuk pemakaian laborat dan untuk pengukuran ketelitian tinggi. Kawat nikel dan tembaga lebih murah dan lebih mudah dibuat dan sering digunakan untuk pemakaian rangkuman rendah.

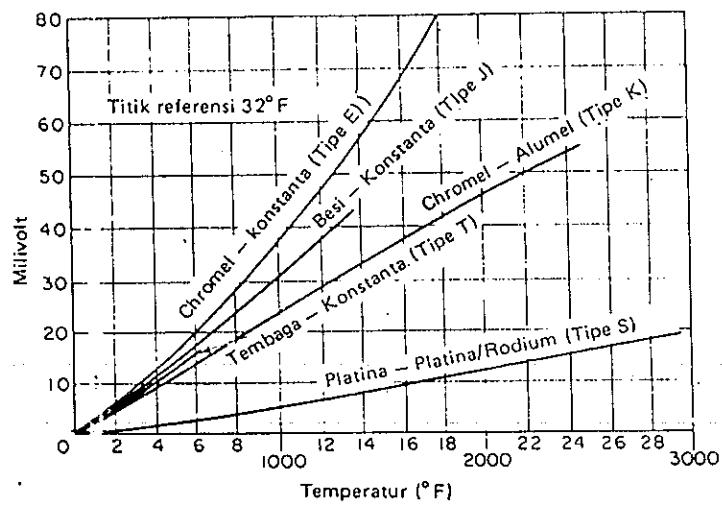
2.1.3. Termokopel

Termokopel terdiri dari sepasang kawat logam yang tidak sejenis yang dihubungkan bersama pada satu ujung (ujung pengindera atau ujung panas) dan berakhir pada ujung lain (titik referensi atau ujung dingin). Bila pada ujung pengindera dan titik referensi terdapat perbedaan temperatur, suatu ggl yang menyebabkan arus di dalam rangkaian akan dihasilkan. Bila titik referensi ditutup dengan alat ukur seperti pada gambar (2-5), penunjukkan alat ukur itu akan sebanding dengan selisih temperatur antara ujung panas dan titik referensi (*Cooper, 1985*).



Gambar 2-5 Rangkaian dasar termokopel (*Cooper, 1985*).

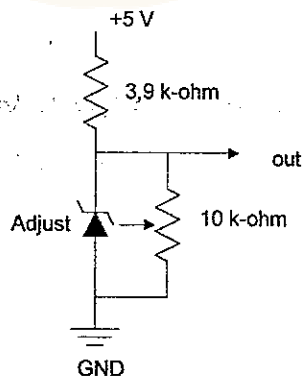
Besarnya ggl tergantung pada bahan kawat yang digunakan dan pada selisih temperatur antara titik sambung. Gambar (2-6) menunjukkan ggl termal untuk beberapa bahan termokopel yang lazim digunakan. Nilai yang didapat didasarkan pada temperatur referensi sebesar 32 °F. Pengukuran temperatur yang paling sederhana adalah dengan menghubungkan langsung sebuah millivoltmeter sensitif ke titik referensi. Berarti defleksi alat pencatat hampir berbanding langsung dengan beda temperatur antara ujung pengindera dan ujung referensi (*Cooper, 1985*).



Gambar 2-6 Tegangan keluaran termokopel fungsi temperatur untuk bahan termokopel (Cooper, 1985).

2.1.4. Sensor Integrated Circuit

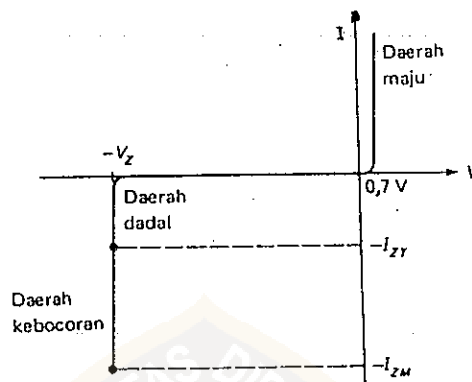
Salah satu jenis sensor suhu yang berupa IC adalah IC LM 335. Sensor ini mengubah besaran temperatur menjadi sinyal tegangan analog. Gambar (2-7) menunjukkan rangkaian standart IC LM 335 yaitu trimmer yang dirangkai paralel digunakan untuk penyetelan sensor pada $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$. Resistor $3,9 \text{ k}\Omega$ nilainya tidak kritis, karena yang perlu diperhatikan hanya nilai arus yang diperbolehkan maksimal 5 mA . Tetapi karena pemanasan yang disebabkan arus maka resistor tidak boleh terlalu kecil.



Gambar 2-7 Rangkaian standart sensor temperatur LM 335 (Link, 1993)

LM 335 mempunyai karakteristik, rentang temperaturnya adalah 0°C sampai 100°C dan rentang pengukurannya dapat diperlebar sampai -10°C (Link, 1993).

Pada dasarnya inti dari LM 335 adalah sebuah dioda zener yang dapat diatur besar keluarannya. Karakteristik dioda zener dapat dilihat pada gambar (2-8).



Gambar 2-8 Karakteristik dioda zener (Malvino, 1986).

Cara kerja dioda zener terlihat dari grafik bahwa dalam daerah maju dioda mulai menghantar arus di sekitar 0,7 V, tepat seperti dioda biasa. Dalam daerah kebocoran (antara tegangan nol dan tegangan dadal) dioda hanya dilalui oleh arus balik atau arus kebocoran yang kecil. Kedadalan dioda zener ditandai dengan lutut grafik yang tajam sekali dan ini disusul dengan grafik peningkatan arus yang hampir tegak lurus arahnya. Dalam daerah dadal tegangannya hampir tidak berubah yaitu kurang lebih sama dengan V_z , harga V_z untuk harga I_z tertentu.

Disipasi daya dari suatu dioda diberikan oleh :

$$P_z = V_z I_z \quad (2-3)$$

dengan P_z adalah daya dioda zener.

V_z adalah tegangan zener.

I_z adalah arus yang mengalir pada dioda zener.

Selama P_z berharga lebih rendah dari batas dayanya, dioda masih dapat bekerja dalam daerah dadal tanpa mengalami kerusakan. Dioda zener juga mempunyai harga arus maksimum, arus maksimum ini dikaitkan dengan harga daya yang diperbolehkan :

$$I_{zm} = P_{zm} / V_z \quad (2-4)$$

dengan I_{zm} adalah arus maksimum

P_{zm} adalah batas daya

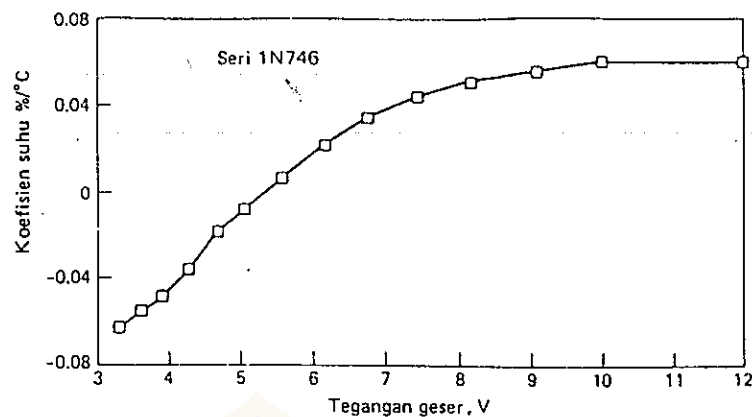
V_z adalah tegangan zener

I_{zm} mengungkapkan arus zener pada titik terbakar (*burn out point*), pada grafik tanda minus diberikan untuk menunjukkan arus yang sebaliknya (Malvino, 1986).

Dioda zener teroptimasi pada tegangan dadal sehingga daerah operasi normal terletak pada tegangan dadal. Hal ini disebabkan adanya *efek avalans* yakni bila dioda terkena tegangan balik maka pembawa-pembawa minoritasnya akan menimbulkan arus balik yang sangat kecil dibawah titik dadal. Bila tegangan balik melampaui batas maka pembawa minoritas akan dapat energi besar untuk melepaskan elektron-elektron valensi dari orbitalnya. Elektron tersebut akan melepaskan elektron yang lain, sehingga menghasilkan arus balik yang besar. Penyebab yang lain adalah adanya *efek zener* yaitu bila dioda zener memiliki tak-murnian yang besar sehingga dengan adanya tegangan balik akan menimbulkan medan listrik yang besar pada persambungan sehingga menimbulkan arus yang besar pula.

Zener mempunyai koefisien suhu tertentu yaitu perubahan prosentase untuk perubahan suhu satu derajat. Efek zener menghasilkan koefisien suhu negatif, yang

berarti bahwa tegangan dadal turun dengan kenaikan suhu. Di pihak lain efek avalans menghasilkan efek tegangan positif, yang berarti bahwa tegangan zener akan naik seiring dengan temperatur yang diterima zener (Malvino, 1986).

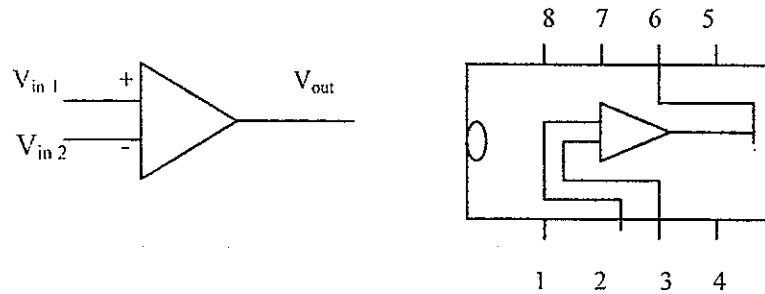


Gambar 2-9 Koefisien suhu dan tegangan geser pada daerah tegangan tertentu adalah linier (Malvino, 1986).

Dalam gambar (2-9) terlihat perubahan koefisien suhu terhadap tegangan zener. Untuk daerah tegangan dadal, efek zener yang menentukan dan koefisien suhunya berharga negatif. Sedangkan diatasnya efek avalans yang berperan sehingga koefisien suhu naik dengan kenaikan tegangan. Koefisien suhu melintasi harga nol sesuai dengan peralihan dari efek zener ke efek avalans (Malvino, 1986).

2.2. Penguat Operasional (op-amp)

Penguat op-amp merupakan rangkaian terintegrasi yang didalamnya terdapat transistor, dioda, resistor dan kapasitor. Penguat op-amp memiliki dua buah masukan V_1 dan V_2 dan satu keluaran dari keluaran tegangan kolektor transistor di dalamnya. Lambang op-amp terlihat pada gambar (2-10) dan memakai jenis u A741.



Gambar 2-10 Simbol op-amp dan susunan uA 741 sebagai penguat

dengan V_{in1} adalah input yang menyebabkan outputnya membalik (*inverting input*).

V_{in2} adalah input yang non-inverting.

V_{out} adalah output.

nomor kaki 1. Offset nul 1 = N_1

5. Offset nul 2 = N_2

2. Inverting input.

6. Output

3. Non-Inverting input.

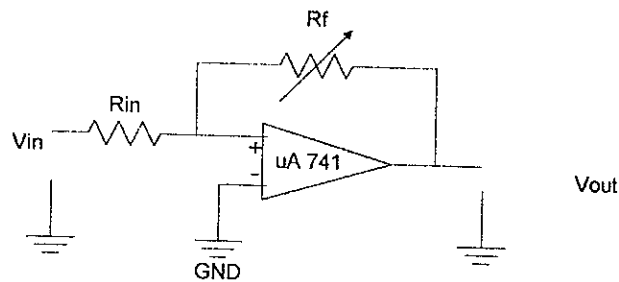
7. +Vcc, ke PSA yang positif.

4. -Vcc, ke PSA yang negatif.

8. NC (Non Conect).

Sifat-sifat ideal Op-amp antara lain :

1. Input impedansi Z_{in} harganya tak berhingga , berlaku untuk V_1 dan V_2 .
2. Output Impedansi Z_{out} berharga nol.
3. Voltage gain A_v harganya tak berhingga.
4. Lebar pita (*bandwidth*) adalah tak berhingga.
5. Seimbang sempurna (*perfect balance*), jika $V_1 = V_2$ maka $V_o = \text{nol}$.
6. Karakteristik tidak berubah dengan suhu.



Gambar 2-11 Rangkaian sederhana op-amp.

Umumnya untuk mengatur penguatan tegangan diberikan tambahan R_{in} dan R_{out} besar penguatan dapat dihitung :

$$A_v = R_f / R_{in} \quad (2-5)$$

dengan A_v adalah besar penguatan.

R_f adalah resistor out.

R_{in} adalah resistor input.

Bila suatu op-amp $A_v = 1$ dengan memakai masukan pembalik sehingga bila $V_{in} = +5$ V maka $V_{out} = -5$ V sehingga dengan rumus juga bisa dihitung besar penguatan :

$$A_v = V_{out} / V_{in} \quad (2-6)$$

dengan V_{out} adalah tegangan keluaran.

V_{in} adalah tegangan masukan.

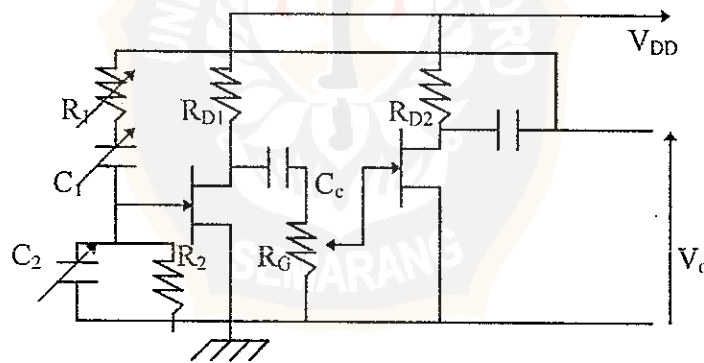
Untuk mengatur besarnya penguatan kita cukup dengan mengatur besarnya perbandingan antara R_{in} dan R_{out} (Tokheim, 1995).

2.3. Osilator

Osilator merupakan piranti yang menghasilkan keluaran berupa isyarat tegangan. Bentuk isyarat tegangan terhadap waktu ada bermacam-macam yaitu bentuk sinusoida, persegi, segitiga, gigi gergaji atau denyut (Sutrisno, 1987).

2.3.1. Osilator RC

Osilator RC menggunakan hambatan R dan kapasitansi C untuk mengatur frekuensi. Isyarat keluaran yang dihasilkan dapat diusahakan agar berbentuk sinusoida. Osilator ini memakai balikan positif yang bersifat reaktif, sehingga kondisi osilasi yaitu $\beta v G v(\omega) = 1$ hanya berlaku untuk satu nilai frekuensi yang berakibat isyarat keluaran berbentuk sinusoida. Ada beberapa macam osilator RC antara lain, osilator jembatan RC, osilator jembatan Wien, osilator T- kembar.



Gambar 2-12 Rangkaian osilator jembatan RC (Sutrisno, 1987).

Pada gambar (2-12) nampak rangkaian osilator jembatan RC, R_1 C_1 dan R_2 C_2 membentuk rangkaian balikan positif yang reaktif, sehingga faktor balikan βv tergantung pada frekuensi. Bila digunakan $R_1=R_2=R$ dan $C_1=C_2=C$, frekuensi dapat

diubah dengan mengubah besarnya R_1 dan R_2 . Faktor balikan dapat dihitung (Sutrisno, 1987) :

$$\beta_v = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R/(1/j\omega C)}{(R + 1/j\omega C) + R/(1/j\omega C)}$$

$$= \frac{j\omega RC}{j\omega RC(j\omega RC + 1) + (j\omega RC + 1) + j\omega RC} \quad (2-7)$$

Untuk satu nilai frekuensi $\omega = 1/RC$ sehingga :

$$\beta_v = \frac{j}{j(j+1) + (j+1) + 1} = \frac{j}{3j} = \frac{1}{3} \quad (2-8)$$

dengan β_v adalah faktor balikan.

V_f adalah tegangan input.

V_o adalah tegangan output.

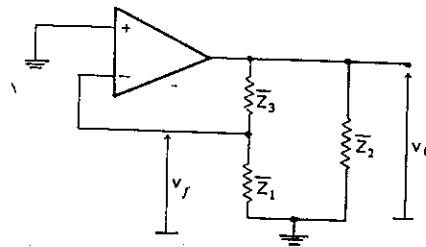
ω adalah nilai frekuensi.

R adalah resistor.

C adalah kapasitor.

2.3.2. Osilator LC

Osilator LC memperoleh isyarat dengan melalui rangkaian paralel, osilator ini digunakan untuk memperoleh isyarat sinusoida dari frekuensi audio hingga frekuensi radio bahkan sampai frekuensi gelombang mikro. Bentuk dasar osilator LC ditunjukkan pada gambar (2-13). Macam osilator LC antara lain osilator Hartley, osilator Collpitt (Sutrisno, 1987).

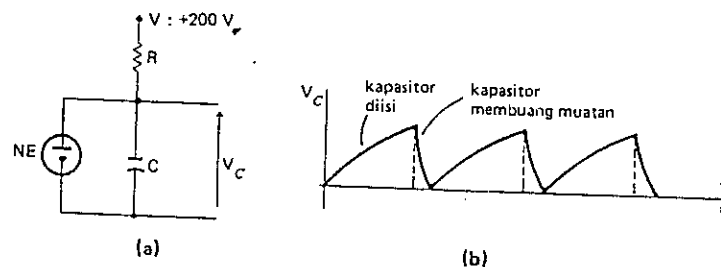


Gambar 2-13 Bentuk dasar osilator LC (Sutrisno, 1987).

Nilai Z_1 , Z_2 , dan Z_3 merupakan reaktansi murni yang membentuk rangkaian resonansi LC paralel pada keadaan resonansi.

2.3.3. Osilator relaksasi

Osilator relaksasi menggunakan pengisian dan penguatan muatan pada suatu kapasitor melalui suatu hambatan. Suatu perubahan eksponensial dalam waktu tertentu disebut *relaksasi*. Oleh karena pengisian muatan oleh tegangan tetap bersifat eksponensial, maka osilator yang menggunakan mekanisme ini juga dikenal dengan *osilator relaksasi*. Osilator relaksasi dapat menggunakan lampu neon, transistor sambungan tunggal unijunction transistor (UJT), PUT, op-amp (Sutrisno, 1987).

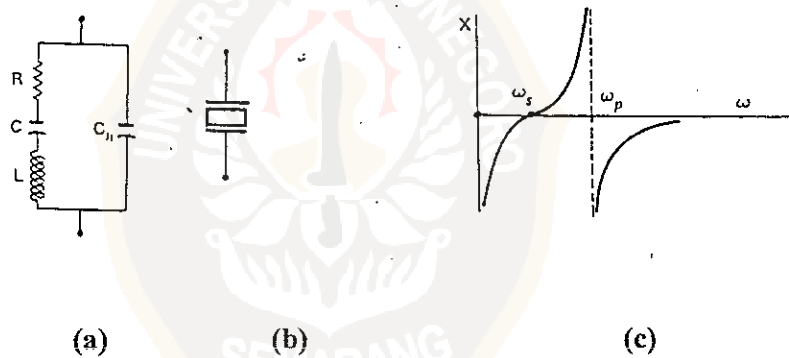


Gambar 2-14 Osilator relaksasi lampu neon dan isyarat keluaran (Sutrisno, 1987).

2.3.4. Osilator Kristal

Osilator kristal menggunakan kristal kuarsa, yakni kristal silikondioksida yang bersifat *piezoelektrik*. Jika kristal ditekan akan timbul beda potensial listrik, sebaliknya bila antara dua permukaan kristal diberi beda potensial listrik terjadilah tekanan mekanis antara kedua permukaan kristal. Sifat ini mengakibatkan kristal berperilaku sebagai suatu sistem resonansi (Sutrisno, 1987).

Pada gambar (2-15) C bersama L membentuk rangkaian LC seri, sedangkan C_n membentuk rangkaian paralel, kapasitansi C adalah kapasitansi kristal, C_n adalah kapasitansi pemegang kristal. Reaktansi kristal jika R diabaikan nampak seperti pada gambar (2-15) (c). Rangkaian setara terlihat pada gambar(2-15)(a).



Gambar 2-15 (a) Rangkaian setara kristal .
(b) Lambang kristal.
(c) Reaktansi kristal.

2.3.5. VCO (*Voltage Controlled Oscillator*)

Voltage Controller Oscillator merupakan osilator yang terkendali tegangan. VCO dapat digunakan untuk pengendalian frekuensi seiring dengan perubahan tegangan yang masuk pada VCO.

VCO dimisalkan mempunyai frekuensi gerak bebas f_f dan pergeseran frekuensi Δf yang sebanding tegangan kendali masuk V_d .

Frekuensi keluaran dapat dinyatakan :

$$f_o = f_f + k_o V_d \text{ Hz} \quad (2-9)$$

$$\omega_o = \omega_f + K_o V_d \text{ rad/det} \quad (2-10)$$

dengan f_o adalah frekuensi keluaran.

f_f adalah frekuensi gerak bebas.

V_d adalah tegangan kendali masuk.

ω_o adalah frekuensi radian keluaran.

ω_f adalah frekuensi radian gerak bebas.

satuan untuk $k_o = \text{Hz/volt}$ dan $K_o = \text{rad/det/volt}$.

Untuk menghubungkan pergeseran frekuensi radian ke sudut fase, untuk sudut total keluaran dapat dijabarkan :

$$\theta(t) = \int_o^t (\omega_f + \Delta\omega) dt = \omega_f t + \theta_o(t) \quad (2-11)$$

dengan $\Delta\omega$ adalah penyimpangan dari ω_f . Jadi :

$$\theta_o(t) = \int_o^t \Delta\omega dt. \quad (2-12)$$

$$d\theta_o(t)/dt = \Delta\omega = K_o V_d \quad (2-13)$$

dengan $\theta_o(t)$ adalah sudut total keluaran.

$\Delta\omega$ adalah penyimpangan frekuensi radian.

2.4. Proses Modulasi

Proses modulasi berarti penyetyelan atau pengaturan parameter yang dibawa sinyal pembawa oleh sinyal informasi, misalnya : sinyal audio, sinyal digital, pembangkit gelombang listrik. Sedangkan piranti yang mengerjakan adalah modulator, yakni memodulasikan sinyal yang sesuai dengan sinyal pembawa.

Jenis proses modulasi dengan sinyal pembawa antara lain (Helbert, 1990) :

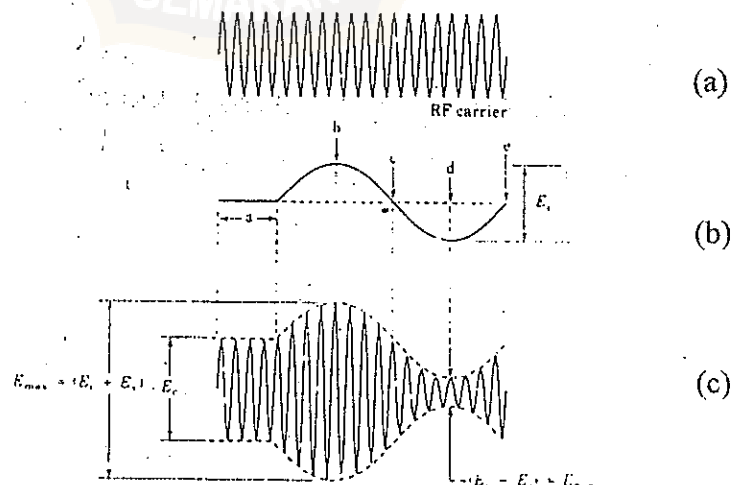
1. Sistem modulasi amplitudo (AM) merupakan jenis modulasi sinyal pembawa dengan perubahan besaran amplitudo gelombangnya, terlihat pada gambar (2-16)(c). Dalam modulasi ini deviasi amplitudo E_c sebanding dengan harga sesaat gelombang pemodulasi. Dengan kata lain kalau sinyal pemodulasi sama dengan $F(t)$, amplitudo pembawa berubah dalam waktu menurut persamaan :

$$E_c(t) = E_c(1 + m_a F(t)) \quad (2-14)$$

dengan E_c adalah deviasi amplitudo.

m_a adalah faktor modulasi.

$F(t)$ adalah sinyal pemodulasi.



Gambar 2-16 (a) Gelombang pembawa, (b) Sinyal informasi
(c) Gelombang modulasi amplitudo.

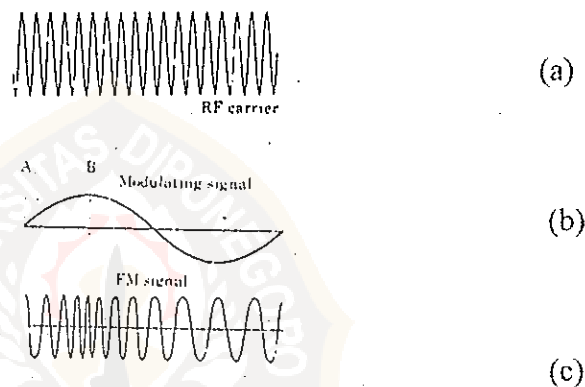
2. Sistem modulasi frekuensi (FM) merupakan jenis modulasi sinyal pembawa dengan perubahan besaran frekuensi gelombangnya, terlihat pada gambar (2-17)(c). Dalam modulasi frekuensi (FM) frekuensi sesaat,

$$\omega(t) = d\theta(t)/dt \quad (2-15)$$

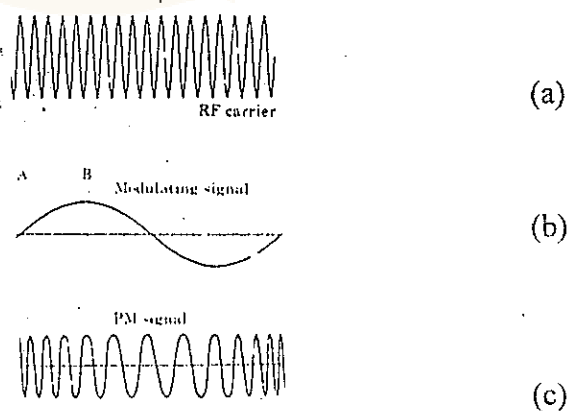
dengan $\omega(t)$ adalah frekuensi sesaat.

$d\theta(t)$ adalah sudut fase.

diubah-ubah dari harga tanpa modulasi, sebanding dengan sinyal pemodulasi $F(t)$.



Gambar 2-17 (a) Gelombang pembawa, (b) Sinyal informasi (c) Gelombang modulasi frekuensi.



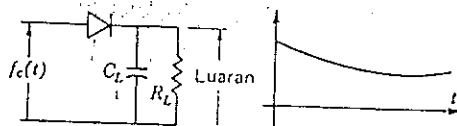
Gambar 2-18 (a) Gelombang pembawa, (b) Sinyal informasi (c) Gelombang modulasi fase.

3. Sistem modulasi phase (PM) merupakan jenis modulasi sinyal pembawa dengan perubahan pada sudut phase gelombangngnya, terlihat pada gambar (2-18)(c). Dalam modulasi phase sudut $\theta(t)$ diubah-ubah sebanding dengan sinyal pemodulasi $F(t)$.

2.5. Proses Demodulasi

Proses memisahkan suatu sinyal pita dasar dari suatu pembawa yang dimodulasi disebut demodulasi. Pada dasarnya demodulasi merupakan kebalikan dari modulasi dan memerlukan alat taklinier.

Penemuan kembali dapat dilakukan dengan melewati sinyal pembawa yang dimodulasi melalui suatu rangkaian taklinier lalu difilter. Secara umum terdiri dari suatu penyearah dioda setengah gelombang diikuti oleh rangkaian R atau C. Pada gambar (2-19) menunjukkan rangkaian taklinier dan keluaran. Untuk representasi taklinier lainnya pada dasarnya memberikan hasil yang sama, tetapi dengan lebih banyak kekomplekan dan manipulasi aljabar.



Gambar 2-19 Proses penemuan kembali dengan pengfilteran (Schwartz, 1986)