BAB II

TEORI DASAR

2.1 Konsep Dasar Sistem Spread Spectrum

Sistem *spread spectrum* telah dikembangkan sejak pertengahan tahun 1950. Sistem ini pertama kali digunakan pada sistem komunikasi militer, karena kebutuhan akan sistem komunikasi yang dapat mengatasi masalah *interferensi*, dapat menjamin kerahasiaan informasi yang dikirim dan dapat beroperasi pada tingkat *signal to noise ratio* (S/N) yang rendah atau tahan terhadap derau yang besar. Pengembangan selanjutnya, digunakan pada sistem penentuan lokasi dengan ketetapan tinggi (*high-resolution ranging*), sistem anti lintasan jamak (*anti multipath*) dan sistem akses jamak (*multiple access*).

Sistem komunikasi yang konvensional, umumnya dirancang untuk dapat beroperasi secara efisien dalam lingkungan derau putih gaussian (*Additive White Gaussian Noise* (AWGN)). AWGN adalah *noise* yang pasti terjadi pada jaringan *wireless* manapun yang memiliki sifat-sifat *additive*, *white* dan *gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* yang dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak tergantung dari frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *gaussian*. Tetapi pada kenyataannya terdapat jenis gangguan lain selain AWGN, seperti interferensi dan sinyal lintasan jamak, yang akan menurunkan kinerja sistem komunikasi.

Suatu sistem didefinisikan sebagai sistem *spread spectrum* jika memenuhi persyaratan berikut.

1. Sinyal mempunyai lebar pita yang jauh lebih besar dibandingkan dengan lebar pita yang dibutuhkan untuk mengirim sinyal informasi.
2. Pada pengirim, sinyal informasi ditebar ke seluruh lebar pita sistem dengan menggunakan sinyal penebar (*spreading signal*) atau sinyal pengkode (*code signal*), yang tidak tergantung pada sinyal informasi.
3. Pada penerima, sinyal informasi dapat diperoleh kembali dengan mengkorelasikan sinyal *spread spectrum* yang diterima dengan sinyal referensi. Sinyal referensi merupakan salinan dari sinyal penebar pada pengirim.

Ada beberapa metode dari sistem *spread spectrum* yang didasarkan pada teknik modulasi, diantaranya.

a. *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS)
b. *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS)
c. *Time Hopping Spread Spectrum* (THSS)
d. *Chirp* atau *Hybrid Spread Spectrum*

Kode yang digunakan *spread spectrum* memiliki sifat *random* (acak) tetapi berulang secara periodal sehingga dinamakan acak semu (*Pseudorandom*) atau sering juga disebut *noise* semu (*Pseudonoise*). Pembangkit sinyal kode *pseudonoise* disebut *Pseudo Random Generator* (PRG) atau *Pseudo Noise Generator* (PNG) yang dapat direalisasikan dengan susunan *shift register* dengan umpan balik tertentu dan sering disebut S*hift Register Generator* (SRG).

Teori dasar informasi yang mendasari dari sistem *spread spectrum* ini dikemukakan oleh Shanon. Menurut teorinya, kapasitas kanal transmisi suatu sistem komunikasi ditentukan oleh :

$$C = W \log_2 (1+{}^{S}/_{N}) \quad (2.1)$$

Dimana;

C = kapasitas kanal transmisi (bit/detik)

W = *bandwidth* transmisi (Hz)

S = daya sinyal (watt)

N = daya noise (watt)

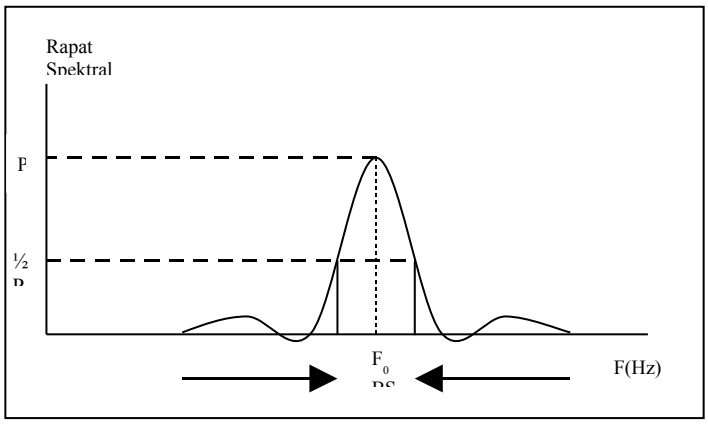
Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa sistem komunikasi dapat bekerja dengan kapasitas kanal yang tetap pada level daya *noise* yang tinggi (${}^{S}/_{N}$ rendah) dapat dilakukan dengan jalan memperbesar *bandwidth* transmisi W.

Dari rumus di atas, maka bila *bandwidth* dilebarkan dua kali maka kapasitas kanal akan naik dua kali dengan asumsi (${}^{S}/_{N}$) tetap (yang berarti juga kenaikan daya sinyal sebagai kompensasi terhadap daya *noise* yang juga membesar seiring dengan membesarnya *bandwidth*). Selain itu, Shanon juga mengemukakan bahwa sebuah kanal dapat mentransmisikan informasi dengan kesalahan probabilitas yang kecil apabila pada informasi terkirim dilakukan pengkodean yang tepat dan *rate* informasi yang tidak melebihi kapasitas kanal, sekalipun kanal tersebut memuat derau acak.

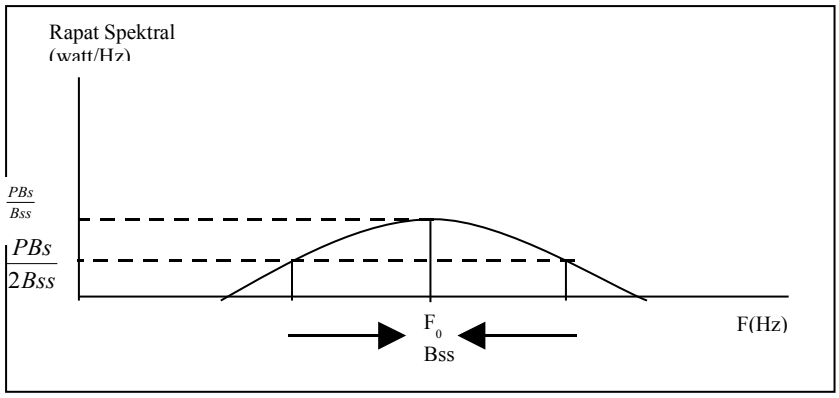
Berdasarkan rumusan yang dikemukakan Shanon tersebut, sistem komunikasi *spread spectrum* dapat bekerja pada keadaan yang memiliki daya *noise* yang tinggi dan memiliki probabilitas kesalahan transmisi yang kecil.

Sinyal informasi akan memodulasi sinyal pembawa dan menghasilkan sinyal pembawa yang dimodulasi data. Sinyal pembawa yang telah dimodulasi data akan ditebarkan pada *bandwidth* frekuensi yang lebih besar. Proses penebaran diakukan dengan cara mengkorelasikan dengan kode *Pseudonoise* (PN) yang dihasilkan oleh *Pseudo Random Generator* (PRG). Hasil proses penebaran adalah berupa sinyal *spread spectrum*.

Pada penerima *spread spectrum* terjadi proses *despreading* dilakukan dengan cara mengalikan sinyal yang diterima (sinyal *spread spectrum*) dengan kode PN yang terdapat pada sistem penerima. Proses *despreading* akan mengubah spektrum sinyal pembawa yang dimodulasi data kembali ke *bandwidth* semula.



Gambar 2.1a Spektrum Sinyal Sebelum Penebaran



Gambar 2.1b Spektrum Sinyal Setelah Penebaran

Pada Gambar 2.1 ditunjukkan rapat spektral daya sinyal pembawa yang dimodulasi data. Selanjutnya sinyal pembawa yang telah dimodulasi data akan ditebarkan pada *bandwidth* yang lebih besar. Hasil proses dari penebaran adalah daya sinyal *spread spectrum*.

Pada penerima terjadi proses *despreading*. Proses *despreading* dilakukan dengan cara mengkorelasikan sinyal *spread spectrum* dengan kode PN pada pengirim. Proses *despreading* akan mentransformasikan sinyal pembawa yang dimodulasi data kembali ke *bandwidth* semula. *Processing Gain* menggambaran seberapa besar kemampuan sistem dalam menekan pengaruh sinyal *interferensi*. *Processing Gain* didefinisikan sebagai perbandingan *bandwidth spread spectrum* atau *bandwidth* setelah penebaran dengan *bandwidth* sinyal informasi atau *banwidth* sebelum penebaran.

Pada sistem *spread spectrum*, *processing gain* dapat ditulis dengan persamaan:

$$Gp = 10 \log \frac{Bss}{Bs} \quad (2.2)$$

Dimana;

Gp = gain processing

Bss = *bandwidth* transmisi sinyal *spread spectrum* (Hz)

Bs = *bandwidth* sinyal informasi (Hz)

2.2 Kelebihan Sistem *Spread Spectrum*

Sistem komunikasi spread spectrum sebagai salah satu sistem komunikasi digital, memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sistem komunikasi analog yaitu.

a. Lebih kebal terhadap *jamming*
b. Mampu menekan *interferensi*
c. Dapat dioperasikan pada level daya yang rendah
d. Kemampuan *multiple access* secara CDMA (*Code Division Multiple Access*)
e. Kerahasiaan lebih terjamin
f. *Ranging*

2.3 Sinkronisasi Dalam Sistem Spread Spectrum

Komunikasi *Spread Spectrum* mensyaratkan bahwa gelombang *spreading* antara sinyal terima dari pemancar dan penerima sinkron. Bila kedua gelombang lepas dari kondisi sinkron meskipun hanya sebesar satu periode chip saja, energi sinyal yang mencapai *demodulator* data tidak bisa maksimal sehingga tidak cukup

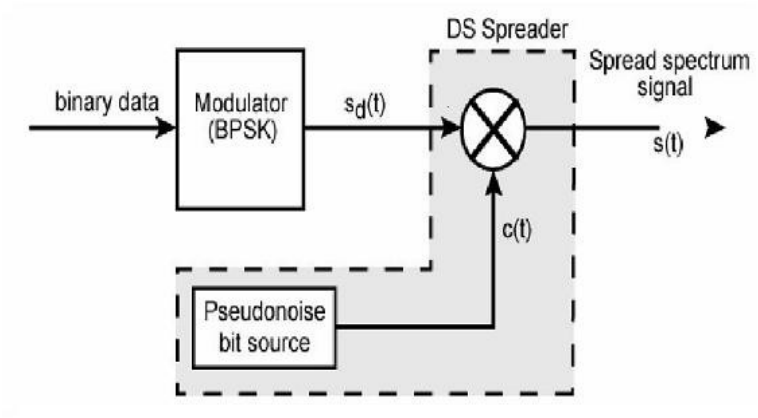
untuk proses deteksi data. Ketika laju data yang dipakai sangat tinggi, sinkronisasi menjadi faktor yang sangat penting dalam menjaga kualitas komunikasi.

2.4 Sistem *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS)

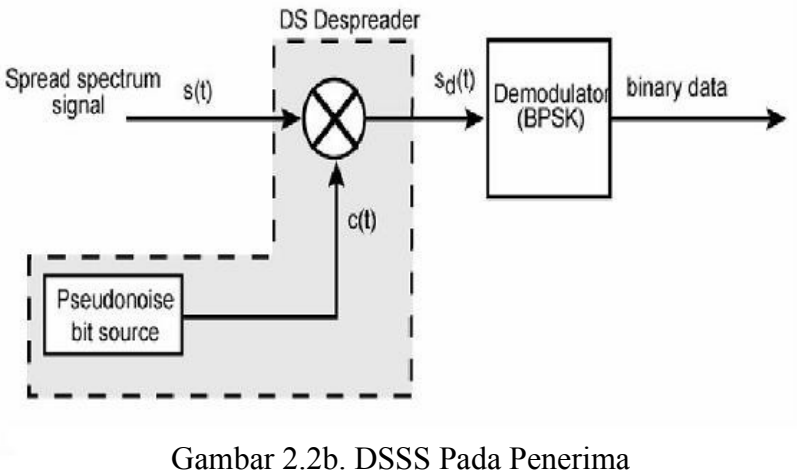
DSSS dipilih karena adanya kemudahan dalam mengacak data yang akan di *spreading*. Dalam DSSS *spreading* hanya menggunakan sebuah *generator noise* yang periodik yang disebut *Pseudo Noise Generator* (PNG). Kode yang digunakan pada sistem *spread spectrum* memiliki sifat acak tetapi periodik sehingga disebut sinyal acak semu disebut *Pseudo Random Generator* (PRG). Kode tersebut bersifat sebagai *noise* tapi *deterministik* sehingga disebut juga *noise* semu (*Pseudo Noise*). Pembangkit sinyal kode ini disebut *Pseudo Random Generator* (PRG) atau *Pseudo Noise Generator* (PNG). PRG inilah yang akan melebarkan dan sekaligus mengacak sinyal data yang akan dikirimkan. Dalam skema ini, masing masing bit pada sinyal yang asli ditampilkan oleh bit-bit multipel pada sinyal yang ditransmisikan, yang disebut kode tipis (*chipping*). Kode tipis yang menyebarkan secara langsung sepanjang band frekuensi yang lebih luas sebanding dengan jumlah bit yang dipergunakan. Oleh karena itu, kode tipis 10-bit menyebarkan sinyal sepanjang band frekuensi yang 10 kali lebih besar dibandingkan kode tipis 1-bit.

Patut dicatat bahwa bit informasi dari satu membalikan bit-bit *pseudorandom* dalam kombinasi tersebut, sementara bit informasi 0 menyebabkan bit-bit *pseudorandom* ditransmisikan tanpa mengalami *inversi*. Kombinasi bit *stream* memiliki data *rate* yang sama dengan deretan *pseudorandom* yang asli,

sehingga memiliki *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan *stream* informasi. Pada contoh ini, bit *stream* lebih besar 4 kali lipat rate informasi.



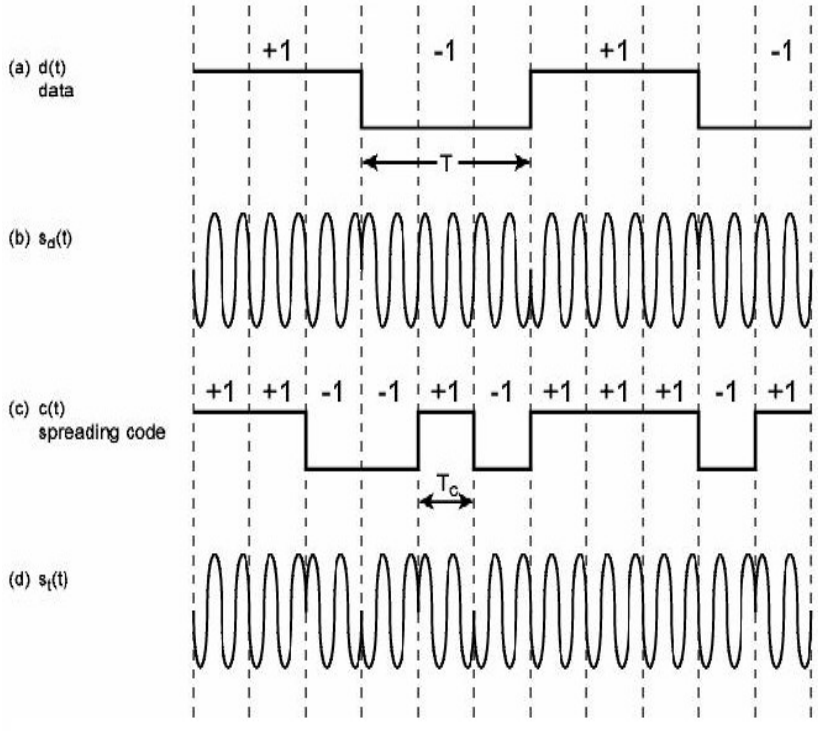
Gambar 2.2a. DSSS Pada Pemancar



Gambar 2.2b. DSSS Pada Penerima

Gambar 2.2 menunjukkan implementasi deretan langsung yang khusus. Dalam hal ini, *stream* informasi dan *stream pseudorandom* bahkan dikonversi ke sinyal-sinyal analog lalu dikombinasikan, bukannya menunjukkan *OR-eksklusif* dari dua *stream* dan kemudian memodulasikannya. Penyebaran spektrum dapat dicapai melalui teknik deretan langsung yang ditentukan dengan mudah. Sebagai contoh,

anggap saja sinyal informasi memiliki lebar bit sebesar tb yang *ekuivalen* terhadap rate data = 1/tb. Dalam hal ini, *bandwidth* sinyal tergantung pada teknik pengkodean, kira-kira 2/tb. Hampir sama dengan itu, *bandwidth* sinyal *pseudorandom* adalah 2/Tc dimana Tc adalah lebar bit *pseudorandom input. Bandwidth* sinyal yang dikombinasikan kira-kira sebesar jumlah dari 2 *bandwidth* tersebut. Jumlah penyebaran yang dicapai adalah hasil langsung dari *rate* data *pseudorandom*. Semakin besar data *rate pseudorandom input*, semakin besar jumlah penyebarannya.



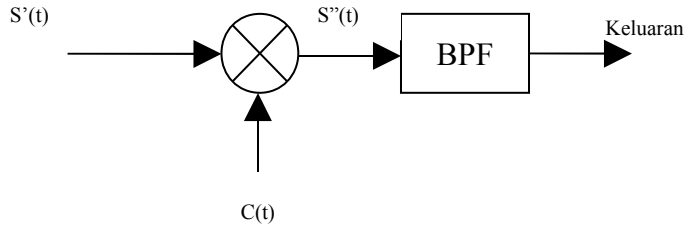
Gambar 2.3 Contoh DSSS Menggunakan BPSK

2.5 Penerima *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS)

Pada sistem penerima DSSS terdapat proses *despreading*. Proses *despreading* adalah proses yang paling penting pada penerima yang menggunakan

modulasi DSSS. Pada proses *despreading*, terletak kemampuan dari sistem DSSS, dimana sinyal-sinyal *interferensi* dan *jamming* ditekan dan sinyal informasi di dapat kembali.

Proses *despreading* merupakan korelasi antara kode PN yang sampai pada penerima dengan kode lokal yang dibangkitkan oleh penerima. Diagram blok proses *despreading* ditunjukkan oleh Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Diagram Blok Proses *Depreading*

Misalkan sinyal yang diterima oleh penerima adalah sinyal DSSS yang ditambahkan dengan sinyal jamming atau interferensi maka sinyal masukan pada korelator adalah:

$$S'(t) = \sqrt{2P}\, d(t)c(t)\cos(\omega_0 t+\theta) + j(t) \qquad (2.3)$$

P = daya sinyal pembawa(watt)

C(t) = sinyal PRG(±1 volt)

d(t) = sinyal data(±1 volt)

θ = sudut phasa sinyal pembawa(rad)

J(t) = sinyal interferensi atau jamming yang ada pada daerah frekuensi sinyal DSSS

Sinyal *jamming* / *interferensi* J(t) memiliki daya J (watt) dan diilustrasikan dengan persamaan sebagai berikut:

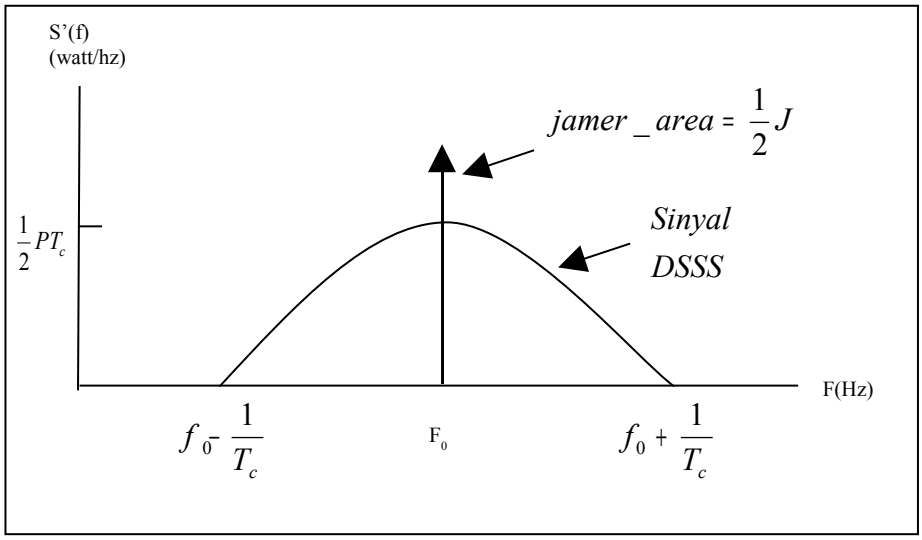
$$J(t) = \sqrt{2J}\cos(\omega_0 t + \theta') \tag{2.4}$$

maka spektrum rapat daya sinyal yang masuk korelator adalah:

$$S'(f) = \frac{1}{2}PT_c\{\sin c^2[(f - f_0)T_c] + \sin c^2[(f + f_0)T_c]\} \tag{2.5}$$

$$+ \frac{1}{2}J\{\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)\}$$

Spektral rapat daya sinyal DSSS dan *Jamming* ditunjukkan seperti pada Gambar 2.5 sbagai berikut:



Gambar 2.5 Rapat Daya Sinyal *Jamming* dan DSSS Sebelum *Despreading*

Proses *despreading* dilakukan dengan cara mengkorelasikan sinyal yang diterima dengan PRG lokal yang identik dengan sinyal PRG yang datang.

Setelah dikorelasikan oleh korelator pada penerima dan sinkronisasi ternjadi, maka sinyal yang didapatkan adalah:

$$S''(t) = \sqrt{2P}d(t)\cos(\omega_0 t + \theta) + \sqrt{2J}d(t)\cos(\omega_0 t + \theta') \quad (2.6)$$

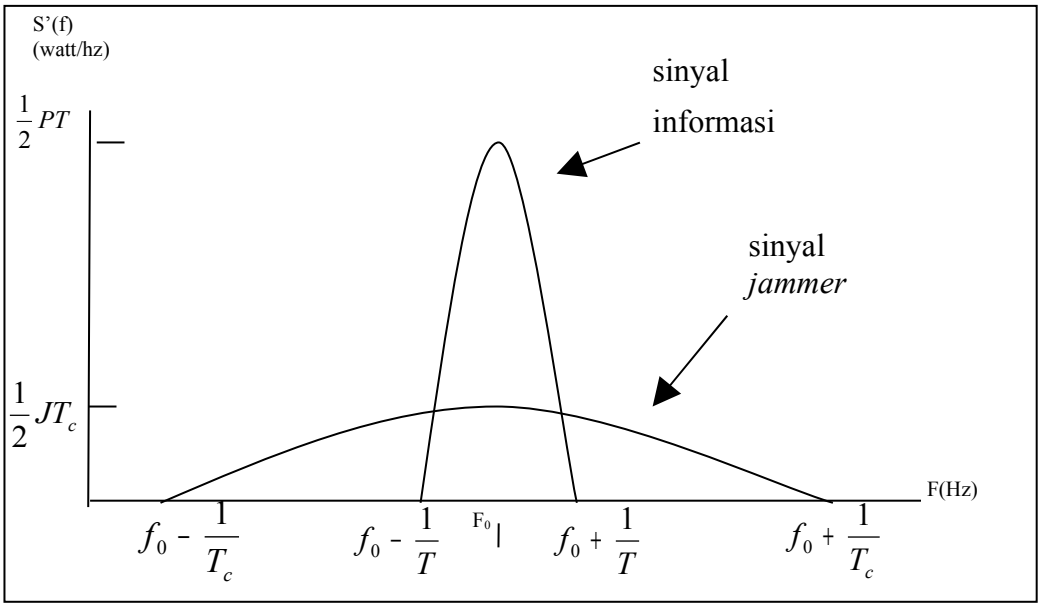
dan spektrum rapat dayanya adalah:

$$S''(f) = \frac{1}{2}PT\left\{\sin c^2[(f - f_0)T] + \sin c^2[(f + f_0)T]\right\} \quad (2.7)$$

$$+ \frac{1}{2}JT_c\left\{\sin c^2(f - f_0)T_c + \sin c^2(f + f_0)T_c\right\}$$

ini berarti sinyal yang bersesuaian ditebarkan ke lebar pita semula dan sinyal yang tidak bersesuaian ditebarkan ke lebar pita penebar atau *spectrum* sinyal DSSS dikembalikan kelebar pita semula sedangkan jamming ditebarkan kelebar pita *spread spectrum*.

Rapat daya spekral sinyal yang telah dikorelasikan digambarkan pada Gambar 2.6 sebagai berikut.



Gambar 2.6 Rapat Daya Sinyal *Jamming* dan Data Setelah *Despreading*

Proses *despreading* menghasilkan perbaikan rasio S/N dan hal ini disebut dengan penguatan proses atau *processing gain* yang persamaannya didekati oleh persamaan (2.2).

Pada proses *despreading* dilakukan sinkronisasi antara sinyal PRG dari pemancar dengan PRG lokal yang identik dengan pemancar. Sinkronisasi dilakukan melalui 2 tahap yaitu *akuisisi* dan *tracking.*

Akuisisi disebut juga sinkronisasi kasar (*Coarse Sinkronization).* Yang akan menggeser kode PN sistem penerima selanjutnya dilakukan proses tracking atau sinkronisasi halus (*Fine Sincronization*), yang menyempurnakan hasil kerja *akuisisi* sehingga kode PN sistem penerima dan pengirim benar-benar sinkron, dan menjaga agar kode PN tetap sinkron.

2.6 *Binary Phase Shift Keying* (BPSK)

Sinyal yang termodulasi secara BPSK didefinisikan mempunyai bentuk:

$$x_i(t) = A \sin(2\pi ft + \Phi_i) \qquad 0 \le t \le T \qquad (2.8)$$

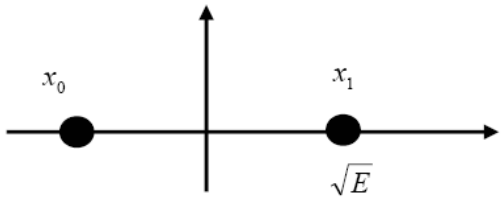
dengan

$$A = \sqrt{E}\sqrt{\frac{2}{T}}$$

Gambar 2.7 menunjukkan diagram BPSK pada bidang kompleks dengan konstelasi dari setiap bit

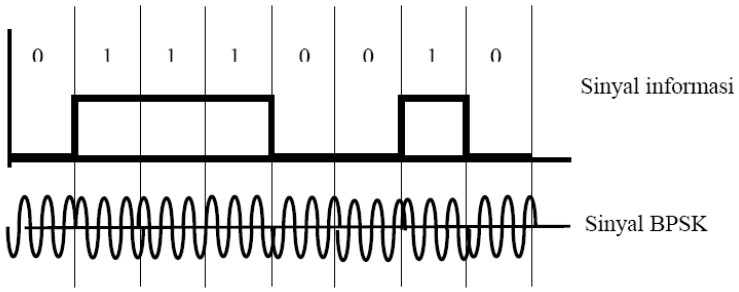
$$1: \quad x_1 = \sqrt{E}\sqrt{\frac{2}{T}}\sin(\omega t), dan$$

$$0: \quad x_0 = \sqrt{E}\sqrt{\frac{2}{T}}\sin(\omega t + 180^o)$$



Gambar 2.7 Diagram BPSK

Dengan menggunakan sinyal informasi proses modulasi secara BPSK terlihat pada Gambar 2.8. Setiap kali datang bit 1 maka fungsinya adalah sin (ωt) dan jika yang datang bit 0 maka fungsinya – sin (ωt).



Gambar 2.8 Proses Modulasi Secara BPSK

2.7 Bit Error Rate

Metoda perhitungan BER dengan membandingkan data kirim terhadap data terima, dilakukan perhitungan kesalahan bit, akumulasi total kesalahan kemudian bagi dengan total data bit yang terkirim.

2.8 Osilator

Sampai sejauh ini dipelajari pada op-amp misalnya untuk segala macam penguatan dan filter filter aktif. Pada bagian ini menjelaskan op-amp untuk osilator yang dapat diatur atur frekuensi outputnya dengan gelombang yang bervariasi pula. Pada dasarnya fungsi osilator adalah sinyal AC atau gelombang tegangan saja. Lebih spesifik lagi, osilator adalah proses pengulanganbentuk gelombang tertentu pada amplitudo dan frekuensi yang tetap tanpa eksternal input. Osilator sering digunakan pada radio, televisi, komputer, dan pesawat komunikasi. Osilator terdiri dari beberapa macam jenisnya, walaupun begitu, osilator-osilator itu mempunyai prinsip kerja yang sama.

2.9 Balanced Modulator-Demodulator

Balanced modulator-demodulator berfungsi sebagai saklar pembalik fasa (*Phase Reversing Switch*) 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^{o} dengan osilator *referensi*. *Balanced modulator-demodulator* mempunyai dua masukan, yaitu sebuah masukan untuk frekuensi pembawa yang dihasilkan oleh osilator *referensi* dan yang lainnya berupa masukan data biner (sinyal digital).

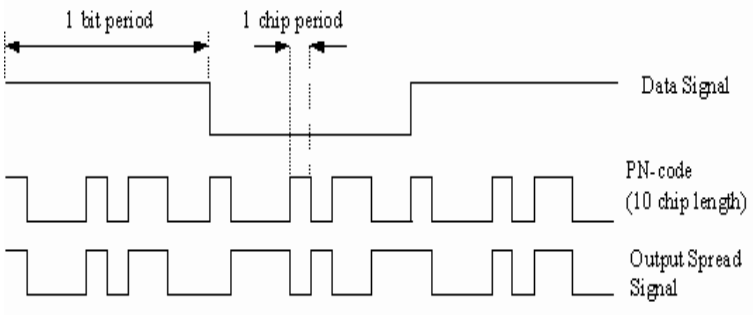
Balanced Modulator mempunyai nama lain yaitu *Product Modulator*, karena keluaran dari *modulator* ini merupakan perkalian dari dua sinyal masukan, dalam modulator BPSK masukan sinyal pembawa dikalikan dengan data biner,

jika logika 1 = +1V dan logika 0 = -1V maka input dari sinyal pembawa (sin $\omega_c t$) akan dikalikan dengan (+) atau (-) sehingga sinyal keluaran adalah +1 sin $\omega_c t$ dan -1 sin $\omega_c t$. Kondisi pertama menunjukkan sinyal sefasa dengan osilator *referensi*, setiap perubahan kondisi pada logika masukan akan menyebabkan perubahan fasa keluaran pada waktu yang sama. Kemudian lebar pita (*bandwidth*) yang terlebar terjadi pada saat data biner masukan bertransisi antara logika 0 dan 1.

2.10 *Pseude-Noise Code*

Kode PN adalah rangkaian bit dengan kecepatan tinggi yang bernilai polar dari 1 ke -1 atau non polar 1 ke 0. Kode PN yang mempunyai satuan *chip*, merupakan sinyal penyebar sinyal informasi dan digunakan untuk membedakan antara kanal/pengguna satu dengan yang lainnya. Pemilihan kode PN harus dilakukan dengan hati-hati dengan memperhatikan beberapa kriteria sebagai berikut .

a. Mudah diterapkan.
b. Biner atau mempunyai 2 level (-1 & 1) atau (0 & 1).
c. Mempunyai *autocorrelation* yang tajam untuk memungkinkan sinkronisasi kode.
d. Mempunyai beda jumlah '0' dan '1' hanya satu (*one zero balance*) untuk memperoleh *spectrum density* yang bagus.
e. Harga *crosscorrelation* yang rendah. Dengan semakin rendah harga *crosscorrelation* maka jumlah kanal dalam satu pita frekuensi semakin tinggi.

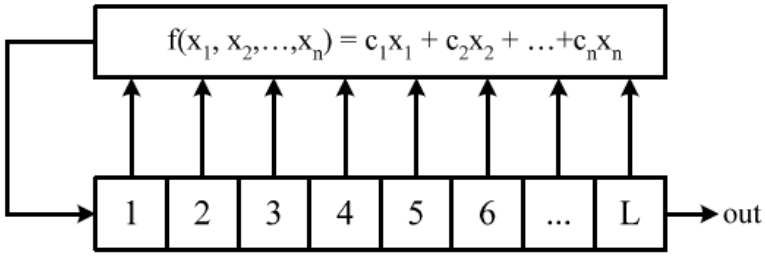


Gambar 2.9 Proses Perkalian Dengan Kode PN

Pada Gambar 2.9, sinyal paling atas adalah bit data. Bit data tersebut dikalikan dengan kode PN yaitu sinyal di tengah yang akan menghasilkan sinyal termodulasi di bagian bawah. Bila bit data bernilai 1 maka sinyal keluaran memiliki bentuk sama dengan kode PN. Bila bit data bernilai 0 maka sinyal keluaran memiliki bentuk berlawanan dengan kode PN.

2.10.1 Kode Pseudo Noise m-Sequence

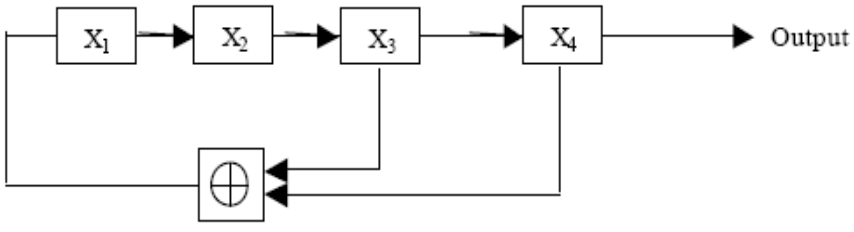
Pembangkit kode m-sequence dibuat dengan menggunakan register geser sederhana (*Simple Shift Register Generator*) seperti pada Gambar 2.10 di bawah yang memiliki *feedback* sinyal pada *input* tunggal register tersebut. Register geser tersebut adalah *linier* bila fungsi *feedback*-nya dapat diekspresikan dengan penjumlahan modulo-2 (XOR).



Gambar 2.10 *Simple Shift Register Generator*

Fungsi *feedback* $f(x_1, x_2, , x_n)$ adalah penjumlahan modulo-2 dari isi register x_i dengan c_i adalah koefisien koneksi *feedback* ($c_i = 0$ adalah open dan $c_i = 1$ adalah tersambung). Sebuah pembangkit *Shift Register* dengan L flip flop menghasilkan deretan yang tergantung pada panjang register L, koneksi sadapan *feedback* dan kondisi inisial register. Ketika periode (*length*) *sequence* yang memiliki harga $N_c = 2^L - 1$. Kode PN tersebut dinamakan *maximum length sequence* atau disingkat *msequence*.

m-sequence dengan jumlah register geser L = 4 atau periode $N_c = 15$, sehingga bentuk register gesernya adalah seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Rangkaian Shift Register Untuk L = 4

2.11 Filter

Filter adalah suatu sistem yang berfungsi untuk memodifikasi spektrum frekuensi dari suatu sinyal-sinyal sehingga diperoleh tujuan yang diinginkan. Spektrum frekuensi adalah kumpulan sinyal-sinyal sinusoidal dengan amplitudo dan frekuensi yang berbeda untuk membentuk suatu sinyal. Respon frekuensi adalah tanggapan filter terhadap spektrum frekuensi.

Klasifikasi filter.

1. Berdasarkan sinyal yang difilter
    a. Filter analog (menggunakan rangkaian analog : transistor, op-amp, R, L, C, dioda dan sebagainya).
    b. Filter digital (menggunakan PC (program), DSF, FPGA dan sebagainya.
2. Berdasarkan respon frekuensinya : LPF, HPF, BSF,BRF.
3. Berdasarkan bentuk respon frekuensi
    a. *Bessel* (flat pada daerah pass dan turun monoton)
    b. *Butterworth* (maksimal flat pada daerah pass, turun monoton, transisi lebih tajamdari bessel).
    c. *Chebychev I* (*Ripple* pada daerah pass, turun monoton, transisi lebih tajam dari butterworth).
    d. *Chebychev II* (*Flat* pada daerah pass, ripple pada daerah reject, transisi lebih tajam dari butterworth).
    e. *Elliptyc* (*Ripple* pada daerah pass dan reject, transisi paling tajam).

4. Berdasarakan respon impulsnya

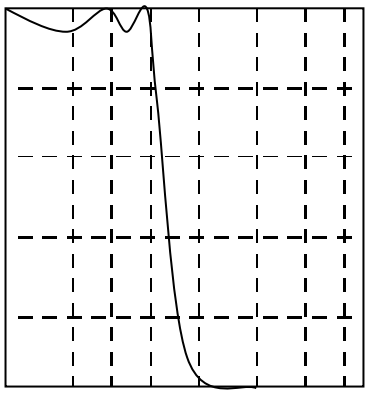
   a. IIR (*infinite duration impulse response*) filter tanggapan *impuls* yang lamanya tak terbatas.

   b. FIR (*finite duration impulse response*) filter tanggapan *impuls* yang lamanya terbatas.

Untuk jenis filter yang digunakan dalam rangkaian *Modulator* DSSS berdasarkan respon frekuensinya adalah jenis *Low Pass Filter* (LPF) yang berfungsi sebagai *filtering* (penyaring) suara masukan dengan batasan frekuensi tertentu dari frekuensi terendah sampai frekuensi maksimum yang diinginkan, sehingga apabila frekuensi masukan melebihi frekuensi yang diingginkan maka filter tersebut tidak akan meloloskannya sedangakan berdasarkan bentuk respon frekuensi adalah adalah jenis *chebychev* . Terdapat dua tipe filter *chebychev* :

1. *Chebychev I*

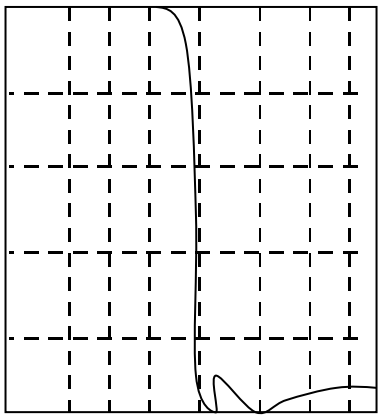
Filter *chebycev* I memperkecil perbedaan yang *absolut* antara respon frekuensi nyata dan yang ideal. Transisi dari *passband* ke *stopband* jadilah lebih cepat dibandingkan untuk filter butterworth [H9J)] = 10 – Rp/20 pada = 1.



Gambar 2. 12 Bentuk Respon Frekuensi Filter *Chebycev* Tipe I

2. *Chebychev II*

Hampir sama dengan filter *chebycev* I tetapi perbedaannya terletak pada *stopban*d yang tidak mendekati nol.



Gambar 2. 13 Bentuk Respon Frekuensi Filter *Chebycev* Tipe II

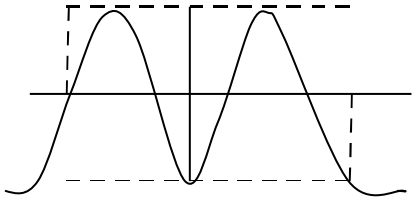
LPF normalisasi *chebycev* tipe I dikarakterisasi dengan persamaan *magnitude* respon frekuensi kuadrat sebagai berikut :

$$[H(j\Omega)]^2 = \frac{1}{1+\varepsilon^2 Tn^2(\Omega)} \qquad (2.9)$$

Dimana Tn (Ω) adalah *polinomial chebycev* orde –n Tn(Ω) didefinisikan sebagai berikut :

$$Tn(x) = 2xT_{n-1}(x)T_{n-2}(x) \quad n>2 \qquad (2.10)$$

Dengan $T_0(x) = 1$ dan $T_1(x) = x$



Gambar 2.14 Kurva ts (Ω) Magnitude Berkisar Dari -1 ke +1

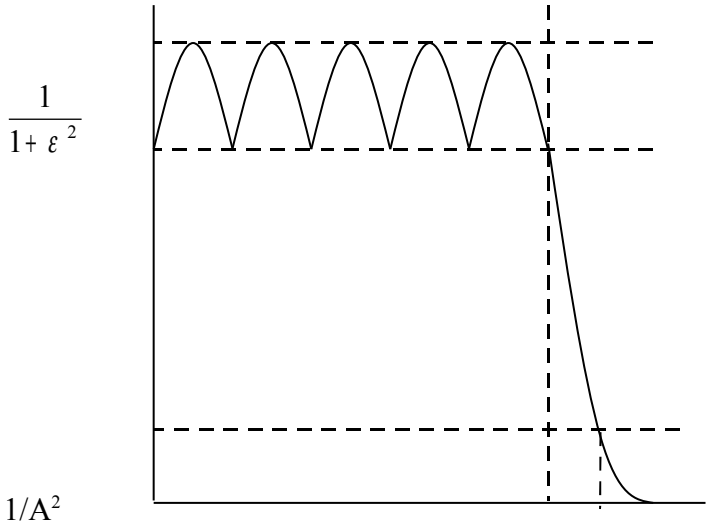
Tabel 2.1 Polinomial *Chebychev*

n	Tn (x)
0	1
1	x
2	$2x^2-1$
3	$4x^3-3x$
4	$8x^4-8x^2+1$
5	$16x^5-20x^3+5x$
.	
.	
.	

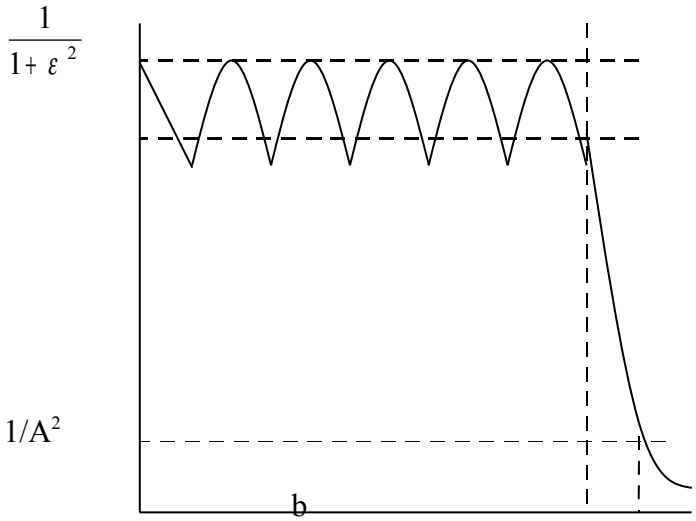
Dari Tabel Tn(x) tersebut terlihat bahwa untuk :

n genap pada $\Omega = 0$, maka Tn(0) = maka Tn=1 ; $[H(j\Omega)]^2 = \frac{1}{1+\varepsilon^2}$

n ganjil pada $\Omega = 0$, maka Tn (0)= makaTn = 0 ; $[H(j\Omega)]^2 = 1$



a



Gambar 2.15 LPF Normalisasi n Genap (a) dan n Ganjil (b)

$[H(j\Omega)]^2$ antara 1 dan $\frac{1}{1+\varepsilon^2}$ dalam passband disebut *equiripple* dan memiliki nilai $\frac{1}{1+\varepsilon^2}$

$[H(j\Omega)]^2$ *monotic* di luar passband (termasuk transisi dan *stopband*) *stopband* diawali dari Ω_r dengan $[H(j\Omega)]^2 = 1 / A^2$.

Untuk memperoleh filter yang kausal dan stabil analisa H_n (s) dengan memilih pole –pole disebelah kiri sumbu. Pole dari sumbu diperoleh dari :

$$1 + \varepsilon^2 Tn^2 (s/j) = 0 \qquad (2.11)$$

Pole – pole terletak pada posisi membentuk elips. Dapat dilihat bahwa LPF normalisasi *chebycev* memiliki 2 parameter yakni ε dan *n*.

Perancangan filter normal memerlukan sejumlah spesifikasi.

1. Ripple passband

2. Critical frekuensi

3. Stopband Attenuation

Adapun untuk menentukan nilai n dapat menggunakan rumus dengan tetap berpegangan pada tabel polynomial untuk filter chebycev yaitu :

$$n = \left[\frac{\log[g + (g^2 - 1)^{1/2}]}{\log[\Omega r + (\Omega r - 1)^{1/2}]} \right] \tag{2.12}$$

$$g = [(A^2 - 1)/\varepsilon^2]^{1/2} \tag{2.13}$$

$$A = \frac{1}{[H_n(j\Omega)]} \tag{2.14}$$

2.12 Comparator / Pembanding Tegangan

Pembanding tegangan akan membandingkan tegangan sebuah masukan dengan tegangan lainnya. Gambar 2.16 menunjukkan pembanding tegangan sederhana. Dalam konfigurasi yang paling sederhana, modus lup terbuka, adanya sedikit perbedaan tegangan di antara kedua masukan akan mengayunkan op-amp kedalam saturasi. Arah satu rasi keluaran ditentukan oleh polaritas sinyal masukan. Bila tegangan masukan membalik lebih positif dibandingkan tegangan masukan tak membalik, keluaran berayun menuju saturasi negatif ($-V_{sat}$). Sebaliknya, bila tegangan masukan membalik lebih negatif dibandingkan tegangan masukan tak membalik, keluaran akan berayun menuju saturasi positif ($+V_{sat}$). Dari tabel dalam Gambar 2.16 dapat dilihat bahwa dengan +1 V pada masukan membalik, maka masukan pertama lebih negatif dibandingkan masukan kedua. Karena itu keluaran akan menuju saturasi psitif. Bila tegangan masukan

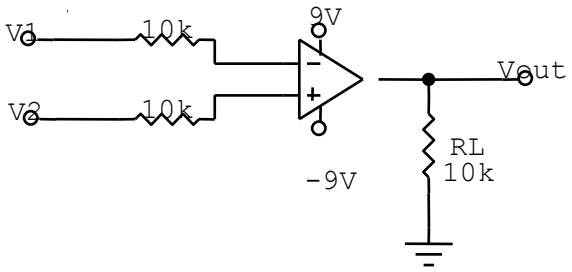
tersebut dibalik (+2 V pada masukan – dan +1 V pada masukan +), atau masukan membalik lebih positif 1 V terhadap masukan tak membalik, maka keluaran akan menuju saturasi negatif. Bila polaritas dan amplitudo kedua masukan sama, keluaran akan nol. Tegangan negatif yang diberikan pada masukan mengakibatkan hal yang sama pada keluaran op-amp seperti yang diperlihatkan dalam tabel.

$$V_{out} = V_{sat} \text{ x sign } (V_2 - V_1) \qquad (2.15)$$

Hubungan polaritas masukan membalik terhadap masukan tak membalik menyebabkan keluaran berbeda fasa 180^o.

Tegangan Masukan		Tegangan Keluaran
V_1	V_2	±Vsat
+1	+2	+8
+2	+1	- 8
+1	- 1	- 8
- 1	+1	+8
- 1	- 2	- 8
- 2	- 1	+8

(a)



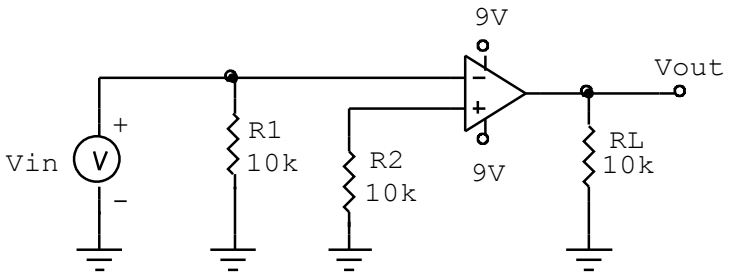
(b)

Gambar 2.16 Pembanding Tegangan: (a) Tabel Tegangan Masukan / keluaran, (b) Diagram Skematik

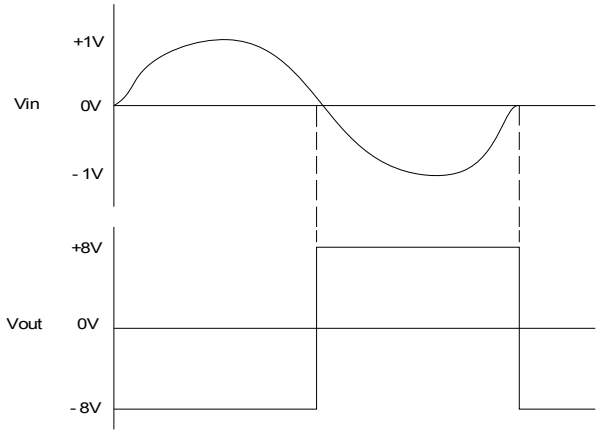
2.12.1 Pengindraan Gelombang Sinus pada Masukan Membalik

Pembanding dapat dipakai untuk mendeteksi perubahan tegangan pada sebuah masukan asalkan masukan lain ditahan sebagai acuan tetap. Dalam Gambar 2.17, masukan membalik digunakan untuk mengindra gelombang sinus. Sumber sinyal diberikan pada masukan membalik. Karena impedansi masukan op-amp dianggap tak berhingga, maka resistor R_1 berperan sebagai beban sumber sinyal, akibatnya rangkaian bekerja lebih efektif. Masukan tak membalik dibumikan melalui resistor R_2. Resistor ini dipakai untuk menyeimbangkan masukan untuk setiap arus *offset* masukan yang mungkin timbul.

Masukan tak membalik ditahan pada tegangan acuan (0 Volt). Selama perubahan positif sinyal masukan, keluaran akan – V_{sat}. Ketika sinyal berubah dari nol menuju negatif, keluaran berbalik menuju + V_{sat}. Perhatikan bahwa keluaran berbeda fasa terhadap masukan.



(a)

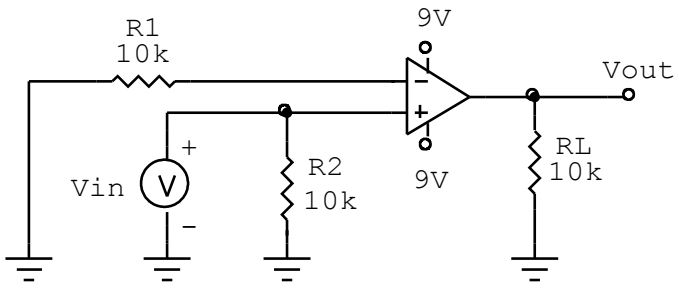


(b)

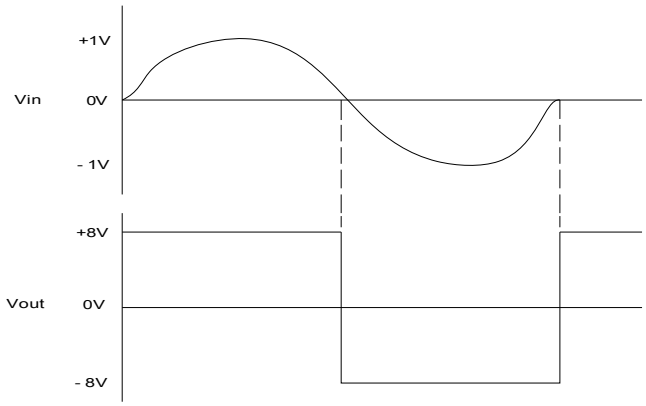
Gambar 2.17 Pembanding Pengindraan Gelombang Sinus pada Masukan Membalik: (a) Diagram Skematik, (b) Hubungan Tegangan Masukan / Keluaran

2.12.2 Pengindraan Gelombang Sinus pada Masukan Tak Membalik

Kita dapat menempatkan sumber sinyal pada masukan tak membalik seperti dalam Gambar 2.18. kini masukan membalik ditahan sebagai acuan (0 Volt). Selama perubahan positif sinyal masukan, keluaran akan +Vsat. Dan ketika terjadi perubahan sinyal dari nol menuju negatif, keluaran akan berayun ke – Vsat. Dengan konfigurasi rangkaian demikian, keluaran akan sefasa terhadap masukannya.



(a)



(b)

Gambar 2.17 Pembanding Pengindraan Gelombang Sinus pada Masukan Tak Membalik: (a) Diagram Skematik, (b) Hubungan Tegangan Masukan / Keluaran