BAB II

DASAR TEORI

2.1 Konsep Dasar Modulasi Digital

Modulasi dapat didefinisikan sebagai proses pengubahan parameter dari gelombang pembawa (amplitudo, frekuensi dan fasa) oleh sinyal informasi. Modulasi merupakan proses memfasilitasi transmisi informasi melalui suatu media, contohnya seperti media kabel, udara, dan serat optik.

Transmisi digital mampu menghasilkan kembali sinyal digital dan memiliki kemampuan meminimalisir gangguan *noise*, dan kegunaan dari teknik encoding adalah mampu menyiapkan *debugging* dan menjalankan fungsi koreksi. Namun pada sinyal digital sering terjadi distorsi yang disebabkan karena komponen frekuensi tingginya yang mudah *teratenuasi* untuk transmisi jarak jauh. Pada transmisi digital ada tiga macam konsep dasar dari modulasi yaitu :

1. *Amplitude Shift Keying* (ASK)
2. *Frekuensi Shift Keying* (FSK)
3. *Phase Shift Keying* (PSK)

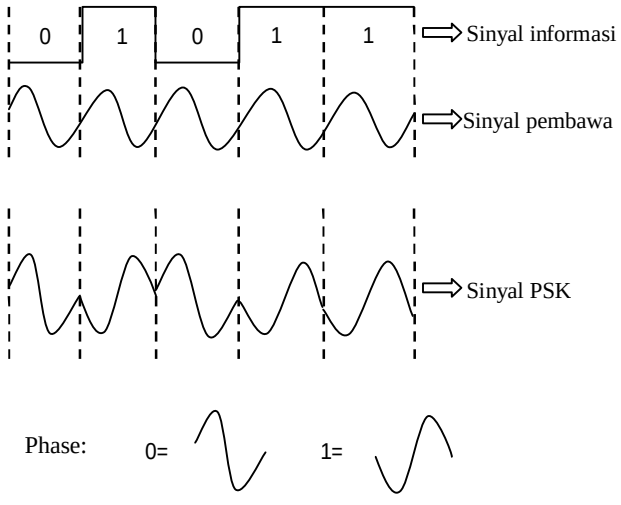
Pada teknik modulasi ASK, data digital yang ditumpangkan dengan cara mengubah-ubah amplitudo gelombang sinyal pembawa. Pada modulasi FSK merupakan salah satu bentuk modulasi digital yang sederhana yaitu Dalam FSK dua gelombang pembawa sinusoida dengan amplitudo yang sama tetapi frekuensinya yang berbeda. Sedangkan dalam modulasi PSK berbentuk digital dan perbedaanya adalah phasa keluaran PSK jumlahnya terbatas.

Dalam perkembangannya, PSK mengalami perkembangan yaitu seperti *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) dan Quadrature Phase Shift Keying (QPSK). Dalam proyek tugas akhir ini menggunakan proses demodulasi QPSK.

2.1.1 Modulasi PSK

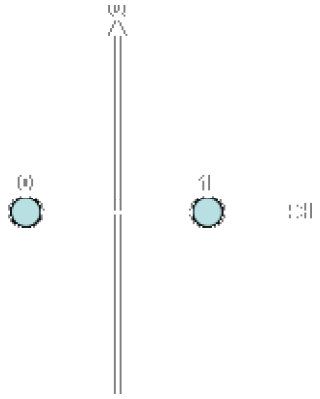
Pada Proses modulasi PSK dapat dilihat sebagai kasus khusus dari Phase modulation. Pada modulasi PSK bentuk sinyalnya berupa sinyal digital. Modulasi PSK ditunjukkan pada gambar 2.1 :

Pada Gambar 2.1 sinyal pembawa merupakan sinyal sinusoidal dengan frekuensi dan amplitudo tetap, sinyal modulasi adalah informasi biner. Jika informasi adalah low (0), sinyal pembawa tetap dalam fasanya. Jika informasi input adalah tinggi (1), sinyal pembawa membalik fasa sebesar 180^0. Pasangan gelombang sin yang hanya berbeda fasanya pada pergeseran 180^0 disebut sinyal antipodal. Tipe *Phase Shift Keying* ini disebut *binary* PSK (BPSK).



Gambar 2.1 modulasi PSK

Pada gambar diatas jika dalam frekuensi 2124 Hz (frekuensi low), merepresentasikan *space* atau 0,dan untuk frekuensi 2975 Hz (frekuensi high) merepresentasikan *mark* 1 atau. Hubungan sinyal digital dan sinyal PSK pada gambar diatas adalah berbeda fasa sebesar 180^0



Gambar 2.2 Diagram Konstelasi BPSK

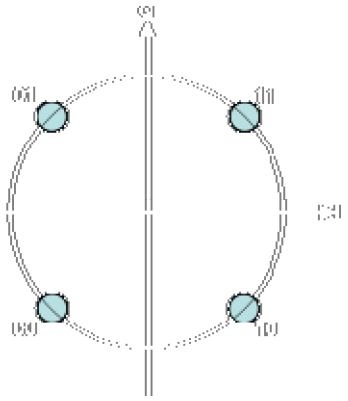
Pada BPSK, skema modulasi dikarakterisasi oleh fakta bahwa informasi dibawa oleh sinyal transmisi yang terdapat dalam fasanya.

2.1.2 Sistem QPSK

Pada transmisi digital dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, yaitu mengirimkan 1 dari 4 sinyal yang mungkin selama interval waktu tertentu dimana setiap sinyal unik sama dengan (pasangan bit) 00, 01, 11, 10. Sinyal termodulasi QPSK dapat didefinisikan dalam bentuk persamaan :

(2.1)

Pada QPSK sinyal yang ditumpangkan pada sinyal pembawa, mempunyai empat kemungkinan dari setiap pasangan bitnya



Gambar 2.3 Diagram Konstelasi QPSK

Untuk diagram konstelasi diatas, pada setiap titiknya itu berbeda sudut fasanya sebesar 90^0, Atau bisa dilihat dari persamaan dibawah ini.

Persamaan untuk Gambar 2.3 diagram konstelasi **:**

$$\text{Ac cos } (2\pi f_c t + \pi/4) \text{ symbol 11} \quad (2.2)$$

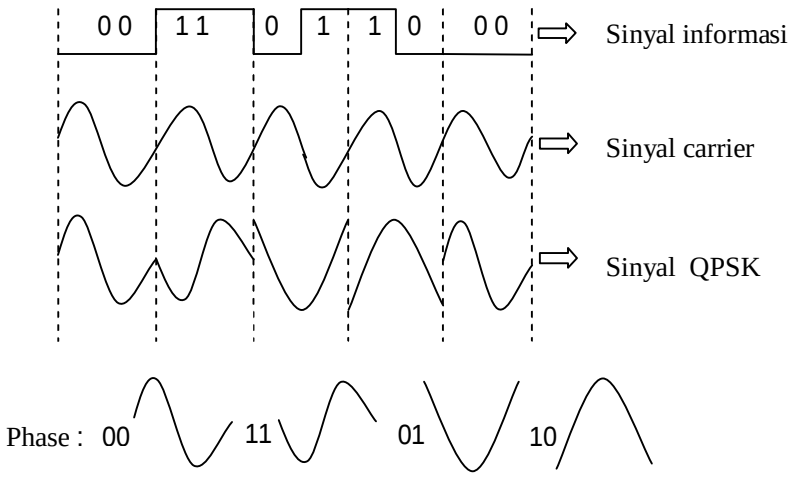
$$\text{Ac cos } (2\pi f_c t + 3\pi/4) \text{ symbol 01} \quad (2.3)$$

$$\text{Ac cos } (2\pi f_c t - 3\pi/4) \text{ symbol 00} \quad (2.4)$$

$$\text{Ac cos } (2\pi f_c t - \pi/4) \text{ symbol 10} \quad (2.5)$$

Dalam QPSK, fasa dari sinyal pembawa membawa satu dari empat harga seperti 0^0, 90^0, 180^0, dan 270^0

Setiap harga fasa yang mungkin berkorespondensi dengan pasangan bit yang unik disebut dibit. Sebagai contoh, kita dapat memilih set harga fasa untuk merepresentasikan *set gray coded* dibit : 00,01,11,10. Bentuk sinyal modulasi QPSK ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.4 modulasi QPSK

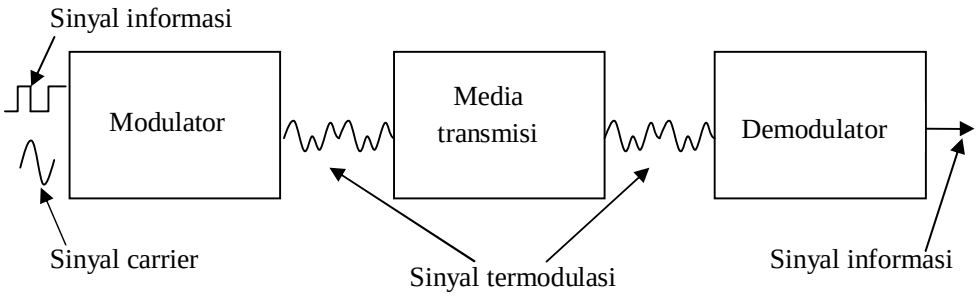
Set fasa pada PSK dan QPSK yang disebutkan di atas hanya satu pilihan yang mungkin. Kemungkinan *Phase Shift* lain dari sinyal PSK dan QPSK ditunjukkan pada Tabel 2.1**:**

Sistem	Informasi	Fasa (derajat)		
		Learned	#1	#2
PSK	0	0	180	45
	1	180	0	225
QPSK	00	0	180	45
	11	180	0	225
	01	90	270	135
	10	270	90	315

Tabel 2.1 Perbedaan Sudut Phase

Gambar 2.5 menunjukan Sistem komunikasi PSK/QPSK. Modulator memodulasi sinyal pembawa dengan informasi input dan memproduksi siyal termodulasi PSK

atau QPSK. Sinyal termodulasi ditransmisikan melewati medium seperti udara, kabel, fiberoptik, ke input demodulator. Demodulator menerima sinyal transmisi kemudian merekonstruksi data informasi originalnya.



Gambar 2.5 Blok diagram Sistem PSK/QPSK

Keterangan gambar :

Pada modulator terjadi proses pencampuran antara sinyal informasi dan sinyal pembawa sehingga menjadi sinyal termodulasi. Dan sinyal inilah yang ditransmisikan sebagai input pada demodulator.

Proses yang terjadi pada demodulator adalah proses pengembalian kembali menjadi sinyal awal atau sinyal informasi. Hal ini dilakukan oleh demodulator dengan memisahkan sinyal informasi dengan sinyal pembawa.

2.2 Filter

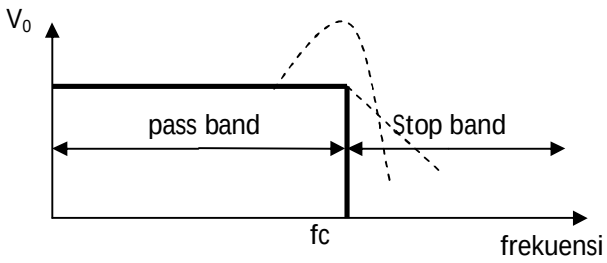
Filter banyak digunakan dalam Sistem komunikasi, didesain untuk melewatkan pita frekuensi tertentu yang mengatenuasi semua sinyal di luar pita frekuensi tersebut. Filter biasanya diklasifikasikan berdasarkan pada jarak pemfilteran. Berdasarkan jarak pemfilteran terdapat empat tipe filter yaitu :

1. Low Pass Filter

2. High pass Filter
3. Band Pass Filter
4. Band Reject Filter

Karena dalam tugas akhir ini menggunakan low pass filter, maka dalam bab ini hanya sebagian saja yang dijelaskan. Yaitu hanya mencakup low pass filter.

2.2.1 Low Pass Filter



Gambar 2.6 Low Pass Filter

Low pass filter merupakan sirkuit yang memiliki tegangan output yang konstan dari DC ke frekuensi cut off fc. Selama frekuensi meningkat di fc, tegangan output akan menurun (melemah). Gambar 2.6 Low Pass Filter merupakan plot dari magnitude tegangan output dari low pass filter versus frekuensi. Garis solid adalah plot untuk filter ideal low pass, sementara garis putus-putus mengindikasikan kurva untuk praktikal filter low pass.

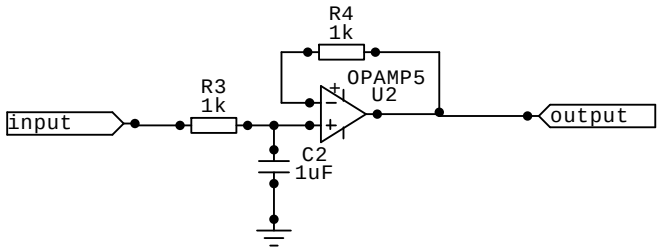
Sirkuit pada Gambar 2.7 Plot Low Pass Filter biasa digunakan filter low pass aktif. Pemfilteran ini dibuat dengan jaringan RC, dan op-amp digunakan untuk penguatan amplifier. Resistor Rf sama dengan R dan termasuk *offset* DC. Kapasitor di DC, kapasitif reaktansi tak terhingga dan *path* resistansi DC ke *ground* untuk kedua terminal input mungkin sama.

Differensial antara pin 2 dan pin 3 pada dasarnya 0V. oleh karena itu, tegangan melewati persamaan kapasitor C tegangan output Vo.karena sirkuit ini merupakan tegangan pengikut *(follower)* Ei dibagi atas R dan C. persamaan tegangan kapasitor Vo adalah :

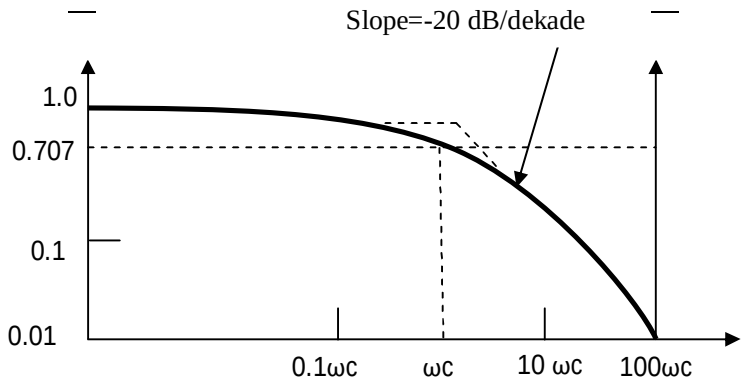
(2.6)

Dimana ω merupakan frekuensi dari Ei dalam radian per detik (ω=2πf) dan j sama dengan ditulis dalam persamaan (2-12). untuk memperoleh loop tertutup tegangan gain Acl, kita mempunyai :

(2.7)



Gambar 2.7 Plot Low Pass filter Roll Off -20dB/dekade



(b) Plot Respon frekuensi dari sirkuit

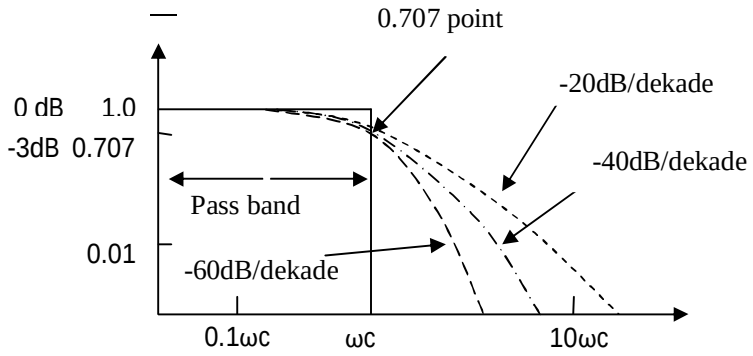
Gambar 2.8 Respon frekuensi Filter -20dB/decade

2.2.2 Filter Butterworth

Banyak aplikasi *low pass* filter itu dibutuhkan untuk penguatan loop tertutup agar mendekati 1 seperti *band pass*. Filter butterworth merupakan setelan yang sangat bagus untuk tipe aplikasi ini. Filter butterworth sering disebut *maximally filter* atau filter flat-flat, Filter butterworth. Gambar 2.9 menunjukan ideal (garis solid) dan praktikal (garis putus-putus) respon-respon frekuensi dari filter butterworth. Seperti roll-off menjadi *stepper*, mendekati filter ideal lebih dekat.

Dua filter aktif mungkin berpasangan untuk memberikan *roll off* pada -40 dB/decade. Ini mungkin desain yang bukan ekonomikal, karena ini mungkin membutuhkan dua buah op am. Ini menunjukkan bagaimana suatu op-amp bisa digunakan untuk membangun filter butterworth dengan satu loop op-amp untuk memberikan -40 dB/decade rol-off. Kemudian filer -40 dB/decade turun dengan -20dB/decade filter untuk memproduksi filter -60 dB/decade.

Filter butterworth tidak didesain untuk menyimpan sudut phasa konstan pada frekuensi *cut off*. Basic filter *low pass* filter dari -20 dB/decade mempunyai sudut phasa -45^0pada ωc, -40 db/decade filter butterworth mempunyai sudut phasa -90^0ωc, dan -60dB/decade filter mempunyai sudut phasa -135^0ωc. Sekarang filter butterworth mempunyai *roll off stepper* yang menunjukan -20 dB/ decade.



Gambar 2.9 Respon frekuensi LPF Butterworth

2.3 Osilator

Osilator merupakan piranti elektronik ysng menghasilkan keluaran berupa isyarat tegangan. Bentuk isyarat tegangan terhadap waktu ada bermacam-macam, yaitu bentuk sinus oida, persegi, segitiga, gigi gergaji atau denyut. osilator berbeda dengan penguat, oleh karena penguat memerlukan isyarat masukan untuk menghasilkan isyarat keluaran. Pada osilator tidak ada isyarat masukan, hanya ada isyarat keluaran saja, yang frekuensi dan amplitude dapat dikendalikan. Seringkali suatu penguat secara tidak sengaja menghasilkan keluaran tanpa masukan dengan frekuensi yang nilainya tidak dapat dikendalikan. Dalam hal ini penguat dikatakan berosilasi.

Osilator digunakan secara luas sebagai sumber isyarat untuk menguji suatu rangkaian elektronik. Osilator seperti ini disebut pembangkit isyarat, atau pembangkit fungsi jika isyarat keluarannya dapat mempunyai berbagai bentuk.

Pada dasarnya ada tiga macam osilator, yaitu osilator RC, osilator LC, dan osilator relaksasi. Osilator RC dan LC menghasilkan isyarat berbentuk sinusoida

sedangkan osilator relaksasi menghasilkan isyarat persegi, segitiga, gigi gergaji atau pulsa.

Osilator RC menggunakan hambatan R dan kapasitansi C untuk mengatur frekuensi. Isyarat yang dihasilkan dapat diusahakan agar berbentuk inusoida. Osilator ini menggunakan balikan positif yang bersifat reaktif, sehingga kondisi osilasi, yaitu ( )=1 hanya berlaku untuk satu nilai frekuensi, yang berakibat isyarat keluaran berbentuk sinusoida.

2.4 Balanced Modulator

Balance modulator terdiri dari dua modulator amplitude standar yang tersusun dalam konfigurasi balance yang berfungsi untuk mensuppress gelombang carrier, sebagaimana dilihat pada blok diagram di bawah ini. Kita mengasumsikan bahwa merupakan modulator yang identik, kecuali untuk reversal dari modulasi gelombang menggunakan input dari salah satunya. Maka output dari kedua modulator bisa diekspresikan sebagai berikut :

$$_1( ) = [1 + ( )] \cos 2 \quad (2.8)$$

dan

$$_1( ) = [1 - ( )] \cos 2 \quad (2.9)$$

pengurangan $_2($ dan$)$ $_1( )$ kita mendapatkan :

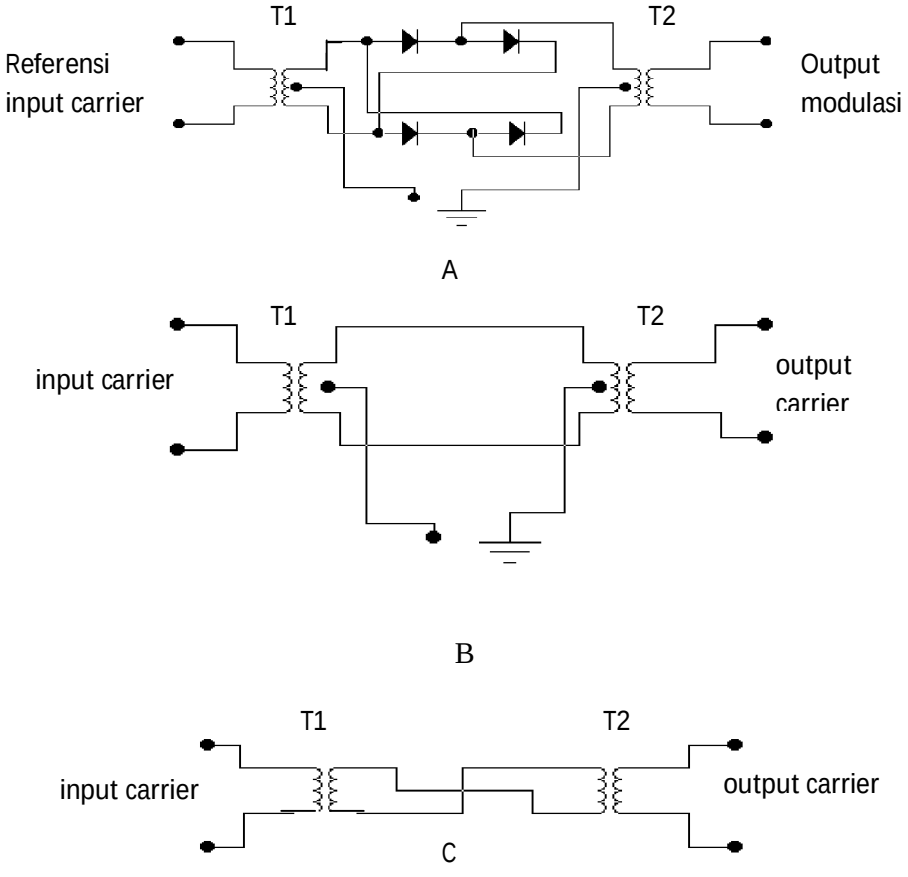
$$( ) = ( ) - ( )$$

$$= 2 \cos(2) ( ) \quad (2.10)$$

Maka output dari balance modulator menghasilkan produk dari gelombang modulasi dan carrier.

Balanced modulator pada rangkaian berfungsi sebagai saklar pembalik fasa (*phase reversing switch*) yang tergantung pada kondisi pulsa masukan, maka frekuensi pembawa akan diubah sesuai dengan kondisi-kondisi tersebut dalam bentuk fasa keluaran, baik itu sefasa maupun berbeda 180^0 dengan osilator referensi. Balanced modulator mempunyai dua masukan, yaitu sebuah masukan untuk frekuensi pembawa yang dihasilkan oleh osilator referensi dan yang lainnya berupa masukan data biner (sinyal digital).

Gambar di bawah memperlihatkan cara kerja rangkaian dari ring modulator yang merupakan balanced modulator.



Gambar 2.10 Ring modulator

Untuk mendapatkan balanced modulator sebagaimana mestinya tegangan input digital harus lebih besar dari tegangan puncak dari tegangan pembawa (voltage carrier). Hal ini untuk memastikan masukan digital dapat mengontrol D_1-D_2 dalam kondisi on atau off.

Gambar 2.14 b. menunjukkan bahwa bila masukan biner berlogika 1 (tegangan positif), diode D_1 dan D_2 mendapat forward bias sehingga diode dalam keadaan on, sementara diode D_3 dan D_4 mendapat reverse bias, sehingga dalam kondisi off. Pada gambar 2.14 b. di atas terlihat tegangan pembawa (voltage carrier) melalui T_1 sefasa dengan tegangan pembawa yang melalui T_1 sehingga sinyal keluaran adalah sefasa dengan osilator referensi.

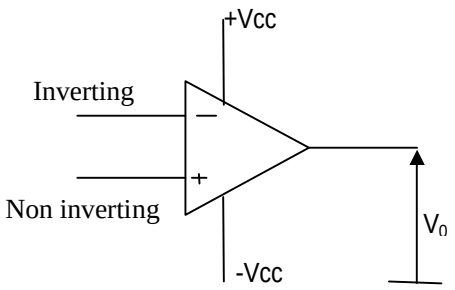
Jika masukan biner berlogika 0, maka diode D_1 dan D_2 mengalami reverse bias (off) sementara diode D_3 dan D_4 mendapat forward bias (on), sehingga mengakibatkan tegangan pembawa melalui transformator T_1 akan berbeda fasa 180^0 dari osilator referensi seperti terlihat pada gambar 2.14 c.

2.5 Operational Amplifier (Op Amp)

Op amp adalah penguat diferensial dengan dua masukan dan satu keluaran yang mempunyai penguatan tegangan yang amat tinggi, yaitu dalam orde 10^5. Dengan penguatan yang amat tinggi ini, penguatan operasional dengan rangkaian balikan lebih banyak digunakan daripada dalam lingkat terbuka. Op amp dibuat dalam rangkaian terpadu atau IC (*Integrated circuit*), dimana dalam satu potong kristal silikon dengan ruas kurang dari $1mm^2$ terkandung rangkaian penguat lengkap terdiri dari banyak transistor, dioda, resistor, danm kadang-kadang kapasitor.

Sifat-sifat ideal Op amp

Op amp biasanya digambarkan dengan lambang seperti dibawah ini :



Gambar 2.11 Lambang Op Amp

Tampak adnya dua masukan, yaitu masukan membalik (i*nverting*) dan masukan tak membalik (*non inverting*). Masukan membalik diberi tanda negatif, sedangkan masukan tak mebalik diberi tanda positif. Jika isyarat masukan dihubungkan dengan masukan membalik, maka pada daerah frekuensi tengah isyarat keluaran berlawanan fasa atau sebaliknya jika isyarat masukan dihubungkan dengan masukan tak membalik maka isyaratkeluaran akan sefasa atau mempunyai tanda yang sama dengan isyarat masukan.

Beberapa sifat ideal op amp adalah sebagai nerikut :

1. Penguat lingkar terbuka tak berhingga atau $A_{V,lB} = \infty$
2. Hambatan keluaran lingkar terbuka adalah 0, atau $R_{0,lB} = 0$
3. Hambatan masukan lingkar terbuka adalah 0, atau $R_{0,lB} = \infty$
4. Lebar pita tak terhingga, atau $\Delta f=f_2-f_1 = \infty$
5. Nisbah penolakan modus bersama (CMRR) = ∞

2.6 Peluang Kesalahan QPSK

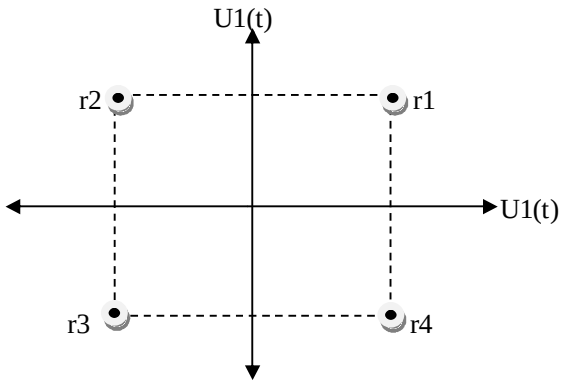
Secara umum dalam sistem transmisi tidak dapat dihindarkan adanya derau. Dengan adanya hal ini akan mengganggu transmisi sinyal sehingga dapat mengakibatkan kesalahan penerimaan. Hal yang demikian itu, sudah pasti terjadi juga pada sinyal QPSK. Untuk mengetahui pengaruh derau terhadap sinyal QPSK, maka berikut ini akan dibahas mengenai peluang kesalahan (*error probability*) deteksi sinyal QPSK akibat adanya derau.

Diagram ruang (*space diagram*) sinyal QPSK seperti ditunjukan pada Gambar 2.5.4 vektor satuan untuk sistem koordinat ini adalah :

$$u_{1}(t) = \sqrt{\frac{2}{Ts}}\cos\omega_c t \qquad (2.11)$$

$$u_{2}(t) = \sqrt{\frac{2}{Ts}}\sin\omega_c t \qquad (2.12)$$

dengan Ts = 2 Tb (Tb : durasi bit)



Gambar 2.13 Diagram Ruang Sinyal QPSK

Pada sistem komunikasi, biasanya derau diasumsikan sebagai derau putih aditif dengan distribusi gaussian (*Additive White Gaussian Noise*). Di sini, derau putih aditif gaussian yang menyertainya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$n(t) = n_1 u_1(t) + n_2 u_2(t) \tag{2.13}$$

dengan n1 dan n2 adalah komponen-komponen derau yang saling bebas dan ortogonal serta merupakan variabel acak gaussian dengan variansi η/2.

Pada kasus ini akan lebih mudah untuk menghitung peluang deteksi benar Pc dari pada peluang kesalahan Pe. Sehingga dari teori peluang dapat dihitung peluang kesalahan Pe dari Pc dengan hubungan berikut :

$$Pe = 1 - Pc \tag{2.14}$$

Dari gambar 2.5.4, terlihat bahwa jika ditransmisikan S_1, maka deteksi akan benar selama derau tidak memindahkan r_1 keluar dari kuadran pertama. Pada keadaan demikian itu disyaratkan bahwa besar n_1 dan n_2 harus berada pada selang antara $-\sqrt{PsTb}$ sampai tak terhingga. Karena jarak antara sinyal yang ditransmisikan $d = 2\sqrt{PsTb}$. maka peluang deteksi benar Pc jika yang ditransmisikan S_1 dapat dihitung sebagai berikut :

$$P(c|S_1) = P\left(n1 > -\frac{d}{2}, n_2 > -\frac{d}{2}\right) = \int_{-d/2}^{\infty} \frac{e^{-n1^2/\eta}}{\sqrt{\pi\eta}} dn_1 \int_{-d/2}^{\infty} \frac{e^{-n2^2/\eta}}{\sqrt{\pi\eta}} dn_2$$

(2.15)

$$P(c|S_1) = \left(\frac{1}{\sqrt{\pi\eta}} \int_{-d/2}^{\infty} e^{-n1/\eta}\, dn\, 1 \right)^2 = \left(1 - \frac{1}{2} erfc \left(\sqrt{\frac{d^2}{4\eta}} \right) \right)^2$$

Dengan demikian peluang kesalahan Pe jika yang ditransmisikan S_1 adalah :

$$Pe = 1 - Pc \tag{2.16}$$

$$Pe = 1 - \left(1 - \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{d^2}{4\eta}} \right) \right)^2 \tag{2.17}$$

Karena setiap sinyal yang ditransmisikan baik itu S_1, S_2, S_3 maupun S_4 serupa dan sama *(equally likelly)* maka peluang kesalahan pun akan sama.

Selain itu juga untuk menyatakan kinerja ini sering digunakan *bit error rate* (BER). Pada dasarnya pemakaian peluang kesalahan atau BER dapat dipertukarkan, meskipun sebenarnya ada sedikit perbedaan arti antara keduanya. Peluang kesalahan lebih cenderung merupakan ukuran kemungkinan secara teoritis (matematis) mengenai harapan terjadinya kesalahan untuk satu sistem, sedangkan BER pada dasarnya merupakan ukuran secara empiris (historis) mengenai *record* kesalahan sistem yang aktual. Sebagai contoh, jika sistem mempunyai peluang kesalahan 10^{-6}, ini berarti secara matematis (teoritis) diharapkan ini terjadi kesalahan satu bit dari setiap 10^6 bit yang ditransmisikan, jika sistem mempunyai BER 10^{-6}, ini berarti secara empiris (historis) pada waktu yang telah berlalu secara nyata sistem ini mempunyai kesalahan satu bit untuk setiap 10^6 bit yang ditransmisikan.

Pada dasarnya peluang kesalahan merupakan fungsi dari *carrier to noise ratio* (C/N) pada penerima. Perbandingan kinerja beberapa sistem modulasi digital untuk BER = 10^{-6} dapat dilihat pada tabel 2.2 .

Tabel 2.2 Perbandingan Kinerja Sistem Modulasi Digital untuk BER = 10^{-6}

Teknik modulasi	C/N (dB)	E_b/N_o (dB)
BPSK	13,6	10,6
QPSK	13,6	10,6
8 QAM	13,6	10,6
8 PSK	18,8	14
16 PSK	24,3	18,3
16 QAM	20,5	14,5
32 QAM	24,4	17,4
64 QAM	26,6	18,8