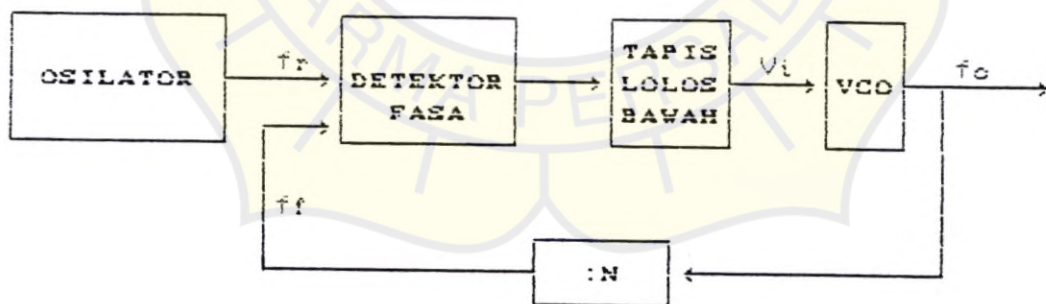


BAB II

TEORI PESINTESA FREKUENSI

Pada dasarnya rancang bangun dari pesintesa frekuensi dengan phase lock adalah pengembangan dari aplikasi metoda PLL (Phase Lock Loop). Sistem pesintesa frekuensi dengan fasa lock terdiri dari lima komponen-komponen utama, yaitu :

- Osilator
- Detektor Fasa
- Tapis
- Osilator Terkendali Tegangan (VCO)
- Rangkaian Pembagi Terprogram



Gambar 2.1 Diagram Blok Pesintesa Frekuensi dengan PLL

Secara garis besar dapat diuraikan cara kerja pesintesa frekwensi adalah sebagai berikut (lihat

gambar 2.1 diatas).

Dari osilator dihasilkan pulsa-pulsa tegangan dengan frekuensi tertentu yang merupakan frekuensi referensi sebagai spasi kanal yang dikehendaki (f_r). Bersama-sama dengan frekuensi umpan balik (f_f) yang dihasilkan dari rangkaian pembagi terprogram frekuensi referensi dimasukkan ke dalam detektor fasa dan hasilnya merupakan beda fasa dari kedua frekuensi tersebut ($\bar{\phi}_r - \bar{\phi}_f$) berupa tegangan dc yang mengandung komponen ac. Melalui tapis lolos bawah (LPF) komponen ac (frekuensi tinggi) dihilangkan sehingga keluaran dari tapis lolos bawah (LPF) berupa tegangan dc saja yang besarnya tergantung dari besar beda fasanya ($\bar{\phi}_r - \bar{\phi}_f$). Osilator terkendali tegangan (VCO) membangkitkan sinyal keluaran dengan frekuensi sebanding dengan besar masukan tegangan dari keluaran tapis lolos bawah (LPF). Keluaran dari rangkaian pembagi terprogram adalah frekuensi yang merupakan pulsa-pulsa tegangan dari frekuensi keluaran osilator terkendali tegangan (VCO) dibagi dengan faktor pembaginya, sehingga menghasilkan frekuensi umpan-balik (f_f) yang besarnya antara nol sampai dengan frekuensi referensi.

Dengan demikian besar frekuensi keluaran sebanding dengan tegangan masukan pada osilator terkendali tegangan (VCO). Sedangkan tegangan masukan pada osilator terkendali tegangan (VCO) sebanding dengan beda fasa frekuensi referensi (f_r)

dan frekuensi umpan balik (f_f). Sehingga besar frekuensi keluaran (f_o) yang dikehendaki bergantung dari frekuensi umpan balik (f_f) yang diperoleh dengan cara mengubah faktor pembagi pada rangkaian pembagi terprogram.

2.1. Osilator

Osilator adalah suatu rangkaian yang dapat menghasilkan suatu gelombang osilasi. Osilator dapat dibedakan dari hasil keluarannya menjadi dua kelompok :

- a. Osilator harmonisa yang membangkitkan sinyal-sinyal sinusoida.
- b. Osilator relaksasi (relaxation oscillator) yang membangkitkan sinyal-sinyal bukan sinusoida.

a. Osilator Harmonisa.

Osilator harmonisa umumnya menerapkan umpan balik positif, karena itu sering disebut pula osilator umpan balik (feed back oscillator). Azas kerja osilator harmonisa, sehingga menghasilkan sinyal yang terjadi adalah dengan menstart sinyal sehingga membangkitkan kerja komponen-komponen dalam pada osilator itu sendiri.

Pada gambar (2.2) terlihat penguat menghasilkan sinyal keluaran yang sudah dikuatkan G kali. Sinyal yang sudah dikuatkan itu dikembalikan lewat

rangkaian umpan balik, dan masuk kembali ke penguat menjadi GH kali. Perolehan rantai total dapat dinyatakan sebagai hasil kali dua bilangan kompleks, G dan H . Perolehan keseluruhan dengan umpan balik dinyatakan dengan :

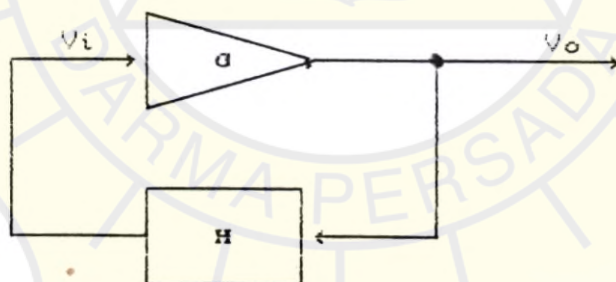
$$A_v = \frac{G}{1 - GH} \dots\dots\dots (2.1)$$

bila : A_v = Perolehan kompleks rangkaian keseluruhan (besar dan sudut fasa).

G = Perolehan kompleks bagian yang mengarah maju.

H = Perolehan kompleks bagian umpan balik.

GH = Perolehan kompleks rantai. ★



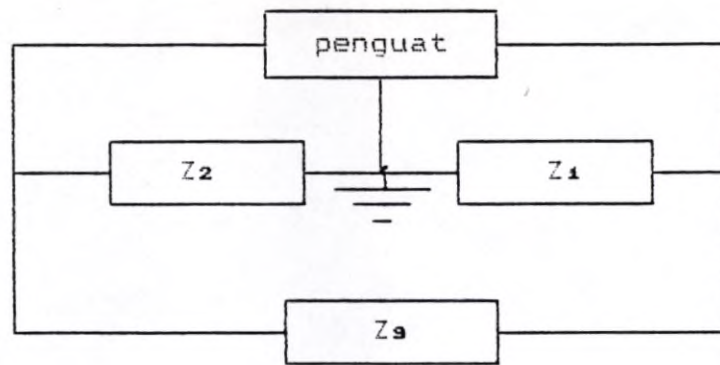
Gambar 2. 2. Blok Diagram Osilator Sebagai Umpan Balik Positif

G dan H mempunyai pergeseran fasa sebesar 180° atau adalah negatif. Bila besarnya perolehan kompleks rantai lebih dari satu ($|GH| > 1$) maka osilasi akan bertambah besar. Dalam osilator-osilator

praktis, osilator ini akan terus bertambah sampai ketidak-linieran penguat, seperti misalnya kejenuhan, membatasi perolehan $|GH|$ pada nilai satu. Setelah itu besarnya ini akan mengatur sendiri secara otomatis untuk mempertahankan perolehan tetap sama dengan satu, atau suatu keadaan osilasi yang stabil. Beberapa osilator yang termasuk jenis harmonisa diantaranya adalah :

- Osilator pergeseran fasa RC
- Osilator LC yang ditala

Osilator LC yang ditala ini dapat dibedakan menurut jenis reaktansi yang digunakan diantaranya, osilator Hartley, osilator Colpitts, osilator Clapp dan osilator masukan maupun keluaran ditala. Pada gambar (2.3) terlihat rangkaian osilator LC yang ditala secara umum, Z_1 , Z_2 dan Z_3 membentuk sebuah rangkaian resonansi.

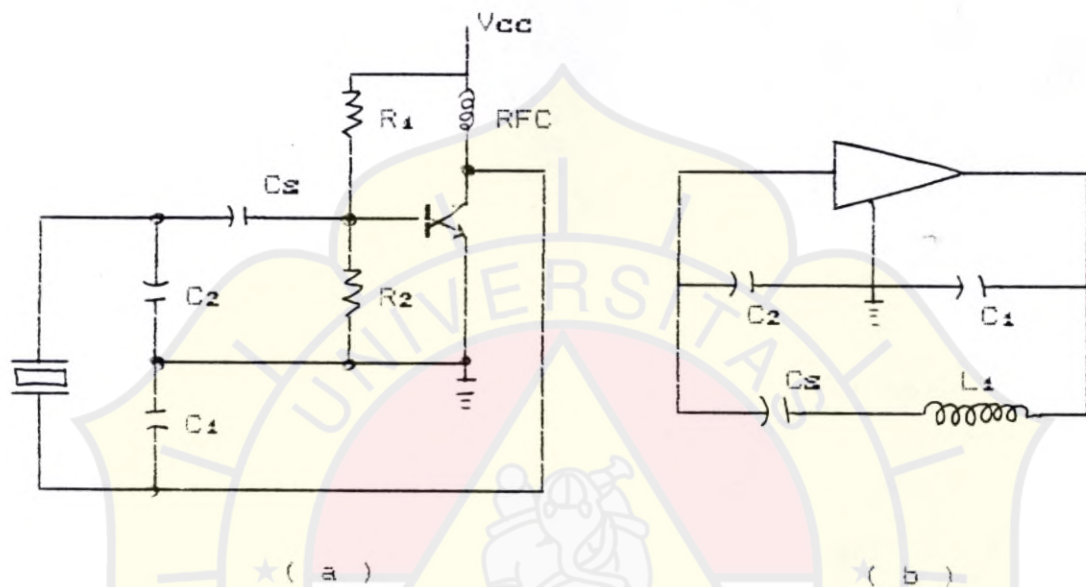


Gambar (2.3) Rangkaian Osilator Secara Umum

RANGKAIAN	Z ₁	Z ₂	Z ₃
Osilator Hartley	L	L	C
Osilator Colpitt	C	C	L
Osilator Clapp	C	C	LC seri
Tuned Oscillator	LC par.	LC par.	C
Kristal	C	C	Kristal

Selain jenis-jenis osilator diatas ada juga osilator kristal. Sebenarnya dalam resonansi, kristal merupakan suatu rangkaian LC yang ditala. Osilator Pierce seperti juga osilator Clapp, pada dasarnya adalah sebuah osilator Colpitts yang induktornya diganti kristal. Rangkaianya diberikan pada gambar (2.4a), sedangkan rangkaian ekivalennya dalam gambar (2. 4b), dimana kristal yang digunakan sudah digantikan dengan rangkaian ekivalennya. Frekuensi resonansi rangkaian ditentukan oleh resonansi seri dari rangkaian yang terdiri dari C₁, C₂, C₃ dan L₃. C₁ dan C₂ keduanya adalah jauh lebih besar dari C₃.

sehingga seluruhnya tergantung pada nilai C_2 . Kapasitansi masukan penguat dan C_1 , C_2 , secara efektif sudah dihilangkan artinya oleh C_2 dan frekuensi resonansinya adalah hampir sama dengan nilai seri untuk kristal itu sendiri.



Gambar 2.4 Osilator Kristal dan Ekiwalennya

b. Osilator Relaksasi

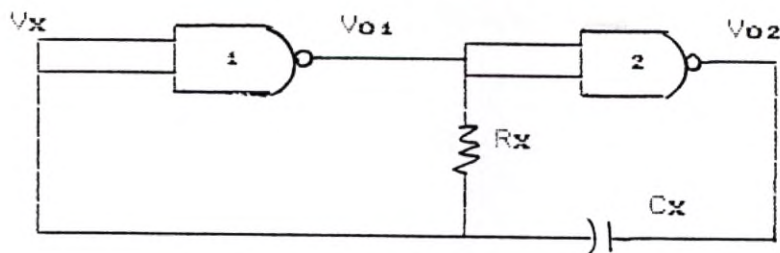
Osilator relaksasi adalah pembangkit sinyal bukan sinusoida yang sangat berguna dalam sistim digital. Rangkaian ini umumnya berupa multivibrator. Dari kestabilannya multivibrator dapat dibagi tiga jenis, yaitu :

- (i) Multivibrator bistabil
- (ii) Multivibrator monostabil
- (iii) Multivibrator astabil

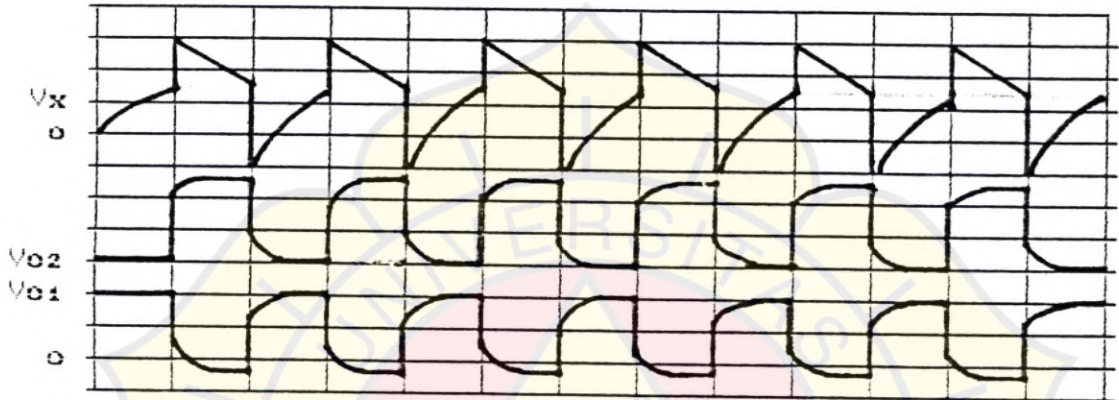
Multivibrator bistabil adalah yang mempunyai dua keadaan stabil. Rangkaian akan tetap berada pada satu keadaan stabil sampai dicetus kembali ke keadaan stabil semula.

Multivibrator monostabil hanya mempunyai satu keadaan stabil. Ia akan tetap berada pada keadaan stabil ini sampai dicetuskannya keadaan lainnya, keadaan kuasi-stabil, yaitu ia akan kembali ke keadaan semulanya yang stabil dalam waktu yang ditentukan oleh parameter rangkaian. Rangkaian ini juga dinamakan satu tembak (one shot), sangat bermanfaat dalam membangkitkan pulsa yang diketahui besar waktu berlangsungnya. Multivibrator astabil tidak mempunyai keadaan stabil. Keluaran berosilasi diantara dua keadaan kuasi-stabil. Waktu tiap keadaan kuasi-stabil ditentukan oleh parameter rangkaian.

Gambar (2.5) menunjukkan rangkaian multivibrator stabil (2.5a) dengan bentuk gelombang tegangannya (2.5b) yang bersangkutan.



(a)



2V/ruas garis
5 μ s/ruas garis

(b)

Gambar 2.5 Rangkaian Multivibrator Astabil dan Bentuk Gelombangnya

Dalam analisa diabaikan waktu tunda rambatan melalui gerbang dan dianggap bahwa tegangan keluaran gerbang berubah tingkat cepat sekali bila tegangan masukan melintasi tingkat ambang V_T . Disebabkan pembalikan oleh gerbang 2, V_{O2} adalah komponen dari V_{O1} . Sehingga pada saat t_0 dengan $V_x = V_T$, gerbang 1 menjadi tertutup, gerbang 2 menjadi terbuka dan V_{O2} dari 0 Volt menjadi V_{DD} . Perubahan tegangan yang meloncat ini (V_{DD}) dikopel lewat C_x

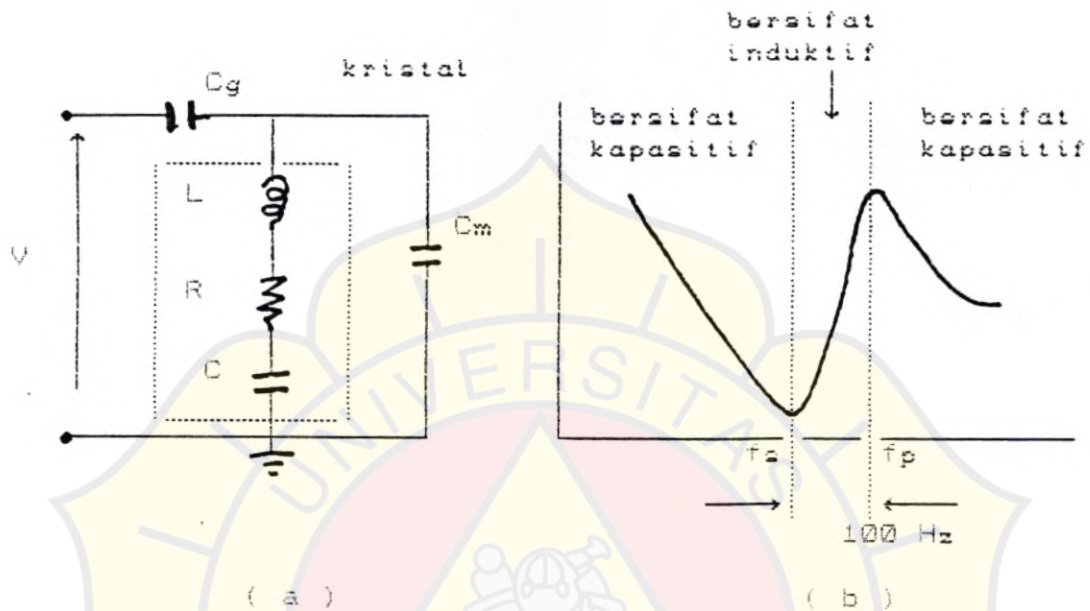
sehingga V_x berubah dari V_T menjadi $V_T + V_{DD}$. Terlihat keluaran V_{o1} berada pada 0 Volt dan V_{o2} pada V_{DD} , jadi C_x membuang muatan melalui R_x menuju 0 Volt. Tetapi bila V_x melintasi V_T pada saat t_1 , gerbang 1 menjadi terbuka dan gerbang 2 menjadi tertutup. Artinya, V_{o1} menjadi V_{DD} dan V_{o2} menjadi 0 Volt. Akibatnya, V_x berubah dari V_T menjadi $V_T - V_{DD}$. Kapasitor pewaktuan kini memuat lewat R_x menuju V_{o1} , yang berada pada V_{DD} dan bila V_x melintasi V_T pada saat t_2 , seluruh siklus berulang kembali. Pada rangkaian ini tidak ada keadaan stabil, tetapi tegangan keluaran bertukar dari satu tingkat ke tingkat lainnya menurut periode yang ditentukan oleh komponen pasif R_x dan C_x serta tegangan ambang V_T . Dengan $V_T = V_{DD} / 2$, bentuk gelombang keluaran simetris dengan $(t_1 - t_0) = (t_2 - t_1)$ dan frekuensi osilasi diberikan oleh :

$$f = \frac{1}{2t_1} = \frac{1}{2,2 \tau}$$

Bila $\tau = R_x C_x$

Multivibrator ini mempunyai frekuensi osilasi relatif stabil terhadap suhu, tetapi memang berubah dari unit ke unit sejalan perubahan tegangan ambang. Osilator relaksasi juga dapat dibuat dengan osilator kristal. Dengan kristal, denyut yang dihasilkan lebih mantap. Dalam resonansi, kristal

berlaku sebagai rangkaian LC, karena itu kristal dapat dimisalkan dengan rangkaian ekuivalen seperti pada gambar (2.6a).



Gambar 2.6. Rangkaian ekuivalen kristal dan spasi antara frekuensi resonansi.

Keterangan :

C_m : Tempat (mounting) kapasitas, sementara kristal ada didalamnya dan tidak sedang bergetar.

C_g : Kapasitas deret yang efektif, antara celah udara dan kristal.

L, R, C : ekuivalen listrik kristal, apabila sedang bergetar.

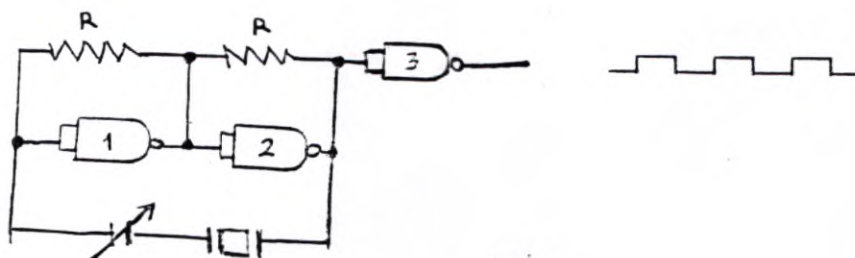
Kristal sendiri mempunyai L, C deret yang

mempunyai frekuensi resonansi (f_s). Karena kristal ada kapasitansi C_m yang berjajar, maka rangkaian juga mempunyai frekuensi resonansi jajar (f_p). Spasi antara frekuensi resonansi deret (f_s) dengan frekuensi resonansi jajar (f_p) sebesar kira-kira 100 Hz. Lengkung yang melukiskan f_s dan f_p adalah sangat tajam (Gambar 1.6b) ini berarti bahwa sirkuit mempunyai faktor :

$$Q = \frac{\Delta Z}{\Delta f} \quad (Q = \text{quality})$$

yang sangat tinggi sekali, dapat berharga beberapa ribu, bahkan mencapai sejuta.

Pada gambar (2.7) diperlihatkan salah satu osilator kristal pembangkit sinyal pulsa. Osilator ini menerapkan dua gerbang NAND dalam dekade. Gerbang tersebut berperan sebagai osilator. Kristal yang didereti kondensator trimmer diletakkan pada rangkaian umpan balik. Trimmer berguna untuk menepatkan frekuensi yang dikehendaki, lebih baik apabila memakai kondensator dengan koefisien suhu kecil dan lebih baik yang positif.



gambar 2.7 Osilator Kristal Pembangkit Pulsa

Sebuah resistor (R) dipakai untuk meyakinkan bahwa osilator pasti akan dapat mulai bekerja (start) Gerbang NAND 3 berfungsi sebagai penguat, juga untuk memberi fasilitas hidup / mati (hight / low).

2.2. Detektor Fasa

Pada prinsipnya, fungsi utama suatu detektor fasa adalah untuk membandingkan fasa sinyal masukan dengan fasa keluaran dan keluaran detektor fasa sebanding dengan perbedaan fasa tersebut yang disebut sinyal error. Detektor fasa dapat dibedakan atas dua jenis :

- a. Detektor fasa yang bekerja dengan sinyal sinusioda.

Detektor fasa ini dikatakan mempunyai karakteristik sinusoida. Detektor fasa ini bekerja dengan sinyal-sinyal sinusoida dan pada dasarnya merupakan suatu analog multiplier. Sinyal-sinyal yang masuk ke detektor fasa umumnya dinyatakan sebagai :

$$e_1 = A \sin (\omega t + \phi_1)$$

$$e_2 = B \cos (\omega t + \phi_2)$$

maka sinyal keluarannya adalah :

$$e_d = k e_1 e_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$e_d = k AB \sin (\omega t + \phi_1) \cos (\omega t + \phi_2)$$

$$= \frac{1}{2} k AB \left\{ \sin (\phi_1 - \phi_2) + \sin (2\omega t + \phi_1 + \phi_2) \right\}$$

dengan mengabaikan komponen frekuensi gandanya, maka akan di dapat :

$$e_d = K_d \sin \Phi_e \dots\dots\dots (2.3)$$

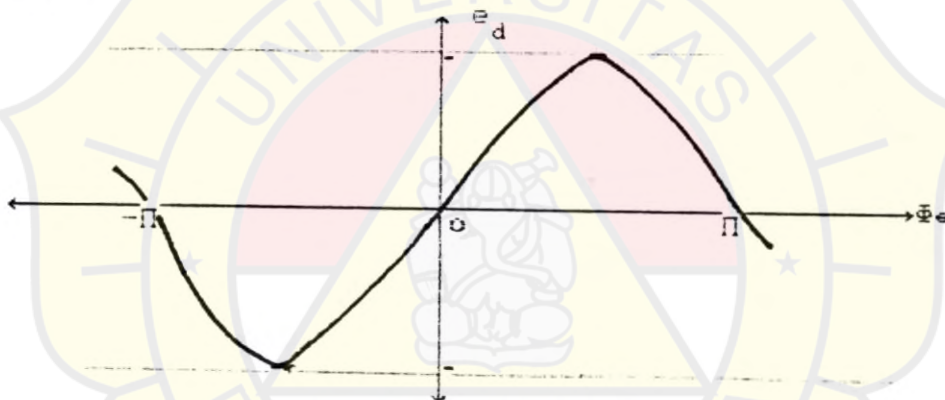
bila :

$$K_d = 1/2 k AB$$

$$\Phi_e = \Phi_1 - \Phi_2$$

Persamaan (2.3) dapat di gambarkan seperti gambar berikut :

(2.8)



gambar 2.8 Sinyal Keluaran Detektor fasa Sinusoida

b. Detektor-Fasa yang Bekerja dengan Sinyal Square.

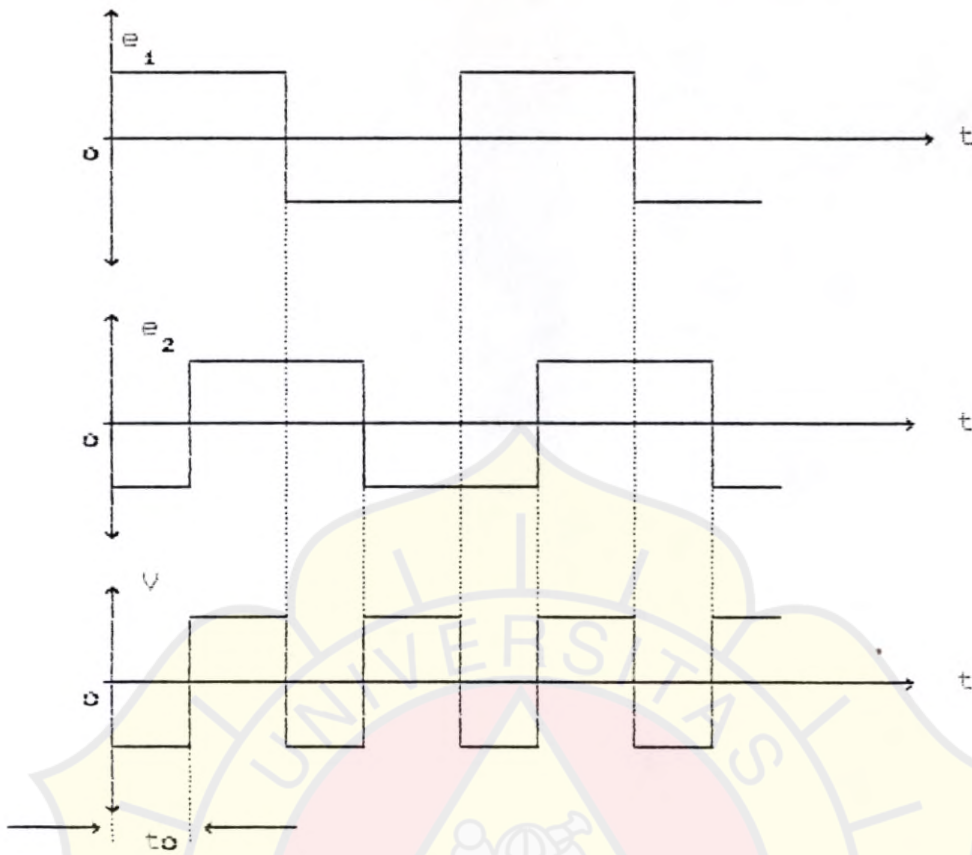
Detektor fasa yang masuk kategori ini bekerja dengan sinyal input yang berbentuk square. Sinyal square ini dapat berupa sinyal aslinya yang memang sudah berbentuk square, atau dapat juga diperoleh dari sinyal sinusoida setelah melalui proses penguatan dan limiting.

Pada detektor fasa dengan karakteristik sinusoida seperti yang telah dibahas sebelumnya, karakteristik fasa error terhadap tegangan error yang dihasilkan adalah tidak linier (gambar 2.8), hubungan yang linier hanya diperoleh pada fasa error yang kecil. Karena slopenya tidak konstan, maka konstanta sensitivitas detektor fasa jenis tersebut juga tidak konstan.

Pada detektor fasa yang bekerja dengan sinyal square, maka akan terlihat hubungan yang linier antara tegangan error dengan fasa error. Bergantung pada daerah yang bersifat linier tersebut berada, detektor fasa yang masuk jenis ini dibedakan atas :

(i). Detektor fasa karakteristik linier pada interval $(0, P)$.

Detektor Fasa yang termasuk jenis ini bekerja dengan prinsip multiplier. Keluarannya adalah perkalian antara e_1 dengan $\text{SIGN}(e_2)$, yaitu fungsi yang berharga +1 bila e_2 positif dan berharga -1 bila e_2 negatif. Gambar (2.9) menunjukkan suatu keadaan bila e_2 tertinggal t_0 detik dari e_1 .



gambar 2.9 Sinyal Masukan dan Keluaran Detektor Fasa

Hasil perkalian adalah $+A$ jika e_1 dan e_2 mempunyai tanda yang sama dan $-A$ jika keduanya berlawanan tanda, sehingga keluarannya dapat ditulis sebagai :

$$V(t) = A \text{ sign}(e_1) \text{ sign}(e_2)$$

Beda fasa antara e_1 dan e_2 adalah :

$$\Phi = \omega t_0$$

yang juga merupakan beda fasa antara komponen fundamental e_2 relatif terhadap komponen fundamental e_1 .

Komponen dc dari keluaran perkalian tersebut dapat dicari, yaitu :

$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

bila $0 < \bar{\phi} < \pi_1$ (lihat gambar 2.9)

$$\bar{v} = \frac{A}{T} \left[\int_0^{\bar{\phi}} (-dt) + \int_{\bar{\phi}}^{T/2} dt + \int_{T/2}^{T/2 + \bar{\phi}} (-dt) + \int_{T/2 + \bar{\phi}}^T dt \right]$$

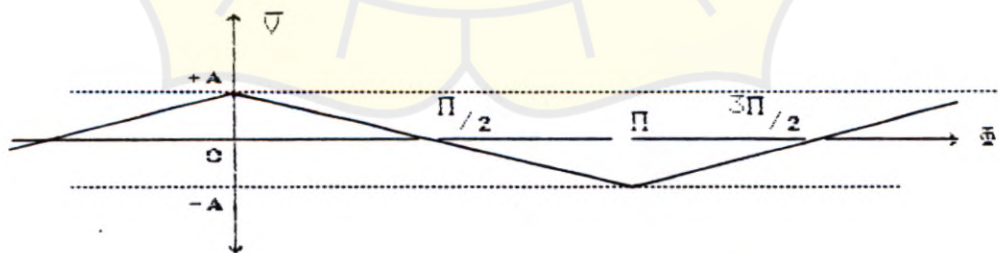
sehingga didapat :

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{A}{T} \left[T - 4 \bar{\phi} \right] \\ &= \frac{2A}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \bar{\phi} \right] \dots \dots \dots (2.4.a) \end{aligned}$$

Untuk $\pi < \bar{\phi} < 2\pi$, dengan cara yang sama akan diperoleh :

$$\bar{v} = \frac{2A}{\pi} \left[\bar{\phi} - \frac{3\pi}{2} \right] \dots \dots \dots (2.4.b)$$

Gambar (2.10) menunjukkan hubungan antara tegangan error dengan fasa error, sesuai dengan persamaan (2.4.a) dan (2.4.b).



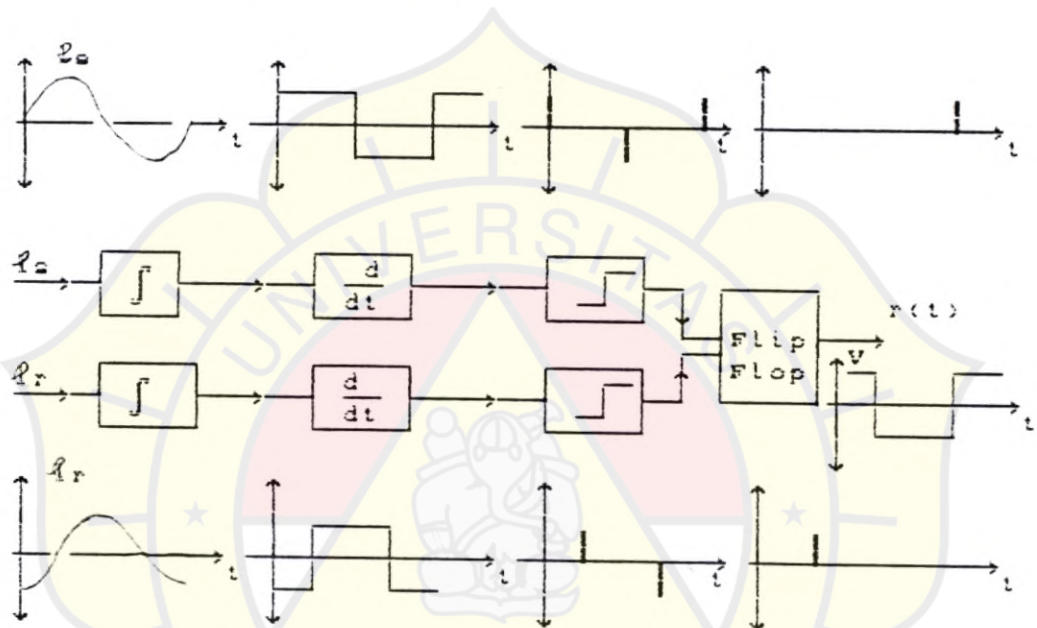
gambar 2.10 Hubungan Antara Tegangan dan Fasa Error

Konstanta sensitivitas detektor fasa jenis ini adalah

$$K_d = \frac{d\bar{V}}{d\Phi} = \frac{2A}{\pi}$$

(i) Detektor Fasa karakteristik linier pada interval
($0, 2\pi$)

Gambar (2.11) berikut menunjukkan diagram blok untuk detektor fasa jenis ini.



gambar 2.11 Diagram Blok Detektor Fasa Karakteristik Linier

Sinyal-sinyal e_1 dan e_2 masing-masing diberikan pada deretan limiter, differensiator dan penyearah, sehingga dihasilkan pulsa-pulsa tajam positif pada saat-saat penyeberangan dengan arah positif (positif going). Bila beda fasa antara e_1 dan $e_2 = \Phi$, maka deretan pulsa hasil dari e_2 akan tertunda sebesar $t_0 = \Phi/\omega$ relatif terhadap pulsa dari e_1 .

Pulsa-pulsa tersebut digunakan untuk mentrigger suatu toggle flip-flop sehingga menghasilkan +A pada pulsa pertama dan -A pada pulsa berikutnya.

Selama periode T, keluaran yang didapat akan = +A dari t=0 sampai t = T, komponen dc dari sinyal ini adalah :

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$$

bila V(t) adalah keluaran dari rangkaian flip flop

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_0} A dt + \int_{t_0}^T -A dt \right] \\ &= \frac{A}{T} \left[2 t_0 - T \right] \\ &= \frac{A}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \pi \right] \dots \dots \dots (2.5) \end{aligned}$$

gambar (2.12) berikut menunjukkan hubungan di atas :



gambar 2.12 Sinyal Keluaran Rangkaian Flip-flop

Konstanta sensitivitas untuk detektor fasa jenis ini adalah :

$$K_d = \frac{A}{\Pi}$$

2.3. Tapis

Tapis adalah suatu rangkaian elemen komunikasi yang terdiri dari komponen aktif dan komponen pasif. Gunanya secara umum adalah untuk menapis frekuensi-frekuensi yang tidak diinginkan sehingga hanya terlewati oleh frekuensi yang dikehendaki saja.

Sesuai dengan bentuk umum dari tanggapan amplitudo frekuensinya tapis - tapis diklasifikasikan menjadi :

- tapis lolos atas (HLF), melewatkan frekuensi tinggi saja
- tapis lolos bawah (LPF), melewatkan frekuensi rendah saja.
- tapis lolos jalur (BPF), melewatkan frekuensi yang berada pada jalur tersebut.
- tapis lolos henti (band stop), menahan frekuensi yang berada pada jalur.

Pada rangkaian pesintesa frekuensi ini menggunakan tapis ikal (loop filter) yaitu tapis lolos bawah. Di dalam operasinya tapis lolos bawah mempunyai dua fungsi :

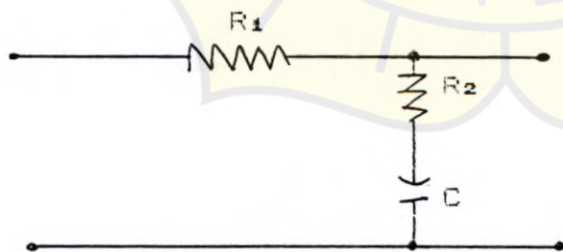
- meredam komponen frekuensi ganda/tinggi dari tegangan error yang dihasilkan oleh Detektor fasa. Disamping

itu juga meredam sinyal pengganggu pada masukan dari detektor fasa, jadi memberikan sifat "Interference rejection".

- sebagai memori untuk jangka waktu yang pendek untuk ikal pengunci (PLL), sehingga apabila ada derau (tegangan ac) yang menyebabkan ikal kehilangan keadaan kunci (lock), maka dengan segera keadaan terkunci dapat dicapai kembali karena tapis lolos bawah ikut membantu mengingat keadaan sebelum diganggu oleh derau tadi.

Tapis lolos bawah ini ada dua jenis yaitu tapis lolos bawah (LPF) aktif dan pasif. Masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian. tapis lolos bawah (LPF) aktif memberi penguatan tegangan sehingga dapat menimbulkan derau, sedangkan tapis lolos bawah (LPF) pasif tidak menimbulkan penguatan dan tidak menimbulkan derau.

Tapis Lolos Bawah (LPF) Pasif



gambar 2.13 Tapis Lolos Bawah Pasif

Untuk tapis lolos bawah (LPF) pasif terlihat pada

gambar 2.13, fungsi alihnya dapat diturunkan sebagai berikut :

$$F_1 (s) = \frac{V_o (s)}{V_i (s)} = \frac{Z_2 (s)}{Z_1 (s) + Z_2 (s)}$$

bila : $Z_1 (s) = R_1$

$$Z_2 (s) = R_2 + 1/Cs$$

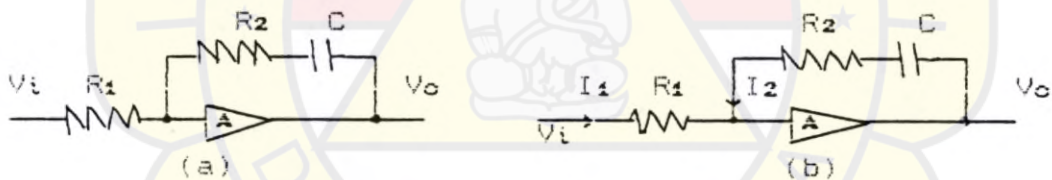
perhitungan lebih lanjut akan menghasilkan :

$$F_1 (s) = \frac{sCR_2 + 1}{sC (R_2 + R_1) + 1}$$

$$F_1 (s) = \frac{s\tau_2 + 1}{\tau_1 s + 1} \dots \dots \dots (2.6)$$

Bila : $\tau_1 = (R_1 + R_2) C$

$$\tau_2 = R_2 C$$



gambar 2.14 Tapis Lolos Bawah Aktif

Tapis lolos bawah (LPF) aktif pada gambar (2.14a) tapis ini menggunakan sebuah penguat ideal. Fungsi alih untuk tapis dari gambar (2.14b) terlihat impedansi input dari suatu penguat ideal adalah tak terhingga. Jadi tidak ada arus yang masuk ke penguat, dengan demikian berlaku :

$$I_1 = -I_2$$

$$\text{atau : } \frac{V_i - X}{R_1} = - \frac{V_o - X}{R_2 + (1/C_s)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{sedang : } X = \frac{V_o}{A} \dots\dots\dots (2.8)$$

Jadi apabila (2.7) disubstitusikan ke (2.8) dan dengan manipulasi seperlunya, akan didapat:

$$F_2 (s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A (sCR_2 + 1)}{sCR_2 + 1 + (1 - A) s CR_1}$$

dan apabila $A \rightarrow \infty$, maka :

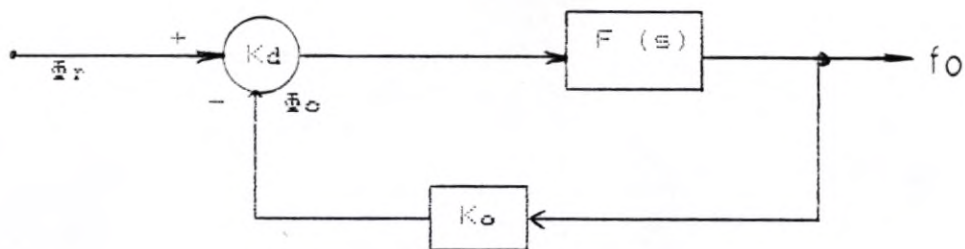
$$F_2 (s) = \frac{sCR_2 + 1}{sCR_1} = \frac{s^{\tau_2} + 1}{s^{\tau_1}} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana : $\tau_1 = R_1 C$

$\tau_2 = R_2 C$

Persamaan umum dari tapis lolos bawah (LPF) adalah sebagai berikut :

Apabila kondisi terkunci (lock) belum tercapai, operasi suatu fasa terkunci untai (PLL) adalah non linier, sehingga analisa sulit dilakukan. Tapi bila keadaan terkunci (lock) sudah tercapai, untai dapat dipandang sebagai suatu sistem kendali yang linier dengan block seperti yang diperlihatkan oleh gambar (2.15) berikut :



gambar 2.15. Sistem kendali linier.

dimana : K_d = Faktor penguatan detektor fasa (volt/rad)

K_o = Faktor penguatan VCO (rad/det/volt)

F_s = Fungsi pindah tapis lolos bawah (LPF).

Keluaran dari detektor fasa adalah

$$V_d = K_d (\bar{\omega}_r - \bar{\omega}_o)$$

Dengan anggapan bahwa detektor fasa bersifat linier dalam notasi Laplace :

$$V_d (s) = K_d \left\{ \bar{\omega}_r (s) - \bar{\omega}_o (s) \right\} \dots \dots \dots (2.10)$$

Jika $F (s)$ adalah fungsi pindah dari filter, maka :

$$V_2 (s) = F (s) V_d (s) \dots \dots \dots (2.11)$$

Pergeseran frekuensi osilator kendali tegangan (VCO) dari frekuensi tengahnya dinyatakan sebagai :

$$\Delta \omega_o = K_o V_2 \dots \dots \dots (2.12)$$

Karena frekuensi adalah turunan pertama dari fasa terhadap waktu, maka persamaan (2.12) menjadi :

$$\frac{d\bar{\omega}_o}{dt} = K_o \cdot V_2$$

dengan melakukan transformasi Laplace, maka akan diperoleh :

$$s \bar{x}_o (s) = K_o \cdot V_2 (s)$$

$$\bar{x}_o (s) = \frac{K_o \cdot V_2 (s)}{s} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan memanipulasi persamaan - persamaan (2.10), (2.11) dan (2.12), maka akan didapat persamaan :

$$\frac{\bar{x}_o (s)}{\bar{x}_r (s)} = H (s) = \frac{K_o K_d F (s)}{s + K_o K_d F (s)} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\text{dan } \frac{\bar{x}_r (s) - \bar{x}_o (s)}{\bar{x}_r (s)} = \frac{\bar{x}_f (s)}{\bar{x}_r (s)} = \frac{s}{s + K_o K_d F (s)} \quad (2.14)$$

Untuk selanjutnya, kita definisikan :

$K_o K_d = K =$ besaran untai (loop again)

$$\text{maka : } H (s) = \frac{K F (s)}{s + K F (s)} \dots \dots \dots (2.15)$$

dan faktor redaman :

$$2\zeta W_n = \frac{K \tau_2 + 1}{\tau_1}$$

$$\zeta = \frac{W_n^2 (\tau_2 + 1/k)}{2W_n}$$

$$\zeta = \frac{W_n}{2} (\tau_2 + 1/k) \dots \dots \dots (2.16)$$

dimana W_{lpf} adalah frekuensi pancung dari tapis atau :

$$\omega_{lpf} = \frac{1}{(R_1 + R_2)C} \quad (\text{rad/s}) \dots\dots\dots (2.17)$$

Tapis lolos bawah (LPF) aktif akan diperoleh dari substitusi persamaan (2.9) dan persamaan (2.15) akan diperoleh :

$$\begin{aligned} H_2(s) &= \frac{K F_2(s)}{s + K F_2(s)} \\ &= \frac{K (s\tau_2 + 1) / s\tau_1}{s + K (s\tau_2 + 1) / s\tau_1} \\ &= \frac{K (s\tau_2 + 1)}{s^2 \tau_1 + K s\tau_2 + K} \\ H_2(s) &= \frac{K (s\tau_2 + 1) / \tau_2}{s^2 + K s\tau_2 / \tau_1 + K / \tau_1} \end{aligned}$$

dengan melihat karakteristik persamaan (2.16) maka didapat :

$$\begin{aligned} \omega_n &= \left[\frac{K}{\tau_1} \right]^{1/2} \\ &= \left[K \omega_{lpf} \right]^{1/2} \quad \left[\text{rad/s} \right] \end{aligned}$$

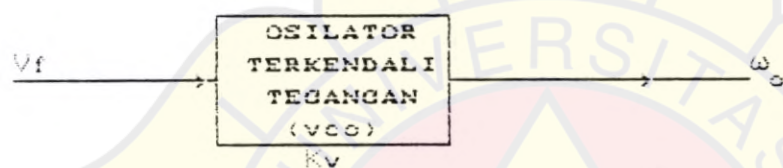
$$\text{dan } \zeta = \frac{R_2 C}{2} \dots\dots\dots (2.18)$$

di mana frekuensi adalah :

$$\omega_{plf} = \frac{1}{R_1} \quad \left[\text{rad/s} \right] \dots\dots\dots (2.19)$$

2.4. Osilator Terkendali Tegangan (VCO)

Osilator Terkendali Tegangan (VCO) adalah suatu rangkaian, atau tepatnya suatu osilator yang mempunyai hubungan linier antara tegangan masukan dengan frekuensi keluarannya. Blok diagram Osilator Terkendali Tegangan (VCO) dapat dilihat pada gambar 2.16 di bawah ini :



gambar 2.16. Blok diagram VCO.

dimana : V_f = tegangan masukan

ω_o = frekuensi keluaran

Tegangan masukan (V_f) berasal dari keluaran tapis lolos bawah (LPF). Osilator Terkendali Tegangan (VCO) sendiri mempunyai konversi tegangan (K_v) yang mempunyai satuan radian / detik / volt. Keluarannya merupakan frekuensi, jadi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\omega_o = K_v \cdot V_f$$

ω_o = Keluaran osilator terkendali tegangan (rad/det)

K_v = Konversi penguatan osilator terkendali tegangan
(rad/det/volt)

V_f = Tegangan masukan osilator terkendali tegangan

(volt)

Sedangkan frekuensi dari osilator terkendali tegangan dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} f_o &= \frac{W_o}{2\pi} \text{ (Hz)} \\ &= \frac{K_v \cdot V_f}{2\pi} \text{ (Hz)} \dots\dots\dots (2.20) \end{aligned}$$

Jika sistim dalam keadaan terkunci (lock) frekuensi keluaran osilator terkendali tegangan (VCO) akan sama dengan masukkan sistim terkunci fasa.

2.5. Pencacah Terprogram

Pencacah adalah sebuah register yang mampu menghitung jumlah pulsa detak yang masuk melalui masukkan detaknya.

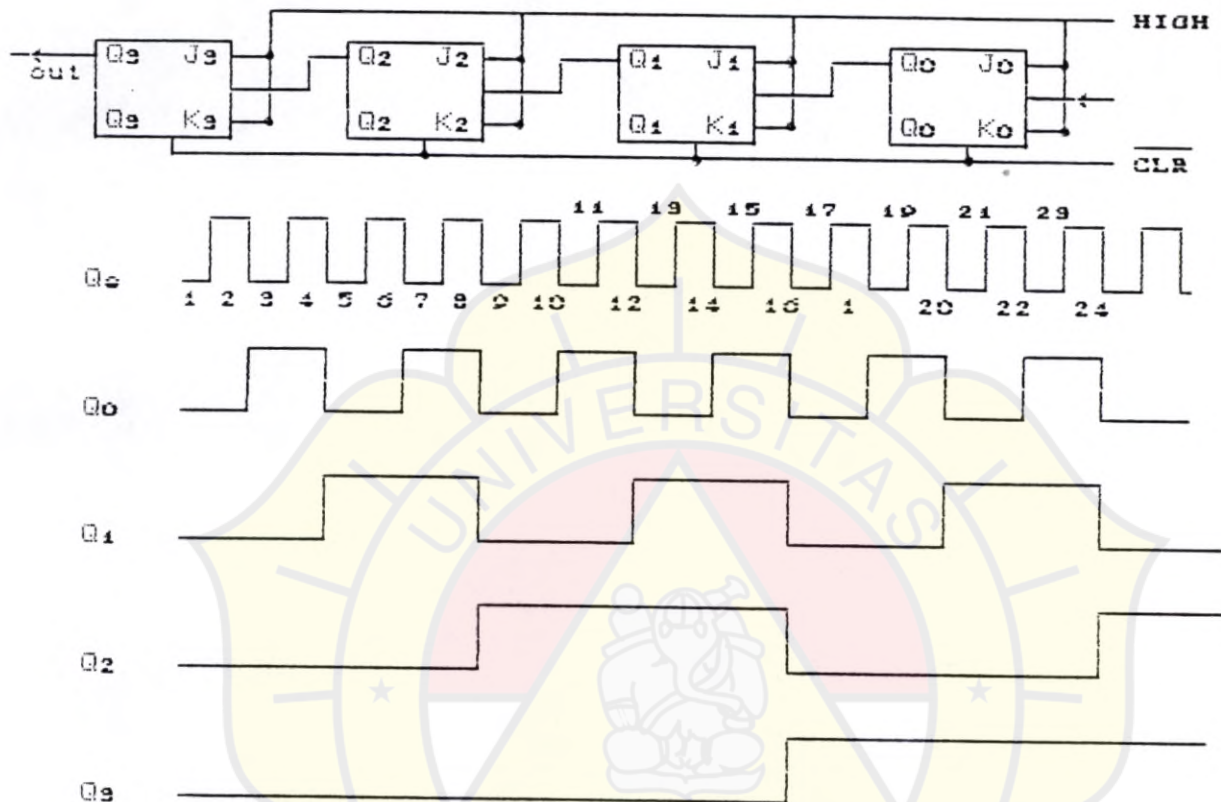
Sebuah pencacah seri yang dibangun dengan flip-flop JK ditunjukkan pada gambar (2.17). Karena masukkan J dan K terpasang pada tingkat tegangan tinggi maka setiap flip-flop akan mengalami togel ketika masukkan detak menerima tepi negatif pulsa. Berikut ini akan dibahas cara kerja sebuah pencacah. Bila keluaran Q sebagai sebuah kata biner :

$$Q = Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$$

Q_3 adalah bit yang penting berarti, most significant bit (MSB), dan Q_0 adalah bit paling kurang berarti, least significant bit (LSB). Apabila CLR menjadi rendah, semua flip-flop akan dimuat. Ini menghasilkan kata digital :

Q = 0000

Untuk mengaktifkan pencacah maka \overline{CLR} diberikan keadaan tinggi.



Gambar 2.17. Blok diagram pencacah seri dengan JK flip-flop dan sinyalnya

Jika CLR diberi masukan rendah lalu dikembalikan kepada keadaan tinggi maka isi dari register dari gambar 2.17 menjadi :

Q = 0000

Ketika pulsa detak pertama memasuki flip-flop LSB, Q₀ akan menjadi 1. Jadi kata keluaran pertama adalah :

Q = 0001

Ketika pulsa deti kedua tiba, Q₀ menjadi reset dan

pindah maka kata kedua :

$$Q = 0010$$

dan seterusnya dapat dilihat seperti di bawah ini :

CACAHAN	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	CACAHAN	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0	0	0	9	1	0	0	1
1	0	0	0	1	10	1	0	1	0
2	0	0	1	0	11	1	0	1	1
3	0	0	1	1	12	1	1	0	0
4	0	1	0	0	13	1	1	0	1
5	0	1	0	1	14	1	1	1	0
6	0	1	1	0	15	1	1	1	1
7	0	1	1	1					
8	1	0	0	0					

Dari tabel di atas, angka yang dapat dihitung adalah :

$$Q = 1111$$

sehingga angka berikutnya pada pulsa detak adalah akan mereset seluruh flip-flop, yaitu pada :

$$Q = 0000$$

selanjutnya siklus yang sama akan diulangi lagi, seperti yang kita lihat, keluaran pencacah merupakan ekuivalen biner dari hasil cacahan dalam desimal.

2.5.a. Pembagian Frekuensi

Setiap flip-flop yang diperlihatkan pada gambar membagi frekuensi pendetak dengan faktor 2. Itulah sebabnya flip-flop disebut juga rangkaian pembagi 2. Karena

setiap flip-flop membagi frekuensi detak dengan faktor 2, maka n-flip-flop dalam susunan berderet akan membagi frekuensi detak dengan faktor 2^n . Sehingga dapat menjelaskan operasi pembagi 2 tersebut. Frekuensi keluaran Q_0 adalah separuh dari frekuensi Q_1 , berfrekuensi seperempat dari frekuensi detak, keluaran Q_2 dan Q_3 masing-masing berfrekuensi seperdelapan dan seper enam belas dari frekuensi detak. Dengan kata lain,

- 1 flip-flop membagi dengan 2
- 2 flip-flop membagi dengan 4
- 4 flip-flop membagi dengan 8
- 8 flip-flop membagi dengan 16, dan
- n flip-flop membagi dengan 2^n

2.5.b. Modulus yang Dapat Diprogram.

Pemrograman dari pencacah yang dapat dipreset adalah pemrograman modulus. Untuk keperluan ini kita dapat menambahkan gerbang NOR yang dapat dilihat pada pencacah yang dapat dipreset dari gambar (2.18). Dengan demikian keluaran Q menggerakkan gerbang NOR, dan gerbang NOR ini menggerakkan seluruh LOAD. Karena gerbang NOR hanya mengenali kata yang semua bitnya sama dengan 0 dan mengabaikan kata-kata yang lain, maka LOAD akan menjadi tinggi untuk $Q = 0000$ dan akan menjadi rendah ketika $Q = 0000$. Pada keadaan normal rangkaian mencacah dari 0000 hingga terakhir 1111. Apabila rangkaian diprogram pada

keluaran, spasi kanal antar frekuensi, kestabilan frekuensi keluaran, keluaran "spurious" dan waktu "switching".

a. Daerah jangkauan frekuensi dan spasi kanal antar frekuensi ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Misalnya pesintesa frekuensi dirancang untuk dipakai pada sistem komunikasi radio, maka daerah jangkauan frekuensi dan spasi kanal antar frekuensi keluaran yang dibuat ditentukan sesuai dengan kebutuhan sistem yang akan dibangun.

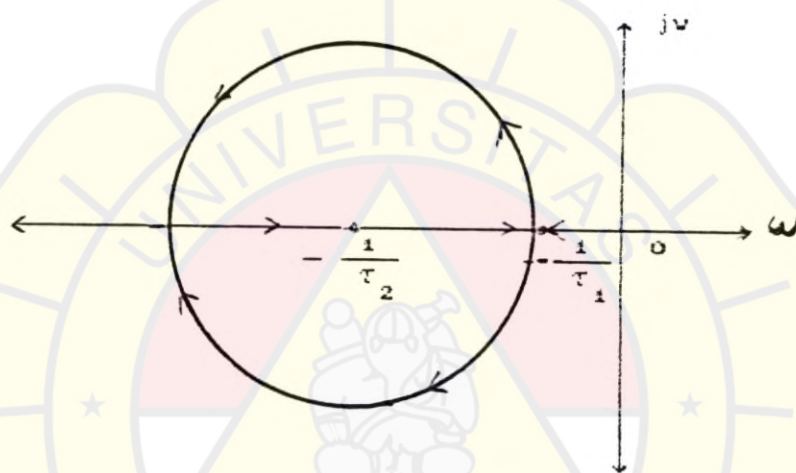
b. Kestabilan Frekuensi Keluaran.

Kestabilan frekuensi keluaran dari sebuah pesintesa frekuensi terutama ditentukan oleh kestabilan frekuensi referensi dan kestabilan dari sistem ikal terkunci fasa (PLL).

Kestabilan frekuensi fasa (PLL), dapat dianalisa dengan menggunakan "Root Locus", yaitu suatu teknik grafik yang dapat ditentukan akar-akar persamaan kanal teristik sistem ikal tertutup berdasarkan atas adanya zero dan pole dari sistem ikal terbuka. Root Locus memberikan cara yang mudah dalam menentukan tempat kedudukan akar-akar persamaan dari ikal tertutup pada bidang kompleks bila faktor penguatan diubah-ubah dari nol sampai titik tak terhingga. Ikal orde dua dengan tapis lolos bawah (LPF) pasif seperti pada gambar (2.19) mempunyai zero

di $s = -1/\tau_2$, dan dua pole tersebut merupakan lingkaran yang berpusat pada $s = -1/\tau_2$.

$$F(s) = \frac{s\tau_2 + 1}{s\tau_1 + 1}$$



Gambar 2.19. Root Locus dengan LPF pasif

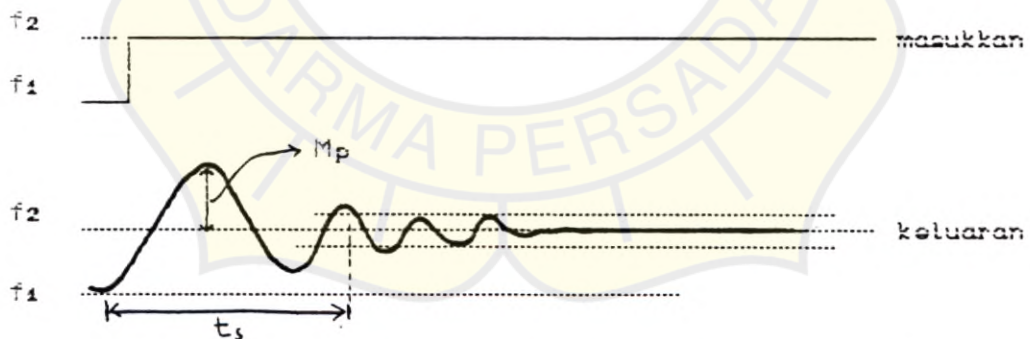
Kestabilan sehubungan dengan tanggapan sistem dapat ditentukan dari lokasi pola. Pola-pola yang terletak disebelah kanan sumbu imajiner ($j\omega$) pada bidang s menghasilkan bentuk peralihan yang naik sebagai fungsi waktu, hal ini tidak dikehendaki karena sistem tidak stabil. Bentuk tanggapan sistem yang polanya terletak dititik asal atau pada sumbu imajiner, menghasilkan keluaran yang berosilasi terus menerus yang juga tidak dikehendaki dalam sistem ikal terkunci fasa.

c. Keluaran "Spurious"

Keluaran Spurious adalah frekuensi keluaran yang tidak diinginkan pada keluaran suatu sistem pembangkitan pesintesa frekuensi atau pada bagian - bagian lain dari sistem. Sinyal tersebut dapat berbentuk suatu frekuensi tunggal disuatu daerah frekuensi. Dalam daerah operasi sistem atau muncul dalam bentuk Modulasi Amplitudo (AM) atau Modulasi Frekuensi (FM).

d. Waktu "Switching".

Waktu "Switching" adalah proses perubahan keluaran dari suatu sistem ikal terkunci fasa (PLL) dari suatu frekuensi (f_1) ke frekuensi lain (f_2) karena perubahan harga N (ratio pembagi) dapat dilihat pada gambar (2.20)



gambar 2.20. Tanggapan Peralihan Suatu Pesintesa Frekuensi

Dari gambar (2.20) dapat dilihat bahwa keluaran dari sistem akan mengalami suatu masa peralihan

sebelum sistim mencapai kondisi barunya. Lamanya proses berlangsungnya tergantung dari faktor redaman (ζ) rangkaian yang diatur oleh tapis lolos bawah (LPF).

Berkaitan dengan proses ini, maka didefinisikan :

"Overshoot" (M_p) adalah perbedaan maksimum antara peralihan dan keadaan setimbang karena perubahan mendadak yang diberikan pada masukan ikal terkunci fasa (PLL). Waktu penetapan atau "settling" (t_s) adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon keluaran untuk mencapai nilai tertentu, yang biasanya sebagai prosentase terhadap nilai akhir. Umumnya diambil harga 5%.