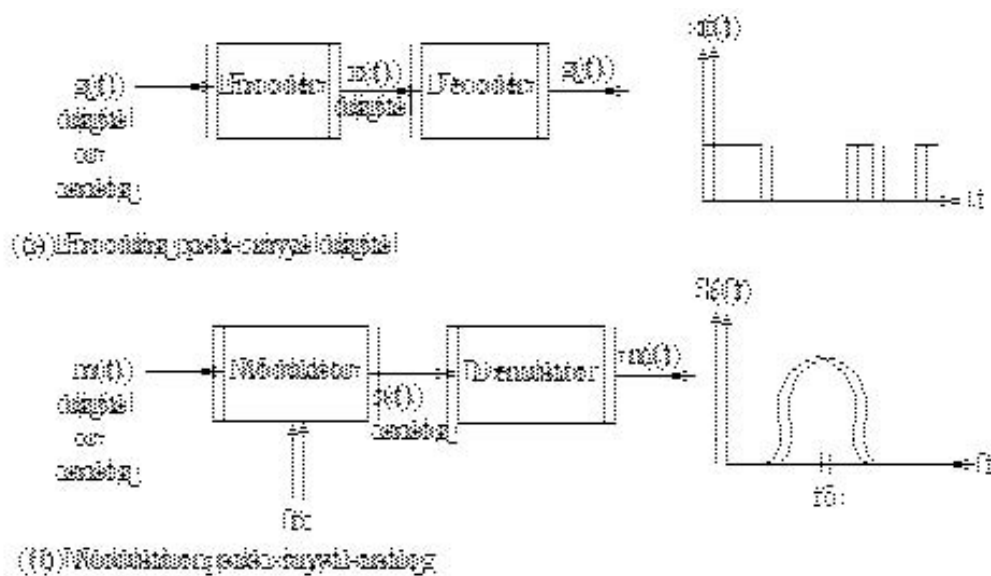


DATA ENCODING

Gambar 3.1 menunjukkan teknik encoding dan modulation.

Gambar 3.1a untuk pensinyalan digital, suatu sumber data $g(t)$ dapat berupa digital atau analog, yang di-encode menjadi suatu sinyal digital $x(t)$.

Gambar 3.1b untuk pensinyalan analog, input sinyal $m(t)$ dapat berupa analog atau digital dan disebut sinyal pemodulasi atau **sinyal baseband**, yang dimodulasi menjadi sinyal termodulasi $s(t)$. Dasarnya adalah modulasi **sinyal carrier** yang dipilih sesuai dengan medium transmisinya.



Gambar 3.1: Teknik encoding dan modulasi

Modulasi adalah proses encoding sumber data dalam suatu sinyal carrier dengan frekuensi f_c .

Empat kombinasi yang muncul dari komunikasi pada gambar 3.1 :

- data digital, sinyal digital
- data analog, sinyal digital
- data digital, sinyal analog
- data analog, sinyal analog.

3.1 DATA DIGITAL, SINYAL DIGITAL

Elemen sinyal adalah tiap pulsa dari sinyal digital. Data binary ditransmisikan dengan meng-encode -kan tiap bit data menjadi elemen-elemen sinyal.

Sinyal **unipolar** adalah semua elemen sinyal yang mempunyai tanda yang sama, yaitu positif semua atau negatif semua.

Sinyal **polar** adalah elemen-elemen sinyal dimana salah satu logic statenya diwakili oleh level tegangan positif dan yang lainnya oleh level tegangan negatif.

Durasi atau lebar suatu bit adalah waktu yang diperlukan oleh transmitter untuk memancarkan bit tersebut.

Modulation rate adalah kecepatan dimana level sinyal berubah, dinyatakan dalam **bauds** atau elemen sinyal per detik.

Istilah **mark** dan **space** menyatakan digit binary '1' dan '0'.

Tugas-tugas receiver dalam mengartikan sinyal-sinyal digital :

- ✚ receiver harus mengetahui timing dari tiap bit
- ✚ receiver harus menentukan apakah level sinyal dalam posisi bit high(1) atau low(0)

Tugas-tugas ini dilaksanakan dengan men-sampling tiap posisi bit pada tengah-tengah interval dan membandingkan nilainya dengan threshold.

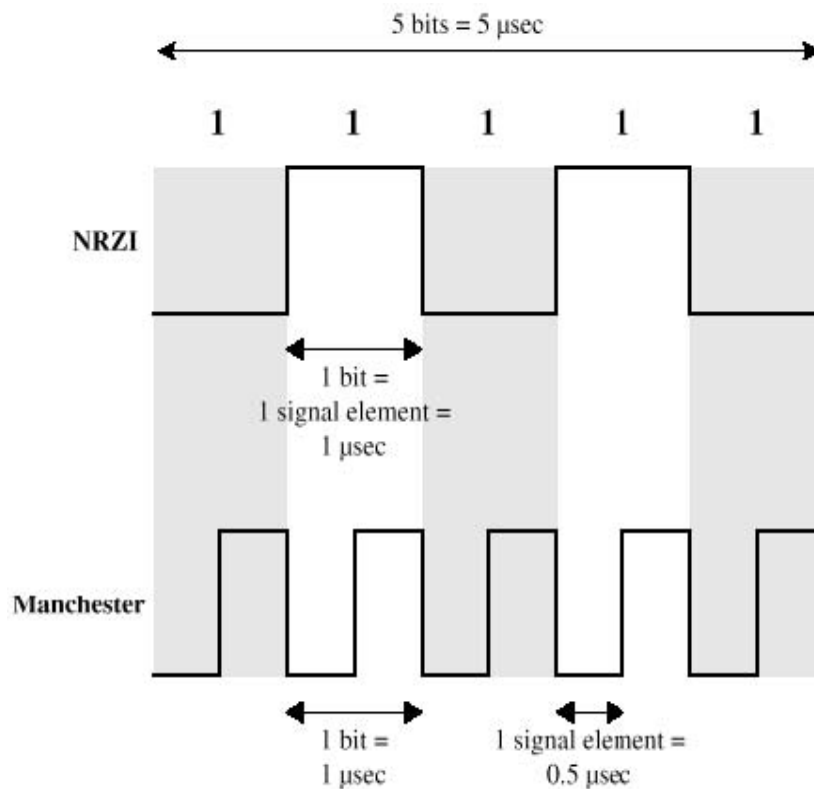
Faktor yang menentukan sukses dari receiver dalam mengartikan sinyal yang datang :

- ✚ **Data rate** (kecepatan data) : peningkatan data rate akan meningkatkan bit error rate (kecepatan error dari bit).
- ✚ **S/N** : peningkatan S/N akan menurunkan bit error rate.
- ✚ **Bandwidth** : peningkatan bandwidth dapat meningkatkan data rate.

Lima faktor yang perlu dinilai atau dibandingkan dari berbagai teknik komunikasi :

- ✚ **Spektrum sinyal** : disain sinyal yang bagus harus mengkonsentrasikan kekuatan transmisinya pada daerah tengah dari bandwidth transmisi; untuk mengatasi distorsi dalam penerimaan sinyal digunakan disain kode yang sesuai dengan bentuk dari spektrum sinyal transmisi.
- ✚ **Clocking** : menentukan awal dan akhir dari tiap posisi bit dengan mekanisme synchronisasi yang berdasarkan pada sinyal transmisi.
- ✚ **Deteksi error** : dibentuk dalam skema fisik encoding sinyal.
- ✚ **Interferensi sinyal dan Kekebalan terhadap noise**
- ✚ **Biaya dan kesulitan** : semakin tinggi kecepatan pensinyalan untuk memenuhi data rate yang ada, semakin besar biayanya.

Kita sekarang akan membahas beberapa teknik tersebut.



Gambar 3.2. Format Encoding Sinyal Digital

NONRETURN TO ZERO (NRZ)

Nonreturn-to-Zero-Level (NRZ-L) yaitu suatu kode dimana tegangan negatif dipakai untuk mewakili suatu binary dan tegangan positif dipakai untuk mewakili binary lainnya.

Nonreturn to Zero Inverted (NRZI) ya itu suatu kode dimana suatu transisi (low ke high atau high ke low) pada awal suatu bit time akan dikenal sebagai binary '1' untuk bit time tersebut; tidak ada transisi berarti binary '0'. Sehingga NRZI merupakan salah satu contoh dari differensial encoding.

Keuntungan differensial encoding : lebih kebal noise, tidak dipengaruhi oleh level tegangan.

Kelemahan dari NRZ-L maupun NRZI : keterbatasan dalam komponen dc dan kemampuan synchronisasi yang buruk

MULTILEVEL BINARY

Kode ini menggunakan lebih dari 2 level sinyal (contohnya : pada gambar 3.2, bipolar-AMI dan pseudoternary).

Bipolar-AMI yaitu suatu kode dimana binary '0' diwakili dengan tidak adanya line sinyal dan binary '1' diwakili oleh suatu pulsa positif atau negatif.

Pseudoternary yaitu suatu kode dimana binary '1' diwakili oleh ketiadaan line sinyal dan binary '0' oleh pergantian pulsa-pulsa positif dan negatif.

Keunggulan multilevel binary terhadap NRZ : kemampuan synchronisasi yang baik, tidak menangkap komponen dc dan pemakaian bandwidth yang lebih kecil, dapat menampung bit informasi yang lebih.

Kekurangannya dibanding NRZ : diperlukan receiver yang mampu membedakan 3 level (+A, -A, 0) sehingga membutuhkan lebih dari 3 db kekuatan sinyal dibandingkan NRZ untuk probabilitas bit error yang sama.

BIPHASE

Dua tekniknya yaitu : *manchester* dan *differential manchester*.

Manchester yaitu suatu kode dimana ada suatu transisi pada setengah dari periode tiap bit : transisi low ke high mewakili '1' dan high ke low mewakili '0'.

Differential manchester yaitu suatu kode dimana binary '0' diwakili oleh adanya transisi di awal periode suatu bit dan binary '1' diwakili oleh ketiadaan transisi di awal periode suatu bit.

Keuntungan rancangan biphasse :

- ✚ Synchronisasi : karena adanya transisi selama tiap bit time, receiver dapat men-synchron-kan pada transis tersebut atau dikenal sebagai self clocking codes.
- ✚ Tidak ada komponen dc.
- ✚ Deteksi terhadap error : ketiadaan dari transisi yang diharapkan, dapat dipakai untuk mendeteksi error.

Kekurangannya : memakai bandwidth yang lebih lebar dari pada multilevel binary.

MODULATION RATE (KECEPATAN MODULASI)

$$\text{Data rate} = \frac{1}{\text{durasi bit (tB)}}$$

Modulation rate adalah kecepatan dimana elemen-elemen sinyal terbentuk. Contoh : untuk kode manchester, maksimum modulation rate = $2 / t_B$.

Salah satu cara menyatakan modulation rate yaitu dengan menentukan rata-rata jumlah transisi yang terjadi per bit time.

TEKNIK SCRAMBLING

Teknik biphasic memerlukan kecepatan pensinyalan yang tinggi relatif terhadap data rate sehingga lebih mahal pada aplikasi jarak jauh sehingga digunakan **teknik scrambling** dimana serangkaian level tegangan yang tetap pada line digantikan dengan serangkaian pengisi yang akan melengkapi transisi yang cukup untuk clock receiver mempertahankan synchronisasi.

Hasil dari disain ini :

- ✚ tidak ada komponen dc
- ✚ tidak ada serangkaian sinyal level nol yang panjang
- ✚ tidak terjadi reduksi pada data rate
- ✚ kemampuan deteksi error.

Bipolar with 8-Zeros Substitution (B8ZS) yaitu suatu kode dimana :

- ✚ jika terjadi oktaf dari semua nol dan pulsa tegangan terakhir yang mendahului oktaf ini adalah positif, maka 8 nol dari oktaf tersebut di-encode sebagai 000+ -0- +
- ✚ jika terjadi oktaf dari semua nol dan pulsa tegangan terakhir yang mendahului oktaf ini adalah negatif, maka 8 nol dari oktaf tersebut di-encode sebagai 000- +0+ -.

High-density bipolar-3 zeros (HDB3) yaitu suatu kode dimana menggantikan string-string dari 4 nol dengan rangkaian yang mengandung satu atau dua pulsa atau disebut kode violation, jika violation terakhir positive maka violation ini pasti negative dan sebaliknya (lihat tabel 3.3).

Tabel 3.3. Aturan substitusi HDB3

Polaritas dari Pulsa akhir	Jumlah dari pulsa-pulsa bipolar karena substitusi terakhir	
	Genap	Ganjil
-	000-	+00+
+	000+	-00

Kedua kode ini berdasarkan pada penggunaan AMI encoding dan cocok untuk transmisi dengan data rate tinggi.

3.2 DATA DIGITAL, SINYAL ANALOG

Transmisi data digital dengan menggunakan sinyal analog. Contoh umum yaitu public telephone network. Device yang dipakai yaitu *modem* (modulator-demodulator) yang mengubah data digital ke sinyal analog (modulator) dan sebaliknya mengubah sinyal analog menjadi data digital (demodulator).

TEKNIK-TEKNIK ENCODING

Tiga teknik dasar encoding atau modulasi untuk mengubah data digital menjadi sinyal analog :

- Amplitude -shift keying (ASK),
dua binary diwakilkan dengan dua amplitudo frekuensi carrier (pembawa) yang berbeda atau dinyatakan sebagai :

$$s(t) = \begin{cases} A \cos (2\pi f_c t + \theta_c) & \text{binary 1} \rightarrow \text{sinyal carrier} \\ 0 & \text{binary 0} \end{cases}$$

data rate hanya sampai 1200 bps pada voice-grade line; dipakai untuk transmisi melalui fiber optik.

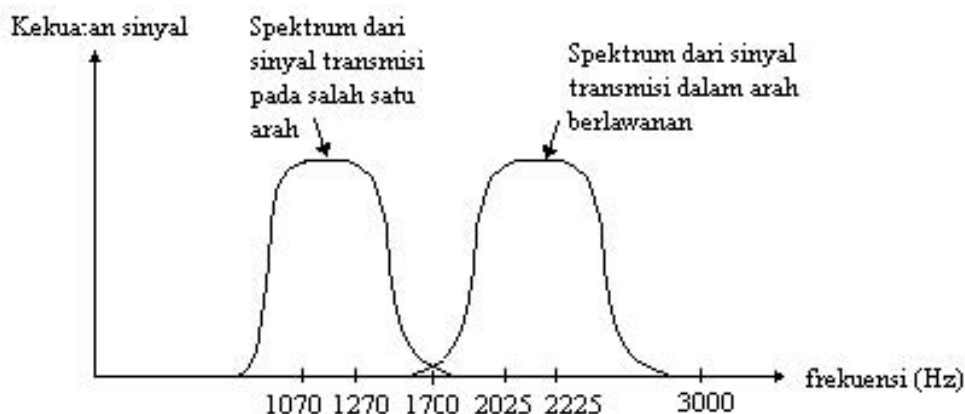
- Frequency-shift keying (FSK),
dua binary diwakilkan dengan dua frekuensi berbeda yang dekat dengan frekuensi carrier atau dinyatakan sebagai :

$$s(t) = \begin{cases} A \cos (2\pi f_1 t + \theta_c) & \text{binary 1} \\ A \cos (2\pi f_2 t + \theta_c) & \text{binary 0} \end{cases}$$

lihat gambar 3.7 dimana terdapat dua frekuensi center untuk komunikasi full-duplex; pada salah satu arah (dapat transmisi atau menerima) , frekuensi centernya (f1) = 1170 Hz dengan lebar 100 Hz pada setiap sisinya (bandwidth = 200 Hz) sedangkan arah lainnya, frekuensi centernya (f2) = 2125 Hz dengan

lebar 100 Hz pada setiap sisinya (bandwidth = 200 Hz); sulit untuk terkena noise dibandingkan n ASK;

data rate dapat mencapai 1200 bps pada voice-grade line; dipakai untuk transmisi radio frekuensi tinggi dan juga local network dengan frekuensi tinggi yang memakai kabel koaksial.



Gambar 3.7. Transmisi FSK full-duplex pada line voice-grade

- Phase -shift keying (PSK),
binary 0 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fase yang sama terhadap sinyal yang dikirim sebelumnya dan binary 1 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fase berlawanan terhadap sinyal yang dikirim sebelumnya, atau dapat dinyatakan sebagai :

$$s(t) = \begin{cases} A \cos (2\pi f_c t + \pi) & \text{binary 1} \\ A \cos (2\pi f_c t) & \text{binary 0} \end{cases}$$

bila elemen pensinyalan mewakili lebih dari satu bit, maka bandwidth yang dipakai lebih efisien, sebagai contoh *quadrature phase-shift keying* (QPSK) memakai beda fase setiap 90 .

$$s(t) = \begin{cases} A \cos (2\pi f_c t + 45^\circ) & \text{binary 11} \\ A \cos (2\pi f_c t + 135^\circ) & \text{binary 10} \\ A \cos (2\pi f_c t + 225^\circ) & \text{binary 01} \\ A \cos (2\pi f_c t + 315^\circ) & \text{binary 00} \end{cases}$$

sehingga tiap elemen sinyal mewakili 2 bit; jadi terdapat 12 sudut fase yang memakai modem standart 9600 bps.

Hubungan data rate (dalam bps) dan modulation rate (dalam bauds) :

$$D = R/l = R/ \log_2 L$$

dimana : D = modulation rate, bauds
R = data rate, bps
L = jumlah elemen sinyal yang berbeda
l = jumlah bit per elemen sinyal.

KINERJA

Bandwidth untuk ASK dan PSK :

$$BT = (1 + r) R$$

Dimana: R = bit rate
r = berhubungan dengan teknik dimana sinyal difilter untuk mencapai suatu bandwidth bagi transmisi ($0 < r < 1$).

Bandwidth untuk FSK :

$$BT = 2 F + (1 + r) R$$

dimana : F = $f_2 - f_c = f_c - f_1$ = beda frekuensi modulasi dari frekuensi carrier.

Dengan pensinyalan multilevel, bandwidth yang dapat dicapai :

$$BT = (1 + r) R/l = (1 + r) R/ \log_2 L$$

Diketahui bahwa : $E_b/N_0 = S / N_0R$
dimana : N_0 = noise power density (watts/Hz).

Bila noise dalam suatu sinyal dengan bandwidth BT adalah :

$$N = N_o BT$$

maka : $E_b/N_o = (S/N) (B/R)$

Bit error dapat dikurangi dengan meningkatkan E_b/N_o atau dengan kata lain, yaitu dengan mengurangi efisiensi bandwidth.

ASK DAN FSK mempunyai efisiensi bandwidth yang sama, PSK lebih baik lagi.

Pendekatan yang baik dari bandwidth untuk pensinyalan digital :

$$BT = 0,5 (1 + r) D$$

dimana : D = modulation rate.

Untuk NRZ, D = R maka :

$$R/B = 2 / (1 + r)$$

3.3 DATA ANALOG, SINYAL DIGITAL

Transformasi data analog ke sinyal digital, proses ini dikenal sebagai **digitalisasi**.

Tiga hal yang paling umum terjadi setelah proses digitalisasi :

1. Data digital dapat ditransmisi menggunakan NRZ-L.
2. Data digital dapat di-encode sebagai sinyal digital memakai kode selain NRZ-L. Dengan demikian, diperlukan step tambahan.
3. Data digital dapat diubah menjadi sinyal analog, menggunakan salah satu teknik modulasi dalam section 3.2.

Codec (coder-decoder) adalah device yang digunakan untuk mengubah data analog menjadi bentuk digital untuk transmisi, dan kemudian mendapatkan kembali data analog asal dari data digital tersebut.

Dua teknik yang digunakan dalam codec :

- ✚ pulse code modulation
- ✚ delta code modulation.

PULSE CODE MODULATION (PCM)

Dari teori sampling diketahui bahwa frekuensi sampling (f_s) harus lebih besar atau sama dengan dua kali frekuensi tertinggi dari sinyal (f_H), atau :

$$f_s \geq 2 f_H$$

Sinyal asal dianggap mempunyai bandwidth B maka kecepatan pengambilan sampel yaitu $2B$ atau $1/2B$ detik. Sampel-sampel ini diwakilkan sebagai pulsa-pulsa pendek yang amplitudanya proporsional terhadap nilai dari sinyal asal. Proses ini dikenal sebagai *pulse amplitude modulation* (PAM).

Kemudian amplitudo tiap pulsa PAM dihipotesiskan dengan n -bit integer. Dalam contoh ini, $n=3$. Dengan demikian $8 = 2^3$ level yang mungkin untuk pendekatan pulsa-pulsa PAM. Sehingga dihasilkan data PCM.

Sedangkan pada receiver, prosesnya merupakan kebalikan dari proses diatas untuk memperoleh data analog.

Masalah yang timbul yaitu nilai amplitudo terendah relatif lebih terkena noise karena level quantization tidak sama jaraknya.

Solusinya :

- ✚ Teknik PCM diperhalus dengan teknik nonlinear encoding, dimana teknik ini menggunakan jumlah step quantization yang lebih banyak untuk sinyal dengan amplitudo kecil, dan jumlah step *quantization* yang lebih sedikit untuk sinyal dengan amplitudo besar.
- ✚ *Companding* (compressing (peng-kompres-an)-*expanding* (pemekaran) adalah suatu proses yang memampatkan intensitas range suatu sinyal dengan memberi gain yang lebih kepada sinyal yang lemah daripada kepada sinyal yang kuat pada input. Pada output, dilakukan operasi sebaliknya

DELTA MODULATION (DM)

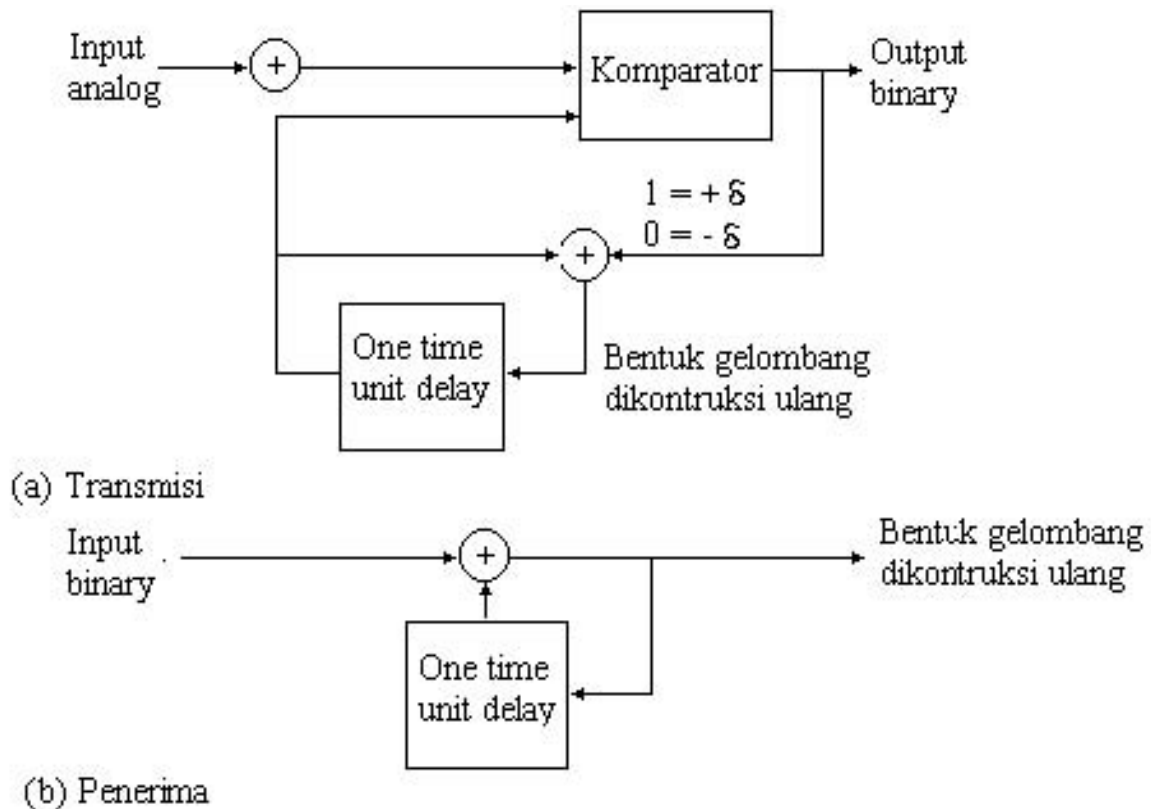
Proses dimana suatu input analog didekati dengan suatu fungsi tangga yang bergerak naik atau turun dengan satu level quantization (d) pada tiap interval sampling (TS), dan outputnya diwakilkan sebagai suatu bit binary tunggal untuk tiap sampel ('1' dihasilkan bila fungsi tangganya naik selama interval berikutnya; '0' dihasilkan untuk keadaan sebaliknya).

Gambar 3.16 menggambarkan proses logik-nya. Pada transmisi : pada tiap waktu sampling, input analog dibandingkan dengan nilai pendekatan pada fungsi tangga. Jika nilai gelombang yang disampel melewati fungsi tangga tersebut, dihasilkan binary '1'; jika sebaliknya maka dihasilkan binary '0'. Untuk penerimaan : membentuk kembali fungsi tangga tersebut secara halus dengan proses integrasi atau melewatkannya melalui LPF (low pass filter) untuk menghasilkan suatu pendekatan analog dari sinyal input analog.

Untuk akurasi yang baik, dengan meningkatkan kecepatan sampling. Bagaimanapun, hal ini meningkatkan data rate dari sinyal output.

Keuntungan DM terhadap PCM yaitu implementasinya yang sederhana.

Kekurangannya : PCM mempunyai karakteristik S/N yang lebih baik pada data rate yang sama.



Gambar 3.16. Delta Modulation

KINERJA

Reproduksi suara yang baik melalui PCM dapat dicapai dengan 128 level quatization atau peng-kode-an 7 bit ($2^7 = 128$). Suatu sinyal suara menempati bandwidth 4 KHz. Berdasarkan teori sampling maka kecepatan sampling = 8000 sampel per detik. Hal ini menghasilkan data rate $8000 \times 7 = 56$ Kbps untuk peng-kode-an data digital dengan PCM.

Alasan perkembangan teknik digital dalam transmisi data analog :

- ✚ karena penggunaan repeater daripada amplifier, maka tidak ada noise tambahan
- ✚ dengan TDM (dipakai untuk sinyal digital), tidak ada intermodulation noise
- ✚ konversi ke sinyal digital, memberikan efisiensi yang lebih pada teknik switching digital.

Penggunaan teknik PCM lebih disukai daripada teknik DM pada digitalisasi sinyal analog yang mewakili data digital.

3.4 DATA ANALOG, SINYAL ANALOG

Dua alasan dasar dari proses ini :

- + diperlukan frekuensi yang tinggi untuk transmisi yang efektif; untuk transmisi unguided (tidak dituntun), hal tersebut tidak mungkin untuk men-transmisi sinyal-sinyal baseband;
- + antena-antena yang diperlukan akan menjadi beberapa kilometer diameternya modulasi mendukung frequency-division multiplexing, suatu teknik yang penting yang akan dijelaskan dalam chapter 6.

Teknik modulasi memakai data analog :

- + Amplitude modulation (AM).
- + Frequency modulation (FM).
- + Phase modulation (PM).

AMPLITUDO MODULATION

Dikenal sebagai double sideband transmitter carrier (DSBTC). Secara matematik proses ini dinyatakan sebagai :

$$s(t) = [1 + n_a x(t)] \cos 2\pi f_c t$$

dimana : $\cos 2\pi f_c t$ = carrier

$x(t)$ = sinyal input (pembawa data)

n_a = **indeks modulasi** = rasion amplitudo dari sinyal input terhadap carrier.

Gambar 3.18 menunjukkan spektrum sinyal AM yang terdiri dari sinyal carrier ditambah spektrum dari sinyal input sehingga terdapat *lower sideband* ($f > f_c$) dan *upper sideband* ($f < f_c$).

Jenis AM :

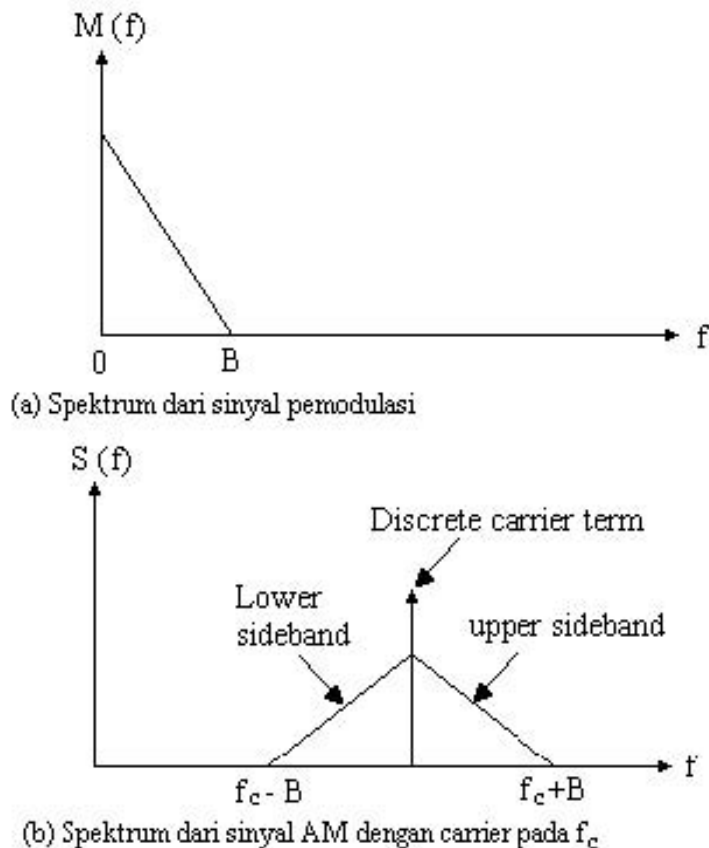
1. Yang populer yaitu *single sideband* (SSB) dimana pengiriman hanya satu sideband dan menghapus sideband lain dan carriernya.

Keuntungan :

- + hanya separuh dari bandwidth yang dibutuhkan
- + diperlukan power yang lebih kecil sebab tidak ada power yang dipakai untuk men-transmisi carrier pada sideband yang lain.

2. *Double sideband suppressed carrier* (DSBSC) dimana menyaring frekuensi carrier dan mengirimkan kedua sideband.

Keuntungan : menghemat power tetapi memakai bandwidth yang besarnya sama dengan DSBTC.



Gambar 3.18. Spektrum dari sebuah sinyal AM.

Kerugian dari kedua-duanya : menahan carrier, padahal carrier dapat dipakai untuk tujuan sinkronisasi.

Solusi : dengan *vestigial sideband* (VSB) dimana memakai satu sideband dan mengurangi power carrier.

ANGEL MODULATION

Yang termasuk jenis ini yaitu frequency modulation (FM) dan phase modulation (PM). Modulasi sinyalnya dinyatakan sebagai :

$$s(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + \phi(t)]$$

Untuk PM, phasena adalah proporsional terhadap sinyal modulasi :

$$\phi(t) = n_p m(t)$$

dimana : n_p = indeks PM.

Untuk FM, derivatif phasena adalah proporsional terhadap sinyal modulasi :

$$\phi(t) = n_{fm} m(t)$$

dimana : n_{fm} = indeks FM.

Perbedaannya dengan AM yaitu diperlukan bandwidth yang lebih besar untuk transmisi. Dengan aturan Carson :

$$B_T = 2 (\beta + 1) B$$

dimana :

$$\beta = \begin{cases} n_p A_m \text{ untuk PM} \\ \Delta F/B = (n_f A_m) / (2\pi B) \text{ untuk FM} \end{cases}$$

$$\Delta F = \text{peak deviasi} = [1 / (2\pi)] (n_f A_m) \text{ Hz}$$

Untuk FM, formula ini dapat dinyatakan sebagai :

$$B_T = 2 \Delta F + 2B$$

sedangkan untuk AM :

$$B_T = 2B.$$

Jadi terjadi perbedaan harga bandwidth sebesar $2\Delta F$.