

BAB II

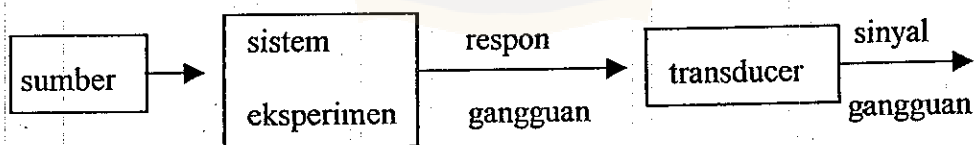
DASAR TEORI

2.1. Pengertian Umum

Alat-alat yang bisa melibatkan sinyal (*signal recovery instruments*) selalu disukai, terutama pada percobaan-percobaan yang membutuhkan sampel dengan konsentrasi sedikit dan rangsangan yang lemah.

Dewasa ini banyak dikembangkan usaha-usaha merancang alat-alat dengan teknik penggunaan sinyal, yang sekaligus memberi keuntungan yang besar. Hanya kendala yang ada, dalam suatu penelitian yang melibatkan sinyal selalu mungkin bahwa sinyal yang diharapkan ternyata selalu tercampur dengan gangguan (*noise*), yang tentu saja tidak kita harapkan.

Dari semua teknik-teknik yang dikembangkan pada sinyal (*signal recovery*), penguat pengunci, yang memakai metode detektor peka fase (*phase Sensitive Detektor*), adalah merupakan salah satu penguat yang paling banyak diterapkan dalam bidang penelitian ilmiah.

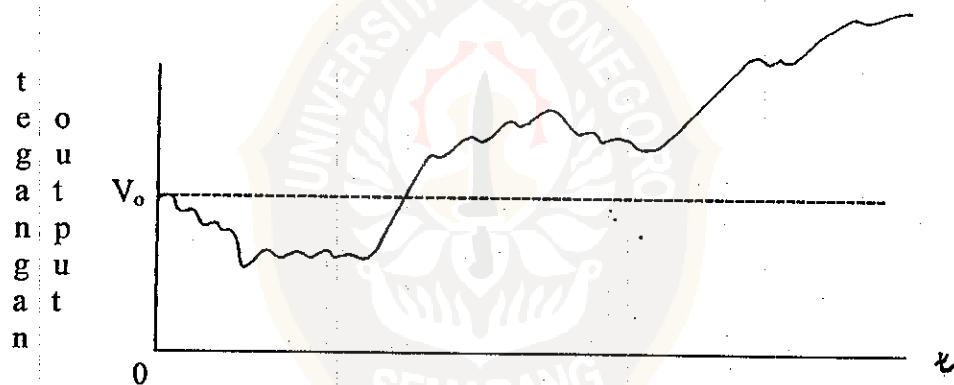


Gambar 2.1.
Gambaran umum sistem eksperimen (Meade, 1983)

Sistem eksperimen, seperti ditunjukkan gambar 2.1. (Meade , 1983)

Sering digunakan pada bidang kelistrikan , mekanika , optik , biologi atau kombinasi di antara mereka. Tanggapan yang dikeluarkan keluaran pada sistem eksperimen dirubah (*conversi*) menjadi sinyal listrik oleh transducer . Tanggapan yang telah berubah menjadi sinyal listrik inilah yang nantinya akan dianalisis sesuai dengan besaran yang diinginkan .

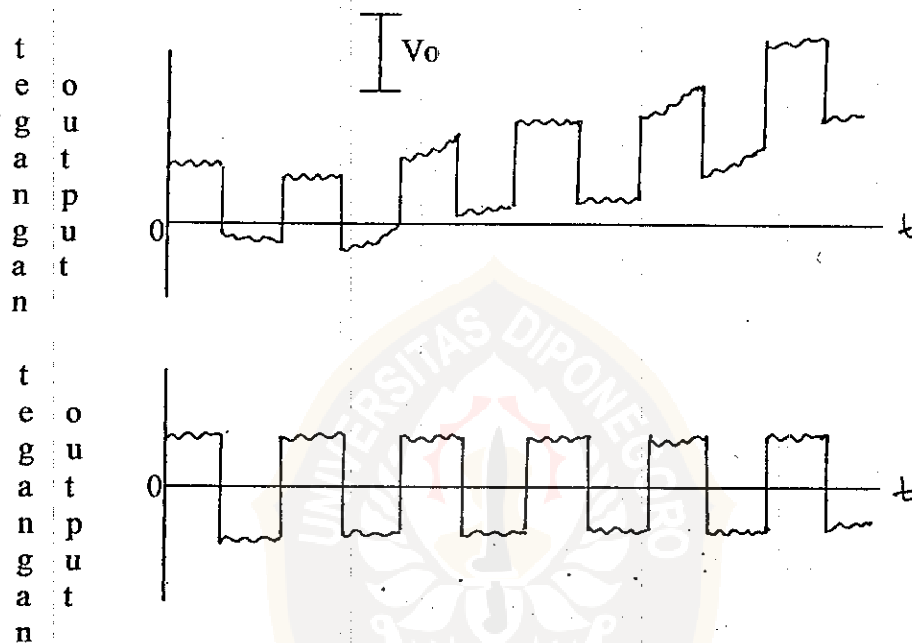
Di dalam suatu eksperimen yang memberikan sumber searah atau d.c.,sinyal yang muncul pada keluaran selalu muncul dalam bentuk tegangan searah yang rendah . Karena pengaruh getaran gangguan , jika tegangan searah keluaran merupakan fungsi dari waktu , ternyata terdapat kesalahan-kesalahan bentuk sinyal sesuai waktu yang diamati .Hal ini diperlihatkan pada Gambar 2.2. (Meade, 1983)



Gambar 2.2 .
Tegangan DC dari Sistem Eksperimen yang terganggu oleh frekuensi gangguan rendah (Meade,1983)

Untuk mengatasi kesalahan-kesalahan ini , pada suatu eksperimen biasanya dilengkapi dengan semacam modulator pada masukannya. Modulator ini umumnya

berupa buluh penggetar, piringan rotasi dan pemutus elektromekanik (*elektromechanical chopper*) yang lain . Tegangan keluaran mula-mula yang telah ditunjukkan pada Gambar 2.2. dirubah menjadi tegangan saklar (*a chopped voltage*) dengan amplitudo V_0 yang masih terpengaruh oleh fluktuasi tegangan gangguan . Bentuk tegangan keluaran ditunjukkan oleh Gambar 2.3.a. (Meade, 1983).



Gambar 2.3.

- (a) Menunjukkan tegangan keluaran chopping yang terhalang oleh tegangan fluktuasi gangguan .
 (b) Tegangan keluaran dengan pengurangan gangguan telah melewati peredam tinggi (*high-passfiltering*). (Meade, 1983)

Di dalam praktek , modulasi atau frekuensi “chopping” , selalu dibuat sesederhana mungkin untuk memudahkan pemisahan dari tegangan keluaran yang telah

diputus (chopped) dari komponen-komponen frekuensi gangguan . Pemisahan ini dicapai dengan menggunakan sebuah filter lolos tinggi dan hasilnya dalam bentuk sinyal AC (seperti ditunjukkan Gambar 2 . 3 . b) . Terlihat pada Gambar 2 . 3 . b . bahwa fluktuasi gangguan yang muncul pada sinyal asli telah dipindahkan oleh filter lolos tinggi dan kemudian muncul pada keluaran akhir . Suatu cara untuk mengatasi fluktuasi sisa ini , ketika mengukur amplitudo sinyal V_o , adalah dengan memasang sebuah pengukuran diferensial pada tegangan keluaran . Hal ini untuk mengukur tegangan rata-rata yang berbeda antara interval ON/OFF berturut-turut dan hasil rata-rata sejumlah putaran modulasi .

Tipe pengukuran seperti di atas dapat dikerjakan secara otomatis dengan menggunakan sebuah detektor peka fase (*phase sensitive detector = PSD*) .

PSD mengukur tegangan yang berbeda dari sinyal-sinyal yang diharapkan dengan menggunakan tegangan referensi (acuan) yang sinkron , yang diperoleh dari modulator masukan .

Pada kenyataannya , tidaklah mudah untuk memunculkan kemampuan ini , mengingat tingkat / orde dari gangguan biasanya berorde milivolt , sedangkan sinyal yang kita harapkan berorde mikrovolt . Ditambah lagi kesalahan-kesalahan yang kita buat waktu pengukuran dan gangguan-gangguan dari alat-alat ukur mengakibatkan semakin sulit untuk memunculkan sinyal yang kita harapkan .

Didalam konteks ini , PSD menawarkan kemajuan yang berarti dari sebuah alternatif amplitudo-demodulasi untuk merencanakan penggunaan piranti-piranti non linier (*non-linear devices*) dalam wujud detektor . PSD tidak membedakan antara

komponen sinyal dan gangguan , oleh karena itu PSD dirancang untuk menanggapi secara spesifik kelakuan sinyal informasi .

Sebuah PSD disamping tanggap terhadap amplitudo sinyal , tetapi juga peka terhadap fase yang berbeda antara sinyal dan referensi . Karena itu sistem dasar dari PSD dapat

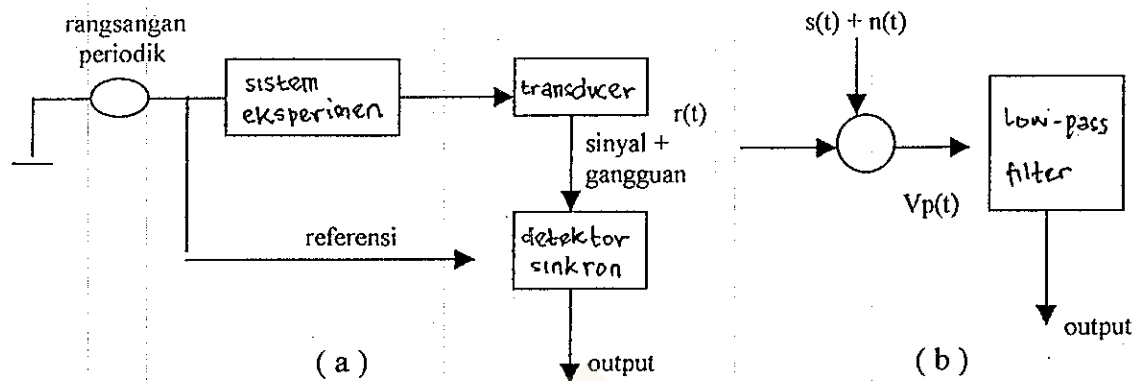
dirancang , untuk mengukur variasi di dalam kedua amplitudo dan fase dari sinyal-sinyal yang periodik di dalam gangguan . Prinsip sistem operasi ini di dalam PSD dinamakan sistem lock-in Dan suatu usaha yang biasanya melibatkan PSD di dalam suatu eksperimen adalah menggunakan sebuah penguat pengunci (*lock-in amplifier*) . Lock-in amplifier merupakan suatu instrumen yang berdiri sendiri , yang merupakan kesatuan / kumpulan dari PSD pre-amplifier , post-deteksi amplifier dan seluruh proses di dalam referensi .

Mayoritas dari sinyal yang kita harapkan muncul pada output dari suatu eksperimen adalah mempunyai frekuensi yang sama dengan frekuensi sumber . Ketentuan ini dapat disimpulkan bahwa semua pengukuran dalam suatu eksperimen ini adalah linier , artinya tidak ada frekuensi baru yang muncul .

2.2. Detektor Sinkron

Detektor sinkron adalah sebuah demodulator sinyal recovery yang prosesnya mengalikan (*multiplied*) masukan sinyal beserta gangguan dengan sinyal referensi .

Adapun kedudukan detektor sinkron pada suatu sistem eksperimen ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut ini (Meade 1983) :



Gambar 2.4.

- (a) Kedudukan detektor sinkron dalam sistem eksperimen
 (b) Model multiplier untuk detektor sinkron (Meade, 1983)

Seperti ditunjukkan gambar 2.4. di atas, respon yang diterima detektor sinkron dari sebuah transducer, berupa sinyal periodik $s(t)$, yang tenggelam dalam gangguan dan interferensi $n(t)$. Sebuah multiplier dalam detektor sinkron mengalikan respon ini dengan sinyal referensi $r(t)$, sehingga hasil keluaran pada multiplier adalah $V_p(t)$. Sehingga hubungan antara kedua masukan dan $V_p(t)$ adalah sebagai berikut : (Meade 1983)

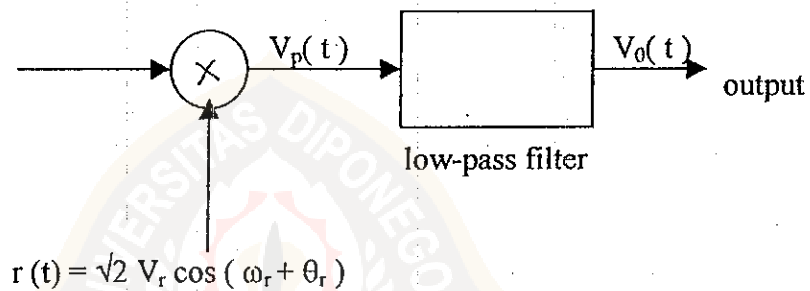
$$V_p(t) = r(t) [s(t) + n(t)] \dots\dots\dots (1)$$

Hasil kali $r(t)$ dengan $n(t)$ adalah saling meniadakan, karena kedua sinyal mempunyai amplitudo dan fase yang berbeda. Sedangkan hasil $r(t)s(t)$ adalah menguatkan, karena kedua amplitudo dan fase dibuat sama. Hasil inilah yang diharapkan pada “output low-passfilter” pada Gambar 2.4.(b).

2.2.1. Operasi dari detektor sinkron

Tinjauan secara matematika, hubungan multiplier yang diikuti oleh low-pass filter ditunjukkan pada Gambar 2.5. di bawah ini :(Meade, 1983)

$$s(t) = \sqrt{2} V_s \cos (\omega_s t + \theta_s)$$



Gambar 2.5.

Detektor sinkron dengan sinyal gelombang dan referensi (Meade,1983)

Jika sinyal $s(t)$ dan referensi $r(t)$ dinyatakan dalam persamaan :

$$s(t) = \sqrt{2} V_s \cos (\omega_s t + \phi_s), \text{ dan } \dots \dots \dots (2)$$

$$r(t) = \sqrt{2} V_r \cos (\omega_r t + \phi_r), \text{ dan } \dots \dots \dots (3)$$

di mana V_s dan V_r amplitudo $s(t)$ dan $r(t)$ yang dinyatakan sebagai tegangan rms,

ω_s, ϕ_s masing-masing adalah frekuensi dan fase sudut sinyal,

ω_r, ϕ_r masing-masing adalah frekuensi fase sudut sinyal referensi.

Maka hasil kali $s(t)$ dan $r(t)$ adalah $V_p(t)$ dan dinyatakan dalam bentuk :

$$V_p(t) = V_s V_r \cos [(\omega_s + \omega_r)t + \phi_s + \phi_r] + V_s V_r \cos [(\omega_s - \omega_r)t + \phi_s - \phi_r] + \dots \dots \dots (4)$$

Dalam operasi ini, frekuensi-frekuensi yang masuk pada "low-pass filter" akan terpotong pada frekuensi sekitar ω_r .

Sehingga pada keluarannya sejumlah frekuensi akan terbuang. Sedang nasib dari komponen yang lain sangat tergantung dengan besarnya beda frekuensi $\Delta\omega = \omega_s - \omega_r$.

Dengan perkataan lain keluaran pada low-pass filter akan memunculkan frekuensi yang kurang lebih sama atau yang dapat dibandingkan dengan lebar pita (*bandwidth*) dari low-pass filter.

2.2.2. Demodulasi dengan sebuah referensi sinkron

Hal yang perlu diketahui pada penguat pengunci adalah bahwa sinyal dan referensi berasal dari sumber yang sama. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6. (Meade, 1983),

Pada bagan tersebut, referensi dilengkapi dengan jaringan variabel fase.

Sehingga pada output, sinyal muncul dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi sumber (ω_s) dan mempunyai fase ϕ_s . Jadi hasil keluaran (V_o) pada low-pass filter dapat ditentukan jika $\omega_s = \omega_r$, yang biasanya dalam bentuk dc.

Hasil V_o dapat ditunjukkan dalam hubungan (Meade, 1983),

$$V_o = V_s V_r \cos \phi \dots \dots \dots (5)$$

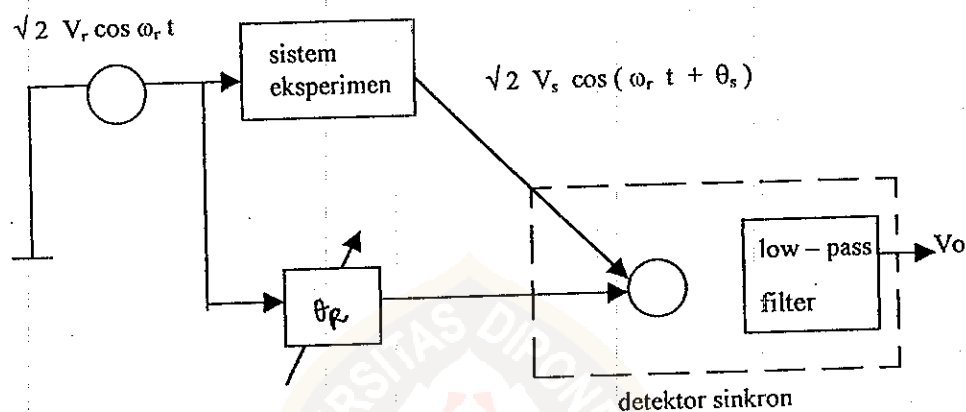
Dimana $\phi = \phi_s - \phi_r$

$$k_r = V_r A_L(0)$$

ϕ_s dan ϕ_r adalah fase sinyal dan sinyal referensi.

Biasanya amplitudo referensi sudah ditentukan, sehingga k_r adalah suatu konstanta.

Sehingga V_o merupakan fungsi yang tergantung pada cosinus fasenya. Marilah sekarang melihat bagaimana fase referensi dapat digunakan mengukur beberapa modulasi tertentu dalam sinyal. (Meade, 1983),



Gambar 2.6.

Penggunaan detektor sinkron dengan variabel fase di dalam lintasan referensi (Meade, 1983)

2.2.3. Demodulasi amplitudo

Fase referensi diatur untuk membawa sinyal dan referensi di dalam fase pada multiplier dalam bentuk keluaran (Meade, 1983)

$$V_o = k_r V_s \dots\dots\dots (6)$$

untuk $\phi_s = \phi_r$

Keluaran akan mengikuti variasi amplitudo sinyal, dan terhampar sepanjang pita low-pass filter yang cukup untuk memindahkan sinyal modulasi tanpa gangguan.

Sebagai contoh, sinyal mempunyai bentuk (Meade, 1983):

$$V_s(t) = m(t) \cos \omega_o t \dots\dots\dots(7)$$

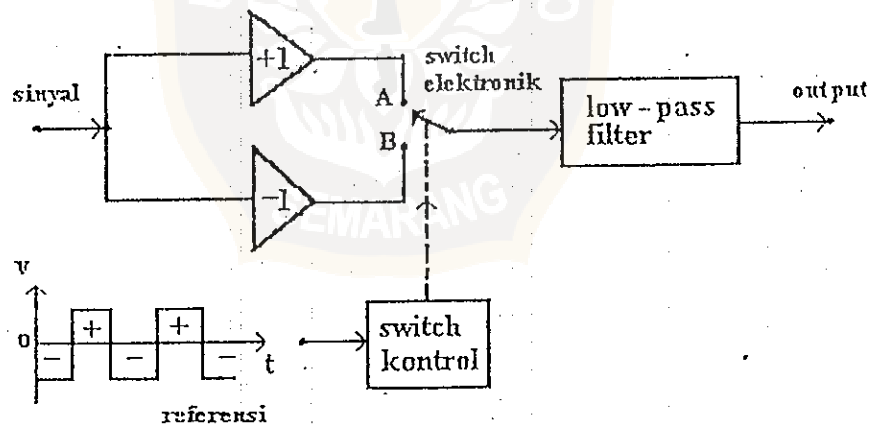
Tegangan keluaran berbentuk

$$V_o(t) = k_F m_F(t) \dots\dots\dots(8)$$

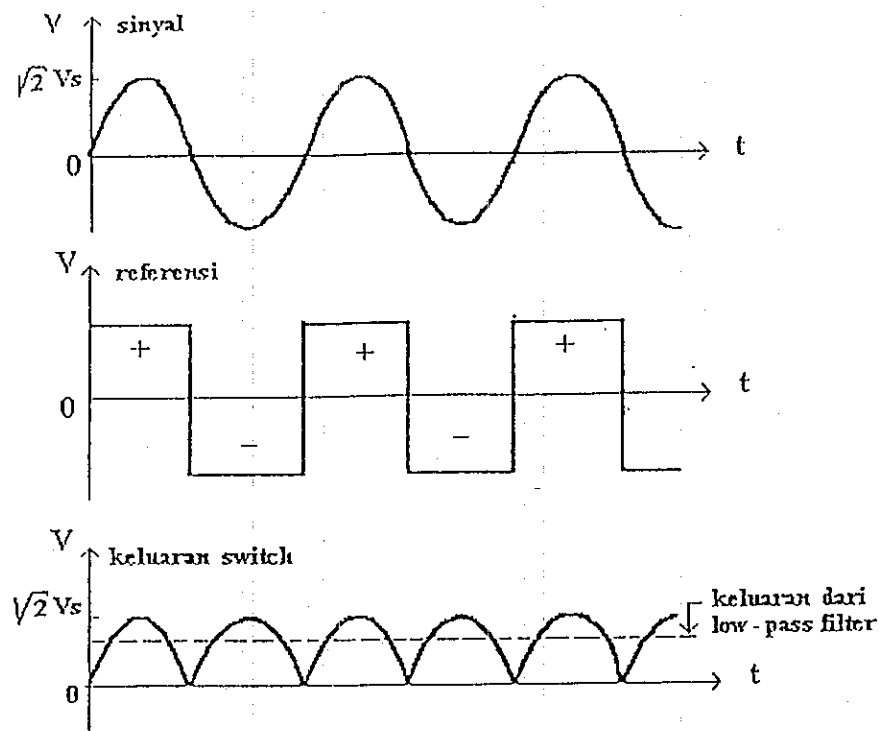
Dimana $m_F(t)$ merupakan bentuk lain dari modulasi sinyal $m(t)$ setelah melewati low-pass filter.

2.3. Penguat Pengunci

Pada dasarnya penguat pengunci terdiri dari dua bagian yaitu detektor peka fase (*phase sensitive detector*) dan filter lolos rendah (*low-pass filter*). Prinsip kerja detektor peka fase ditunjukkan pada Gambar 2.7. dan 2.8. berikut (Sutrisno, 1992).



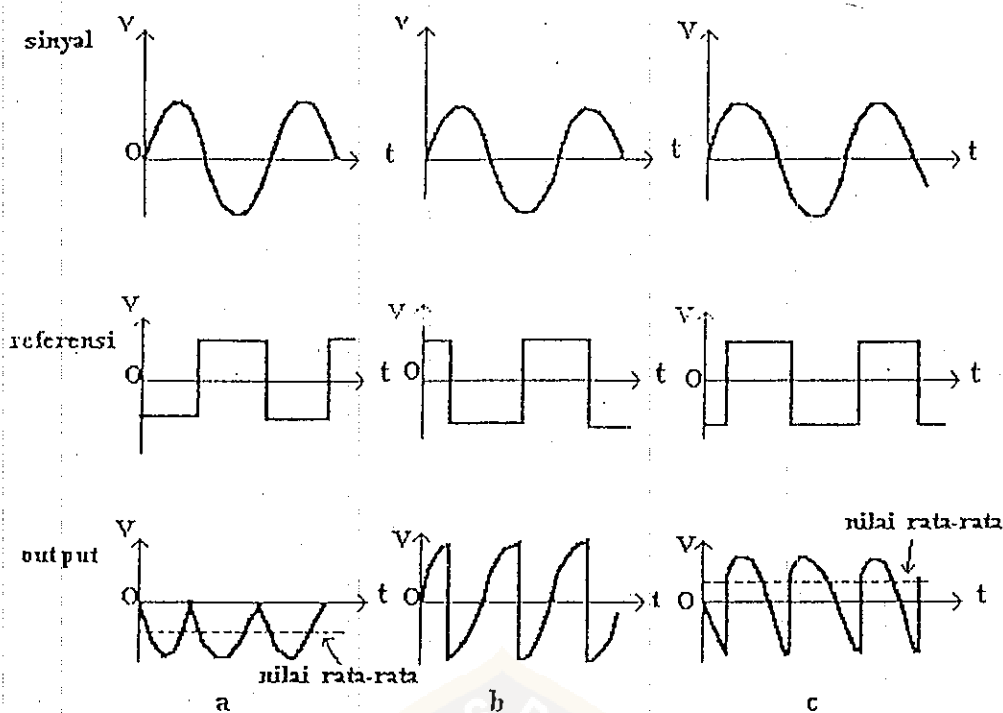
Gambar 2.7.
Dasar operasi Detektor Peka Fase (Sutrisno, 1992)



Gambar 2.8.
Sinyal keluaran detektor peka fase (PSD)

Sinyal gelombang acuan berfungsi untuk merubah polaritas sinyal masukan dalam bentuk yang simetris, sehingga sinyal gelombang keluaran dari detektor peka fase menjadi gelombang setengah penuh. Sinyal keluaran dari fase oleh filter lolos rendah dibuat menjadi tegangan dc yang sebanding dengan amplitudo sinyal.

Selanjutnya jika sinyal masukan dan sinyal-sinyal tidak sefase, maka bentuk sinyal gelombang keluaran detektor peka fase menjadi seperti Gambar 2.9. di bawah ini (Sutrisno, 1992).



Gambar 2.9.
*Bentuk sinyal gelombang keluaran pada detektor peka fase
 untuk fase-fase yang berbeda. (a) $\theta = 180^\circ$; (b) $\theta = 90^\circ$
 dan (c) fase sembarang (Meade, 1983)*

Dari Gambar 2.9. tersebut dapat dikatakan bahwa detektor peka fase berperan sebagai pengali, sehingga keluaran V_o merupakan perkalian antara sinyal masukan V_s dengan sinyal acuan V_r (Meade, 1983).

$$\text{Jadi } V_o = V_s(t) \times V_r(t) \dots\dots\dots (9)$$

Sinyal acuan $V_r(t)$ pada umumnya berbentuk gelombang persegi dengan periode T_r .

Bentuk gelombang ini dapat dinyatakan sebagai superposisi dari komponen-komponen sinusoida, yaitu (Meade, 1983);

$$V_r(t) = 4/\pi [\cos (\omega_r t + \phi_r) - 1/3 \cos 3(\omega_r t + \phi_r)] \dots\dots\dots(10)$$

Komponen yang dominan adalah pada frekuensi dasar $\omega_r = 2\pi f_r$ (Meade, 1983).

Jika sinyal masukan beserta gangguan dinyatakan dalam bentuk :

$$V_s(t) = A_s \cos (\omega_s t + \phi_s) \dots\dots\dots (11)$$

maka bentuk sinyal gelombang keluarannya adalah sebagai berikut (Meade, 1983):

$$V_o(t) = V_s(t) \times V_r(t) \dots\dots\dots (12)$$

$$V_o(t) = 2A_s / \pi [\cos (\omega_r t + \omega_s t + \phi_r + \phi_s) - 1/3 \cos (3 \omega_r t + \omega_s t + 3 \phi_r + \phi_s) + \dots\dots] \dots\dots(13)$$

dimana ω_s dan ω_r masing-masing adalah frekuensi angular sinyal dan referensi,

ϕ_s dan ϕ_r masing-masing adalah fase sinyal dan referensi.

Apabila frekuensi gangguan adalah $f_n = f_s$ dan filter lolos rendah mempunyai frekuensi potong f_c jauh lebih rendah dari frekuensi dasar f_o , maka suku yang mengandung ($f_n + f_r$) akan diredam.

Jadi dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa penguat pengunci akan menyaring fluktuasi tegangan yang tidak pada frekuensi acuan. Sehingga hanya sinyal masukan yang koheren (mempunyai amplitudo dan fase yang sama) dengan sinyal acuan yang akan ditanggapi dan menghasilkan tegangan rata-rata tidak nol.