

## Tugas rangkuman Komdat Chapter 5

by webmaster - Sunday, March 19, 2017

<http://suyatno.dosen.akademitelkom.ac.id/index.php/2017/03/19/tugas-rangkuman-komdat-chapter-5-2/>

Nama Kelompok :

1. Rukhi Ali Effendi (15160144)
2. Risnu Pradana (15160160)
3. Fernando (15160173)
4. Deden Rosadi (15160166)

### **BAB TEKNIK ENCODING SIGNAL**

5.1 Data Digital, Sinyal Digital

5.2 Data Digital, Sinyal Analog

5.3 data Analog, Sinyal Digital

5.4 data Analog, Sinyal Analog

5.5 Direkomendasikan Reading

5.6 Syarat Key, Ulasan Pertanyaan, Dan Permasalahannya

Dalam Bab 3 perbedaan dibuat antara data analog dan digital dan analog dan sinyal digital. Gambar 3.14 menunjukkan bahwa baik berupa data bisa dikodekan menjadi baik bentuk sinyal.

Gambar 5.1 adalah gambaran lain yang menekankan proses yang terlibat. Untuk digital signaling, sumber data  $g(t)$ , yang dapat berupa digital atau analog, adalah dikodekan menjadi sinyal digital  $x(t)$ . suatu bentuk sebenarnya dari  $x(t)$  tergantung pada pengkodean

teknik dan dipilih untuk mengoptimalkan penggunaan media transmisi. Sebagai contoh, pengkodean dapat dipilih untuk menghemat bandwidth atau untuk meminimalkan kesalahan. Dasar untuk sinyal analog adalah sinyal konstan frekuensi terus menerus dikenal sebagai sinyal pembawa. Frekuensi sinyal pembawa dipilih untuk menjadi kompatibel dengan media transmisi yang digunakan. Data dapat ditransmisikan menggunakan sinyal pembawa dengan modulasi. Modulasi adalah proses encoding

## 5.1 DIGITAL DATA, SINYAL DIGITAL

Tabel 5.2 Definisi Digital Signal Encoding Format

signal-to-noise ratio, data rate, dan bandwidth. Dengan faktor-faktor lain yang dimiliki konstan, pernyataan berikut ini benar:

- Peningkatan data rate akan meningkatkan bit error rate (BER) 0,1
- Peningkatan SNR menurun tingkat kesalahan bit.
- Peningkatan bandwidth memungkinkan peningkatan data rate.

Ada faktor lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja, dan itu adalah skema encoding. Skema encoding hanya pemetaan dari bit data untuk sinyal elemen. Berbagai pendekatan telah dicoba. Dalam apa yang berikut, kita menjelaskan beberapa yang lebih umum; mereka didefinisikan dalam Tabel 5.2 dan digambarkan pada Gambar 5.2.

Sebelum menjelaskan teknik ini, mari kita perhatikan cara berikut mengevaluasi atau membandingkan berbagai teknik.

- spektrum Signal: Beberapa aspek dari spektrum sinyal penting. Kurangnya komponen frekuensi tinggi berarti bahwa bandwidth kurang diperlukan untuk transmisi. Selain itu, kurangnya komponen arus searah (dc) juga diinginkan. Dengan komponen dc ke sinyal, harus ada lampiran fisik langsung komponen transmisi. Dengan tidak ada komponen dc, kopling ac melalui transformator mungkin; ini memberikan isolasi listrik yang baik, mengurangi gangguan. Akhirnya, besarnya efek distorsi sinyal dan interferensi tergantung pada sifat spektral dari sinyal yang ditransmisikan. Dalam praktek, biasanya terjadi bahwa karakteristik transmisi saluran yang buruk dekat edges. Therefore Band, desain sinyal yang baik harus berkonsentrasi daya yang ditransmisikan di tengah bandwidth transmisi. Dalam seperti kasus, distorsi yang lebih kecil harus hadir dalam menerima signal. To memenuhi ini objektif, kode dapat dirancang dengan tujuan membentuk spektrum sinyal yang dikirimkan.
- Clocking: Kami disebutkan kebutuhan untuk menentukan awal dan akhir setiap bit jabatan yang bukanlah tugas yang mudah. Salah satu pendekatan yang agak mahal adalah untuk menyediakan memimpin clock yang terpisah untuk menyinkronkan pemancar dan receiver. alternatif adalah untuk menyediakan beberapa mekanisme sinkronisasi yang didasarkan pada menular sinyal. Hal ini dapat dicapai dengan encoding yang sesuai, seperti yang dijelaskan kemudian.
- Kesalahan deteksi: Kami akan membahas berbagai teknik error-detection pada Bab 6 dan menunjukkan bahwa ini adalah tanggung jawab lapisan logika di atas signaling tingkat yang dikenal sebagai kontrol data link. Namun, hal ini berguna untuk memiliki beberapa kesalahan kemampuan deteksi dibangun ke izin signaling encoding fisik scheme. This kesalahan terdeteksi lebih cepat.
- Interferensi sinyal dan kekebalan terhadap noise: Kode tertentu menunjukkan kinerja yang unggul di

hadapan kebisingan. Kinerja biasanya dinyatakan dalam hal BER.

· Biaya dan kompleksitas: Meskipun logika digital terus penurunan harga, faktor ini tidak boleh diabaikan. Secara khusus, semakin tinggi tingkat sinyal untuk mencapai data rate yang diberikan, semakin besar cost. Kita akan melihat bahwa beberapa kode memerlukan sinyal tingkat yang lebih besar dari data rate yang sebenarnya.

Kita sekarang beralih ke diskusi tentang berbagai teknik.

### **Nonreturn to Zero (NRZ)**

Yang paling umum, dan paling mudah, cara untuk mengirimkan sinyal digital adalah dengan menggunakan dua yang berbeda level tegangan untuk dua digit biner. Kode yang mengikuti strategi ini berbagi properti bahwa tingkat tegangan konstan selama interval bit; tidak ada transisi (Tidak kembali ke tingkat tegangan nol). Misalnya, tidak adanya tegangan dapat digunakan untuk mewakili biner 0, dengan tegangan positif konstan digunakan untuk mewakili biner 1. Lebih umum, tegangan negatif mewakili satu nilai biner dan tegangan positif mewakili yang lain. Kode yang terakhir ini, dikenal sebagai nonreturn to Zero-Level

(NRZ-L), adalah *illustrated* pada Gambar 5.2. NRZ-L biasanya kode yang digunakan untuk menghasilkan atau menafsirkan data digital oleh terminal dan perangkat lainnya. Jika kode yang berbeda adalah untuk menjadi digunakan untuk transmisi, itu dihasilkan dari sinyal NRZ-L dengan sistem transmisi [Dalam hal Gambar 5.1, NRZ-L adalah  $g(t)$  dan sinyal dikodekan adalah  $x(t)$ ].

Sebuah variasi dari NRZ dikenal sebagai NRZI (nonreturn ke Nol, membalikkan pada yang). Seperti NRZ-L, NRZI mempertahankan pulsa tegangan konstan untuk durasi sedikit waktu. Data diri dikodekan sebagai ada atau tidak adanya transisi sinyal pada awal waktu bit. Transisi (rendah ke tinggi atau tinggi ke rendah) di mulai dari waktu sedikit merupakan biner 1 untuk waktu sedikit; tidak ada transisi menunjukkan biner 0.

NRZI adalah contoh encoding diferensial. Dalam pengkodean diferensial, Informasi yang akan dikirim diwakili dalam hal perubahan antara berturut-turut elemen sinyal daripada elemen sinyal itu sendiri. Pengkodean bit

saat ini ditentukan sebagai berikut: Jika bit saat ini adalah biner 0, maka bit saat ini dikodekan dengan sinyal yang sama dengan bit sebelumnya; jika bit saat ini biner 1, maka bit saat dikodekan dengan sinyal yang berbeda dari sebelumnya sedikit. Salah satu manfaat dari pengkodean diferensial adalah bahwa hal itu mungkin lebih dapat diandalkan untuk mendeteksi transisi di hadapan kebisingan dari untuk membandingkan nilai untuk ambang. Manfaat lain adalah bahwa dengan layout transmisi yang rumit, mudah untuk kehilangan rasa polaritas sinyal. Sebagai contoh, pada baris twisted-pair multidrop, jika lead dari perangkat yang melekat pada twisted pair yang sengaja terbalik, semua 1 dan 0 untuk NRZ-L akan terbalik. Ini tidak terjadi dengan diferensial encoding.

Kode NRZ yang paling mudah untuk insinyur dan, di samping itu, memanfaatkan efisien bandwidth. Properti yang terakhir ini diilustrasikan dalam Gambar 5.3, yang membandingkan kepadatan spektral berbagai skema encoding. Dalam gambar, frekuensi dinormalkan untuk data rate. Sebagian besar energi dalam sinyal NRZ dan NRZI adalah antara dc dan setengah bit rate. Misalnya, jika kode NRZ digunakan untuk menghasilkan sinyal dengan data tingkat 9600 bps, sebagian besar energi dalam sinyal terkonsentrasi antara dc dan 4800 Hz.

Keterbatasan utama sinyal NRZ adalah adanya komponen dc dan kurangnya kemampuan sinkronisasi. Membayangkan masalah yang terakhir, menganggap bahwa dengan string panjang 1s atau 0s untuk NRZ-L atau string panjang 0s untuk NRZI, output adalah tegangan konstan selama jangka waktu yang panjang. Dalam keadaan ini, setiap pergeseran antara jam dari pemancar dan penerima akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi antara keduanya. Karena kesederhanaan mereka dan karakteristik respon frekuensi yang relatif rendah, Kode NRZ biasanya digunakan untuk perekaman magnetik digital. Namun, mereka keterbatasan membuat kode ini tidak menarik untuk aplikasi transmisi sinyal.

### **Multilevel Binary**

Sebuah kategori teknik pengkodean dikenal sebagai biner multilevel alamat beberapa kekurangan dari kode NRZ codes. These menggunakan lebih dari dua sinyal levels. Dua contoh skema ini diilustrasikan dalam Gambar 5.2, bipolar-AMI (mark alternatif inversi) dan pseudoternary.<sup>3</sup>

Dalam kasus skema bipolar-AMI, biner 0 diwakili oleh ada garis sinyal, dan binary 1 diwakili oleh pulsa positif atau negatif. Biner 1 pulsa harus bergantian dalam polaritas. Ada beberapa keuntungan untuk pendekatan ini. Pertama, tidak akan ada kehilangan sinkronisasi jika panjang tali ls terjadi. setiap 1 memperkenalkan transisi, dan penerima dapat mensinkronisasi pada transisi itu. SEBUAH string panjang 0s masih akan menjadi masalah. Kedua, karena 1 sinyal alternatif di Komentar dari ayat sebelumnya juga berlaku untuk pseudoternary. Didalam kasus, itu adalah biner 1 yang diwakili oleh tidak adanya sinyal garis, dan biner 0 dengan bergantian pulsa positif dan negatif. Tidak ada keuntungan tertentu dari salah satu teknik versus lain, dan masing-masing adalah dasar dari beberapa aplikasi.

Meskipun tingkat sinkronisasi disediakan dengan kode ini, panjang string 0s dalam kasus AMI atau 1s dalam kasus pseudoternary masih menyajikan masalah. Beberapa teknik telah digunakan untuk mengatasi kekurangan ini. Satu Pendekatan adalah untuk memasukkan bit tambahan yang memaksa transisi. Teknik ini digunakan dalam ISDN (jaringan digital layanan terpadu) untuk transmisi data rate yang relatif rendah. Tentu saja, pada tingkat data yang tinggi, skema ini mahal, karena itu menghasilkan suatu peningkatan tingkat sinyal transmisi sudah tinggi. Untuk mengatasi masalah ini di kecepatan data yang tinggi, suatu teknik yang melibatkan mengacak data yang digunakan. Kami memeriksa dua contoh dari teknik ini kemudian di bagian ini.

Dengan demikian, dengan modifikasi yang sesuai, skema biner multilevel mengatasi masalah kode NRZ. Tentu saja, karena dengan keputusan desain engineering, ada a tradeoff. With bertingkat kode biner, sinyal line dapat mengambil salah satu dari tiga tingkatan, tetapi masing-masing elemen sinyal, yang dapat mewakili bit informasi, dikenakan hanya satu bit informasi. Jadi biner multilevel tidak seefisien NRZ coding. Cara lain untuk menyatakan ini adalah bahwa penerima sinyal biner multilevel harus membedakan antara tiga tingkat, bukan hanya dua tingkat di format sinyal dibahas sebelumnya. Karena itu, sinyal biner multilevel membutuhkan sekitar 3 dB lebih banyak kekuatan sinyal dari sinyal dua-nilai untuk probabilitas yang sama dari bit kesalahan. Ini diilustrasikan pada Gambar 5.4. Dengan kata lain, bit tingkat kesalahan untuk kode NRZ, pada rasio signal-to-noise yang diberikan, secara signifikan kurang dari bahwa untuk biner multilevel. tegangan dari positif ke negatif, tidak ada komponen dc bersih. Juga, bandwidth sinyal yang dihasilkan

jauh lebih kecil dari bandwidth untuk NRZ (Gambar 5.3). Akhirnya, properti pergantian pulsa menyediakan cara sederhana deteksi kesalahan. Kesalahan terisolasi, apakah itu menghapus pulsa atau menambah pulsa, penyebab pelanggaran properti ini.

## **Biphase**

Ada satu set teknik coding, yang tergabung dalam biphase jangka, yang mengatasi keterbatasan kode NRZ. Dua dari teknik ini, Manchester dan diferensial Manchester, yang umum digunakan.

Dalam kode Manchester, ada transisi di tengah-tengah setiap periode bit.

The Transisi Midbit berfungsi sebagai mekanisme clocking dan juga sebagai data: rendah ke tinggi transisi merupakan 1, dan transisi tinggi ke rendah merupakan 0. Dalam diferensial Manchester, transisi Midbit hanya digunakan untuk memberikan clocking. The pengkodean 0 diwakili oleh kehadiran transisi pada awal periode bit, dan 1 diwakili oleh ketiadaan transisi di awal periode bit. Diferensial Manchester memiliki keuntungan tambahan dari menggunakan pengkodean diferensial.

Semua teknik biphase membutuhkan setidaknya satu transisi per bit time dan mungkin memiliki sebanyak dua transisi. Dengan demikian, tingkat modulasi maksimum adalah dua kali bahwa untuk NRZ; ini berarti bahwa bandwidth yang dibutuhkan sejalan lebih besar.

Di sisi lain, skema biphase memiliki beberapa keunggulan:

- Sinkronisasi: Karena ada transisi diprediksi selama setiap bit waktu, penerima dapat melakukan sinkronisasi pada transisi itu. Untuk alasan ini, Kode biphase dikenal sebagai kode self-clocking.

- Tidak ada komponen dc: Kode Biphase tidak memiliki komponen dc, menghasilkan manfaat dijelaskan sebelumnya.

- Kesalahan deteksi: Tidak adanya transisi yang diharapkan dapat digunakan untuk mendeteksi kesalahan. Kebisingan pada baris harus membalikkan kedua sinyal sebelum dan sesudah transisi diharapkan menyebabkan kesalahan terdeteksi.

Seperti dapat dilihat dari Gambar 5.3, bandwidth untuk kode biphase cukup sempit dan tidak mengandung komponen dc. Namun, lebih lebar dari bandwidth untuk yang bertingkat kode biner.

Kode Biphase teknik populer untuk transmisi data. Yang lebih umum Manchester kode telah ditentukan untuk 802,3 standar IEEE (Ethernet) untuk baseband kabel koaksial dan twisted-pair LAN bus. Differential Manchester telah ditentukan untuk IEEE 802.5 token ring LAN, menggunakan terlindung twisted pasangan. Modulasi.

### **Modulasi Tingkat**

Ketika teknik sinyal-encoding yang digunakan, perbedaan perlu dibuat antara data rate (dinyatakan dalam bit per detik) dan laju modulasi (dinyatakan dalam baud). Data rate, atau bit rate, adalah di mana duration. The tingkat modulasi adalah tingkat di mana elemen sinyal yang dihasilkan. Pertimbangkan, misalnya, Manchester encoding. Elemen sinyal ukuran minimum adalah pulsa dari satu-setengah durasi bit interval. Untuk string semua nol biner atau semua orang biner, aliran berkelanjutan pulsa tersebut dihasilkan. Oleh karena itu tingkat modulasi maksimum untuk Manchester adalah Situasi ini digambarkan dalam Gambar 5.5, yang menunjukkan transmisi dari aliran 1s biner pada tingkat data 1 Mbps menggunakan NRZI dan Manchester. Secara umum,

Tabel 5.3 Normalisasi Tingkat Transisi Sinyal dengan Berbagai Skema Pengkodean Sinyal Digital

Dimana :

D = Tingkat modulasi, Baud

R = Kecepatan data, bps

M = jumlah elemen sinyal yang berbeda

L = Jumlah bit per elemen sinyal

Salah satu karakteristik tingkat modulasi adalah untuk menentukan rata-rata jumlah transisi yang terjadi per satuan waktu. Secara umum, ini akan tergantung pada urutan yang tepat dari bit yang ditransmisikan. Tabel 5.3 membandingkan tingkat transisi untuk berbagai teknik. Hal ini menunjukkan tingkat transisi sinyal dalam kasus aliran data bergantian 1 dan 0, dan untuk aliran data yang menghasilkan tingkat modulasi minimum dan maksimum.

### **Teknik teknik Scrambling**

Meskipun teknik biphase telah digunakan secara luas dalam aplikasi jaringan area lokal pada kecepatan data yang relatif tinggi (hingga 10 Mbps), mereka belumlah banyak digunakan dalam aplikasi jarak jauh. Alasan utama untuk ini adalah bahwa mereka membutuhkan tingkat sinyal tinggi relatif terhadap semacam kecepatan data. Cara untuk mengaplikasikan dalam jarak jauh adalah sebagai berikut: Urutan yang akan menghasilkan tegangan konstan tingkat di telepon diganti dengan mengisi urutan yang akan memberikan transisi yang cukup untuk jam penerima untuk mempertahankan sinkronisasi. Mengisi urutan harus diikuti oleh receiver dan diganti dengan urutan data asli. Urutan mengisi adalah panjang yang sama dengan urutan asli, sehingga tidak ada data rate penalti. Tujuan desain untuk pendekatan ini dapat diringkas sebagai berikut:

- Tidak ada komponen DC
- Tidak ada penurunan data rate
- Kemampuan deteksi error

B = Sinyal Bipolar yang valid

V = Violation Bipolar

Gambar 5.6 Peraturan pengkodean B8ZS dan HDB3

Dua teknik yang umum digunakan dalam layanan transmisi jarak jauh;

ini diilustrasikan dalam Gambar 5.6.



Sebuah skema pengkodean yang umum digunakan di Amerika Utara dikenal sebagai bipolar dengan 8-nol substitusi (B8ZS). Skema coding didasarkan pada bipolar-AMI. We

telah melihat bahwa kelemahan dari kode AMI adalah bahwa string panjang nol mungkin

mengakibatkan hilangnya sinkronisasi. Untuk mengatasi masalah ini, pengkodean adalah

diubah dengan aturan berikut:

- Jika octet dari semua nol terjadi dan tegangan pulsa terakhir sebelum oktet ini

itu positif, maka delapan angka nol dari oktet yang dikodekan sebagai 000+-0-+

- Jika octet dari semua nol terjadi dan tegangan pulsa terakhir sebelum oktet ini

itu negatif, maka delapan angka nol dari oktet yang dikodekan sebagai 000-+0+-

Ini pasukan teknik dua pelanggaran kode (pola sinyal tidak diperbolehkan di AMI) dari kode AMI, sesuatu tidak mungkin disebabkan oleh kebisingan atau transmisi lainnya penurunan nilai. Penerima mengenali pola dan menafsirkan oktet sebagai terdiri dari semua nol. Sebuah skema pengkodean yang umum digunakan di Eropa dan Jepang dikenal sebagai high-density bipolar-3 angka nol (HDB3) kode (Tabel 5.4). Seperti sebelumnya, itu didasarkan pada penggunaan AMI encoding. Dalam hal ini, skema menggantikan string dari empat nol dengan urutan mengandung satu atau dua pulsa. Dalam setiap kasus, nol keempat diganti dengan pelanggaran kode. Selain itu, aturan diperlukan untuk memastikan bahwa violation berturut-turut adalah dari polaritas alternatif sehingga tidak ada komponen dc adalah introduced. Thus, jika violation yang terakhir itu positif, violation ini harus negatif dan sebaliknya.

tabel 5.4 menunjukkan bahwa kondisi ini diuji untuk dengan menentukan (1) apakah jumlah pulsa sejak pelanggaran terakhir adalah genap atau ganjil dan (2) polaritas pulsa terakhir sebelum terjadinya empat angka nol.

Gambar 5.3 menunjukkan sifat-sifat spektral dari dua kode tersebut. Seperti yang terlihat, tidak memiliki komponen DC. Sebagian besar energi terkonsentrasi dalam waktu yang relatif tajam spektrum sekitar frekuensi sama dengan satu-setengah data rate. Dengan demikian, kode ini juga cocok untuk transmisi data kecepatan tinggi.

## **5.2 DATA DIGITAL, SINYAL ANALOG**

Sekarang kita kembali pada kasus transmisi data digital menggunakan sinyal analog, transformasi ini untuk transmisi data digital melalui jaringan telepon publik. Jaringan telepon dirancang untuk menerima, switch, dan mengirimkan sinyal analog dalam rentang suara-frekuensi sekitar 300-3400 Hz. Ini tidak saat ini cocok untuk menangani sinyal digital dari lokasi pelanggan (Meskipun ini mulai berubah). Dengan demikian perangkat digital yang terpasang ke jaringan melalui modem (modulator-demodulator), yang mengubah data digital ke sinyal analog, dan sebaliknya. Untuk jaringan telepon, modem digunakan bahwa sinyal hasil di rentang suara frekuensi. teknik dasar yang sama digunakan untuk modem yang menghasilkan sinyal pada frekuensi yang lebih tinggi (misalnya, microwave). Modulasi melibatkan

operasi pada satu atau lebih dari tiga karakteristik dari sinyal pembawa: amplitudo, frekuensi, dan fase. Dengan demikian, ada tiga dasar encoding atau modulasi teknik untuk mengubah data digital menjadi sinyal analog, seperti digambarkan pada Gambar 5.7: amplitudo shift keying (ASK), pergeseran frekuensi keying (FSK), dan pergeseran fasa keying (PSK). Dalam semua ini kasus, sinyal yang dihasilkan menempati bandwidth berpusat pada frekuensi pembawa.

### **Kunci Pergeseran Amplitudo**

Di ASK, dua nilai biner diwakili oleh dua amplitudo berbeda dari frekuensi pembawa. Umumnya, salah satu amplitudo adalah nol; yaitu, satu digit biner diwakili oleh kehadiran, di amplitudo konstan, dari carrier, yang lain oleh tidak adanya pembawa (Gambar 5.7a). suatu sinyal yang dikirimkan dihasilkan untuk satu kali bit adalah di mana sinyal pembawa ASK rentan terhadap perubahan gain tiba-tiba dan merupakan teknik modulasi yang agak tidak efisien. Pada jalur suara-grade, itu biasanya digunakan hanya sampai 1200 bps.

#### **Gambar 5.7 Modulasi dari Sinyal Analog ke Data Digital**

ASK teknik digunakan untuk mengirimkan data digital melalui serat optik. untuk LED (Light-emitting diode) pemancar, Persamaan (5.2) berlaku. Artinya, satu elemen sinyal diwakili oleh pulsa cahaya sedangkan elemen sinyal lainnya diwakili oleh tidak adanya cahaya. pemancar Laser biasanya memiliki tetap "Bias" saat itu menyebabkan perangkat untuk memancarkan tingkat cahaya rendah. tingkat rendah ini merupakan salah satu elemen sinyal, sementara Lightwave tinggi-amplitudo merupakan elemen sinyal lain.

### **Kunci Pergeseran Frekuensi**

Bentuk yang paling umum dari FSK biner FSK (BFSK), di mana dua nilai biner diwakili oleh dua frekuensi yang berbeda dekat frekuensi pembawa (Gambar 5.7b). sinyal yang dikirimkan yang dihasilkan untuk satu kali bit adalah

di mana dan biasanya offset dari frekuensi pembawa dengan jumlah yang sama tetapi berlawanan.

#### **Gambar 5.8 Transmisi Full-Duplex FSK pada sinyal suara**

Gambar 5.8 menunjukkan contoh penggunaan BFSK untuk operasi full-duplex lebih saluran suara-grade. Angka ini adalah spesifikasi untuk seri Bell Sistem 108 modem. Ingat bahwa garis suara-grade akan melewati frekuensi di perkiraan berkisar 300-3400 Hz dan yang full duplex berarti bahwa sinyal tersebut dikirimkan dalam kedua arah pada saat yang sama. Untuk mencapai full-duplex transmisi, bandwidth ini membagi. Dalam satu arah (mengirim atau menerima), frekuensi yang digunakan untuk mewakili 1 dan 0 berpusat pada 1170 Hz, dengan pergeseran dari 100 Hz di kedua sisi. Pengaruh bergantian antara dua frekuensi adalah untuk menghasilkan sinyal yang spektrum diindikasikan sebagai daerah yang diarsir di sebelah kiri pada Gambar 5.8. Demikian pula, untuk arah lain (Menerima atau mengirimkan) modem menggunakan frekuensi bergeser 100 Hz untuk setiap sisi dari pusat frekuensi 2125 Hz. Sinyal ini ditunjukkan oleh daerah yang diarsir di sebelah kanan pada Gambar 5.8. Perhatikan bahwa ada sedikit tumpang tindih dan interferensi sehingga sedikit.

BFSK kurang rentan terhadap kesalahan daripada ASK. Pada jalur suara-grade, itu biasanya digunakan hingga 1200 bps. Hal ini juga sering digunakan untuk frekuensi tinggi (3 sampai 30 MHz) transmisi radio. Hal ini juga dapat digunakan pada frekuensi yang lebih tinggi di daerah setempat jaringan yang menggunakan kabel koaksial.

Sebuah sinyal yang lebih banyak bandwidth efisien, tetapi juga lebih rentan terhadap kesalahan, adalah beberapa FSK (MFSK), di mana lebih dari dua frekuensi yang digunakan. Pada kasus ini setiap elemen sinyal mewakili lebih dari satu bit. Sinyal MFSK ditransmisikan untuk satu sinyal waktu elemen dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{MFSK } S_i(t) = A \cos 2\pi f_i t, \quad 1 < i < M$$

Dimana

$$F_i = f_c + (2i - 1 - M)f_d$$

$F_c$  = frekuensi pembawa

$F_d$  = Perbedaan frekuensi

$M$  = Jumlah perbedaan elemen sinyal

$L$  = Jumlah bit per elemen sinyal

Untuk mencocokkan data rate dari input stream bit, setiap elemen sinyal output diadakan untuk jangka waktu detik, di mana  $T$  adalah periode bit (data). Dengan demikian, salah satu elemen sinyal, yang merupakan nada konstan frekuensi, mengkodekan  $L$  bit. Total bandwidth yang dibutuhkan adalah Hal ini dapat menunjukkan bahwa pemisahan frekuensi minimum yang diperlukan adalah Oleh karena itu, modulator membutuhkan bandwidth  $W_d = 2Mf_d = M / T_s$ .

### **Kunci Pergeseran Fasa**

Dalam PSK, fase dari sinyal pembawa digeser untuk merepresentasikan data. Dua Tingkat PSK Skema sederhana menggunakan dua tahap untuk mewakili duadigit biner (Gambar 5.7c) dan dikenal sebagai fase biner shift keying. yang dihasilkansinyal yang dikirimkan untuk satu kali bit adalah

Karena pergeseran fasa  $180^\circ$  setara dengan membalik gelombang sinus atau mengalikannya dengan ekspresi paling kanan dalam Persamaan (5.5) dapat digunakan.

Gambar 5.10 Differential Phase-Shift Keying (DPSK)

mengarah ke formulasi yang sesuai. Jika kita memiliki aliran bit, dan kita mendefinisikan  $d(t)$  sebagai fungsi diskrit yang mengambil nilai waktu satu bit jika sesuai bit dalam aliran bit adalah 1 dan nilai untuk satu kali bit jika bit yang sesuai dalam aliran bit adalah 0, maka kita dapat menentukan sinyal ditransmisikan sebagai

Alternatif bentuk dua tingkat PSK adalah diferensial PSK (DPSK). Gambar 5.10 menunjukkan contoh. Dalam skema ini, biner 0 diwakili dengan mengirimkan ledakan sinyal dari fase sama dengan sinyal sebelumnya meledak sent. A biner 1 diwakili dengan mengirimkan ledakan sinyal fase berlawanan dengan sebelumnya diferensial jangka one. This mengacu fakta bahwa pergeseran fasa dengan mengacu pada bit sebelumnya ditransmisikan lebih dari beberapa sinyal referensi konstan. Dalam pengkodean diferensial, informasi yang ditransmisikan diwakili dalam hal perubahan antara simbol-simbol data yang berurutan daripada elemen sinyal itu sendiri. DPSK menghindari kebutuhan untuk akurat fase osilator lokal pada penerima yang cocok dengan transmitter. As Selama fase sebelumnya diterima dengan benar, referensi fase akurat. Empat-Level PSK Lebih efisien penggunaan bandwidth dapat dicapai jika setiap elemen sinyal mewakili lebih dari satu bit. Misalnya, alih-alih pergeseran fase  $180^\circ$ , sebagaimana diizinkan dalam BPSK, teknik pengkodean umum, dikenal sebagai quadrature pergeseran fasa keying (QPSK), menggunakan pergeseran fase dipisahkan dengan kelipatan  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ).

Dengan demikian setiap elemen sinyal mewakili dua bit daripada satu.

#### Gambar 5.11 Modulator QPSK dan OQPSK

Gambar 5.11 menunjukkan skema modulasi QPSK secara umum. Input adalah aliran biner digit dengan data rate dari mana lebar setiap bit. Aliran ini diubah menjadi dua aliran bit yang terpisah dari  $R/2$  bps masing-masing, oleh mengambil bit alternatif untuk dua aliran. Dua aliran data yang disebut sebagai I (di-fase) dan Q (fase quadrature) stream. Dalam diagram, atas aliran dimodulasi pada pembawa frekuensi dengan mengalikan aliran bit dengan pembawa. Untuk kenyamanan struktur modulator kami peta biner 1 untuk dan biner 0 Dengan demikian, biner 1 yang diwakili oleh versi skala dari carrier gelombang dan biner 0 diwakili oleh versi skala negatif dari carrier gelombang, baik pada amplitudo konstan. gelombang pembawa yang sama ini digeser oleh  $90^\circ$  dan digunakan untuk modulasi aliran biner yang lebih rendah. Dua sinyal termodulasi adalah kemudian ditambahkan bersama-sama dan ditransmisikan. Sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan sebagai berikut:

Gambar 5.12 menunjukkan contoh QPSK coding. Masing-masing dua termodulasi stream adalah sinyal BPSK pada setengah data rate dari aliran bit asli. Dengan demikian, sinyal gabungan memiliki tingkat simbol yang setengah tingkat bit masukan. Perhatikan bahwa dari satu waktu simbol untuk, perubahan fase berikutnya dari sebanyak  $180^\circ$  mungkin. Gambar 5.11 juga menunjukkan variasi QPSK dikenal sebagai diimbangi QPSK (OQPSK), atau orthogonal QPSK. Perbedaannya adalah bahwa penundaan satu waktu bit diperkenalkan di aliran Q, sehingga sinyal berikut:

Karena OQPSK berbeda dari QPSK hanya oleh keterlambatan dalam aliran Q, yang karakteristik spektral dan kinerja kesalahan bit adalah sama dengan QPSK.

#### Gambar 5.12 Contoh gelombang QPSK dan OPSK

Dari Gambar 5.12, kita dapat mengamati bahwa hanya satu dari dua bit pada pasangan dapat mengubah

menandatangani setiap saat dan dengan demikian perubahan fase dalam sinyal gabungan tidak pernah melebihi  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ). Ini bisa menjadi keuntungan karena keterbatasan fisik pada modulator fasa membuat pergeseran fase besar pada tingkat transisi tinggi sulit untuk melakukan. OQPSK juga memberikan kinerja yang unggul ketika saluran transmisi (termasuk pemancar dan penerima) memiliki komponen

nonlinear signifikan. Pengaruh nonlinearities adalah penyebaran bandwidth sinyal, yang dapat mengakibatkan gangguan saluran berdekatan. Hal ini lebih mudah untuk mengontrol ini menyebar jika perubahan fase yang lebih kecil, maka keuntungan dari OQPSK lebih QPSK.

Multilevel PSK Penggunaan beberapa tingkatan dapat diperpanjang di luar taking bit dua sekaligus. Hal ini dimungkinkan untuk mengirimkan bit tiga pada waktu menggunakan delapan fase yang berbeda sudut. Selanjutnya, masing-masing sudut dapat memiliki lebih dari satu amplitudo. Misalnya, standar 9600 bps modem menggunakan 12 sudut fase, empat di antaranya memiliki dua nilai amplitudo, untuk total 16 elemen sinyal yang berbeda. Contoh terakhir ini menunjukkan dengan sangat baik perbedaan antara data rate  $R$  (Dalam bps) dan tingkat modulasi  $D$  (di baud) dari sinyal. Mari kita berasumsi bahwa ini Skema sedang digunakan dengan input digital di mana setiap bit diwakili oleh tegangan pulsa konstan, satu tingkat untuk biner satu dan satu tingkat nol biner. Itu Data rate Namun, sinyal dikodekan mengandung bit dalam setiap elemen sinyal menggunakan kombinasi yang berbeda dari amplitudo dan fase. Itu Tingkat modulasi dapat dilihat menjadi  $R / 4$ , karena setiap perubahan elemen sinyal berkomunikasi empat bit. Sehingga kecepatan garis sinyal adalah 2400 baud, tetapi data rate 9600 bps. Ini adalah alasan bahwa harga sedikit lebih tinggi dapat dicapai lebih dari suara-grade baris dengan menggunakan skema modulasi yang lebih kompleks.

### **performance**

Dalam melihat kinerja berbagai skema modulasi digital-to-analog, Parameter pertama yang menarik adalah bandwidth dari signal. This termodulasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk definisi bandwidth yang digunakan dan teknik filtering yang digunakan untuk membuat sinyal bandpass. Kami akan menggunakan beberapa hasil langsung dari [COUC01].

Bentuk transmisi bandwidth untuk ASK

di mana  $R$  adalah bit rate dan  $r$  berhubungan dengan teknik dimana sinyal disaring untuk membangun bandwidth untuk transmisi; biasanya demikian bandwidth secara langsung berkaitan dengan bit rate. Rumus sebelumnya juga berlaku untuk PSK dan, di bawah asumsi tertentu, FSK. Dengan multilevel PSK (MPSK), perbaikan yang signifikan dalam bandwidth yang dapat dicapai. Secara umum,

di mana  $L$  adalah jumlah bit dikodekan per elemen sinyal dan  $M$  adalah jumlah elemen sinyal yang berbeda. Untuk bertingkat FSK (MFSK), kita memiliki

Tabel 5.5 menunjukkan rasio data rate,  $R$ , dengan bandwidth transmisi untuk berbagai skema. Rasio ini juga disebut sebagai efisiensi bandwidth. Seperti namanya menunjukkan, parameter ini mengukur efisiensi dengan yang bandwidth yang dapat digunakan untuk mengirimkan data. Keuntungan dari metode signaling multilevel sekarang menjadi jelas. Tentu saja, pembahasan sebelumnya mengacu pada spektrum sinyal input ke saluran komunikasi. Tidak ada yang belum mengatakan kinerja di hadapan kebisingan. Gambar 5.4 merangkum beberapa hasil berdasarkan asumsi yang wajar mengenai sistem transmisi [COUC01]. Berikut bit error rate diplot sebagai Fungsi dari rasio yang ditetapkan dalam Bab 3. Tentu saja, seperti yang rasio meningkat, tingkat kesalahan bit tetes. Selanjutnya, DPSK dan BPSK sekitar 3 dB unggul ASK dan BFSK. Gambar 5.13 menunjukkan informasi yang sama untuk berbagai tingkat  $M$  untuk MFSK dan MPSK. Ada perbedaan penting. Untuk MFSK, probabilitas kesalahan untuk diberikan nilai penurunan sebagai  $M$  meningkat, sedangkan sebaliknya adalah benar untuk MPSK. Di sisi

lain, membandingkan Persamaan (5.10) dan (5.11), efisiensi bandwidth yang dari MFSK menurun sebagai  $M$  meningkat, sedangkan sebaliknya adalah benar dari MPSK. Thus,

Tabel 5.5 Efisiensi Bandwidth ( $R/B_t$ ) untuk skema pengkodean digital ke analog

Ada tradeoff antara efisiensi bandwidth dan kinerja error: peningkatan hasil efisiensi bandwidth dalam peningkatan probabilitas kesalahan. Faktanya bahwa pengorbanan ini bergerak dalam arah berlawanan sehubungan dengan jumlah tingkat  $M$  untuk MFSK dan MPSK dapat diturunkan dari persamaan. Lihat [SKLA01] untuk perawatan penuh.

Gambar 5.13 Teori Bit Error Rate untuk Multilevel FSK dan PSK

Ada kasus perdagangan antara bandwidth dan kinerja kesalahan, peningkatan hasil efisiensi bandwidth dalam peningkatan probabilitas kesalahan. fakta  $M$  dari MFSK dan MPSK dapat diturunkan dari persamaan yang mendasarinya. diskusi tentang alasan untuk perbedaan ini adalah di luar cakupan buku ini.

Sebagai contoh sebelumnya menunjukkan, ASK dan FSK pameran efisiensi bandwidth yang sama, PSK lebih baik, dan perbaikan yang lebih besar dapat dicapai dengan sinyal bertingkat.

Adalah berguna untuk membandingkan kebutuhan bandwidth ini dengan orang-orang untuk sinyal digital. pendekatan yang baik adalah

$$= 0.5 (1 + r) D$$

Di mana  $D$  adalah tingkat modulasi. untuk NRZ,  $D = R$ , dan kami memiliki

=

Sinyal digital ini adalah perkiraan yang sama, dalam hal efisiensi bandwidth, seperti ASK, FSK, dan PSK. keuntungan yang signifikan untuk signaling analog terlihat dengan teknik multilevel.

Quadrature amplitude modulation (QAM) adalah teknik pensinyalan analog populer digunakan bahwa ini digunakan dalam asymmetric digital subscriber line (ADSL). teknik modulasi ini kombinasi dari ASK dan PSK. QAM juga dapat dianggap sebagai perpanjangan logis dari QPSK. QAM mengambil keuntungan dari frekuensi carier yang sama, dengan menggunakan dua salinan dari frekuensi carier. satu bergeser oleh 90 terhubung menghargai orang lain, untuk QAM, setiap carier adalah ASK termodulasi. Dua sinyal independen simulataneously ditransmisikan melalui media yang sama. Pada penerima, dua sinyal termodulasi dan hasil dikombinasikan untuk menghasilkan input biner asli.

Input adalah aliran biner digit tiba pada tingkat bps  $R$ . Aliran ini diubah menjadi dua aliran bit yang terpisah dari  $R / 2$  bps masing-masing, dengan mengambil bit alternatif untuk dua aliran. di coba bermain pembawa aliran bit. Dengan demikian, nol biner diwakili oleh absence dari gelombang pembawa dan satu biner diwakili oleh kehadiran gelombang pembawa pada amplitudo konstan. gelombang pembawa yang sama bergeser oleh 90 dan digunakan untuk ASK modulasi aliran biner yang lebih rendah. Dua sinyal termodulasi ini kemudian ditambahkan bersama-sama dan ditransmisikan. Sinyal yang ditransmisikan

dapat sebagai berikut:

$$\text{QAM } s(t) = (t)\cos 2\pi t + (t)\sin 2\pi t$$

jika dua tingkat ASK yang digunakan, maka masing-masing dua aliran dapat di salah satu dari dua negara dan aliran gabungan dapat di salah satu dari  $4 = 2 \times 2$  negara. Ini pada dasarnya adalah QPSK. Jika empat tingkat ASK yang digunakan, maka aliran gabungan dapat di salah satu dari  $16 = 4 \times 4$  negara. Sistem menggunakan 64 dan bahkan 256 negara telah imlemented. Yang lebih besar dari jumlah negara, semakin tinggi tingkat data yang mungkin dalam bandwidth yang diberikan. Tentu saja, seperti yang dibahas sebelumnya, semakin besar jumlah negara, semakin tinggi tingkat kesalahan potensial karena kebisingan dan redaman.

Dalam bagian ini kita memeriksa proses transformasi data analog menjadi sinyal. Sebenarnya, di mungkin lebih tepat untuk menyebut ini sebagai proses konversi data analog telah dikonversi menjadi data digital, beberapa hal bisa terjadi.

Tiga yang paling umum berikut:

1. Data digital dapat ditransmisikan menggunakan NRZ-L. Dalam hal ini, kita sebenarnya telah pergi langsung dari data analog ke sinyal digital.
2. Data digital dapat dikodekan sebagai digital menggunakan kode selain NRZ-L. Jadi langkah tambahan diperlukan
3. Data digital dapat dikonversi menjadi sinyal analog, menggunakan salah satu teknik modulasi.

Terakhir ini, tampaknya penasaran, prosedur diilustrasikan pada Gambar 5.15, yang menunjukkan data suara yang didigitalkan dan kemudian dikonversi ke analog ASK sinyal. Hal ini memungkinkan transmisi digital dalam adegan didefinisikan dalam Bab 3. Suara data, karena mereka telah didigitalkan dapat diperlakukan sebagai data digital, meskipun persyaratan dikirimkan mendikte bahwa sinyal analog digunakan.

Perangkat yang digunakan untuk mengkonversi data analog menjadi digital dari untuk transmisi, dan kemudian memulihkan data analog asli dari digital, dikenal sebagai codec. Pada bagian ini kita memeriksa dua menggunakan teknik utama dalam codec, modulasi kode pulsa dan modulasi delta. Bagian ini ditutup dengan diskusi tentang kinerja komparatif.

di bagian ini kita melihat teknik utama untuk modulasi menggunakan analogData: amplitude modulation (AM), frekuensi modulasi (FM), dan modulasi fase(PM). Sebagai sebelumnya, tiga karakteristik dasar dari sinyal yang digunakan untuk modulasi.

## Modulasi Amplitudo

Modulasi amplitudo (AM) adalah bentuk sederhana dari modulasi dan digambarkan dalam Gambar 5.22. Secara matematis, proses dapat dinyatakan sebagai

di mana pembawa dan  $x(t)$  adalah sinyal input (membawa data), baik dinormalisasi dengan amplitudo kesatuan. Parameter yang dikenal sebagai indeks modulasi, adalah rasio amplitudo sinyal input untuk carrier. Sesuai dengan kaminotasi sebelumnya, sinyal input The "1" di Persamaan (5.12) adalah komponen dc yang mencegah hilangnya informasi, seperti yang dijelaskan selanjutnya. Ini Skema ini juga dikenal sebagai pembawa ditransmisikan sideband ganda (DSBTC).

Dari Persamaan (5.12) dan Gambar 5.22, dapat dilihat bahwa AM melibatkan perkalian dari sinyal input oleh operator. Sampul sinyal yang dihasilkan adalah  $[1 + m_a x(t)]$  dan, selama sampul adalah reproduksi yang tepat dari sinyal asli. Jika sampul akan menyeberangi sumbu waktu dan informasi yang hilang. Ini adalah pelajaran untuk melihat spektrum contoh AM signal. An ditampilkan pada Gambar 5.23. Spektrum ini terdiri dari pembawa asli ditambah spektrum sinyal input diterjemahkan ke Bagian dari spektrum untuk adalah atas sideband, dan bagian dari spektrum adalah sideband rendah. Keduanya atas dan sidebands rendah adalah replika dari spektrum asli  $M(f)$ , dengan sideband rendah frekuensi makhluk terbalik. Sebagai contoh, mempertimbangkan sinyal suara dengan bandwidth yang memanjang 300-3000 Hz yang termodulasi pada 60-kHz pembawa. sinyal yang dihasilkan berisi sideband atas 60,3-63 kHz, lebih rendah sideband dari 57-59,7 kHz, dan pembawa 60-kHz. Hubungan penting adalah

Gambar 5.22 Modulasi Amplitudo

Gambar 5.23 Spektrum sinyal AM

di mana  $P_t$  adalah total daya yang ditransmisikan pada  $s(t)$  dan  $P_c$  adalah daya transmisi carrier.  $W$  ingin sebesar mungkin sehingga sebagian besar kekuatan sinyal yang digunakan untuk membawa informasi. Namun, harus tetap di bawah 1.

Ini harus jelas bahwa  $s(t)$  mengandung komponen yang tidak perlu, karena masing-masing sidebands mengandung spektrum lengkap  $m(t)$ . Varian populer AM, dikenal sebagai satu sideband (SSB), mengambil keuntungan dari fakta ini dengan mengirimkan hanya satu dari sidebands, menghilangkan sideband lain dan operator. Keuntungan utama dari pendekatan ini adalah sebagai berikut:

- Hanya setengah bandwidth diperlukan, yaitu, di mana  $B$  adalah bandwidth

dari sinyal asli. Untuk DSBTC,  $B_T = 2B$ .

- Kurang daya yang dibutuhkan karena tidak ada daya yang digunakan untuk mengirimkan carrier atau sideband lainnya. Varian lain adalah sideband ganda pembawa ditekan (DSBSC), yang menyaring frekuensi pembawa dan mengirimkan kedua sidebands. Ini menghemat beberapa kekuatan tetapi menggunakan bandwidth sebanyak DSBTC.

Kerugian menekan pembawa adalah bahwa operator dapat digunakan untuk tujuan sinkronisasi. Misalnya, bahwa sinyal analog yang asli adalah ASK bentuk gelombang pengkodean data digital. penerima perlu mengetahui titik awal setiap waktu bit untuk menafsirkan data dengan benar. Sebuah pembawa konstan memberikan mekanisme clocking dimana untuk waktu kedatangan bit. Pendekatan kompromi vestigial sideband (VSB), yang menggunakan satu sideband dan pembawa pengurangan daya.

## Modulasi Angel



Frekuensi modulasi (FM) dan modulasi fase (PM) adalah hal khusus dari sudut modulasi. Sinyal termodulasi dinyatakan sebagai

Untuk modulasi fase, fase sebanding dengan sinyal modulasi :

di mana indeks modulasi fase.

Untuk modulasi frekuensi, turunan dari fase sebanding dengan modulasi sinyal:

di mana indeks modulasi frekuensi dan  $\phi(t)$  merupakan turunan dari  $\phi(t)$ .

Bagi mereka yang ingin penjelasan matematika lebih rinci dari sebelumnya, simak berikut ini. Dalam PM, deviasi fasa sesaat ini sebanding dengan  $m(t)$ . Karena frekuensi dapat didefinisikan sebagai tingkat perubahan dari fase sinyal, frekuensi sesaat dari  $s(t)$  adalah

dan seketika deviasi frekuensi dari frekuensi pembawa adalah  $\Delta f(t)$  yang di FM sebanding dengan  $m(t)$ .

Gambar 5.24 menggambarkan amplitudo, fase, dan modulasi frekuensi dengan sinus gelombang. Bentuk sinyal FM dan PM yang sangat mirip. Memang, tidak mungkin untuk membedakan mereka tanpa pengetahuan tentang fungsi modulasi.

Puncak penyimpangan  $\Delta f$  dapat dilihat untuk menjadi

Dimana  $A_m$  adalah nilai maksimum dari  $m(t)$ . Dengan demikian semakin besar  $m(t)$  maka  $\Delta f$  juga akan meningkat, yang secara intuitif, harus meningkatkan bandwidth ditransmisikan. BT Namun, seperti harus jelas dari Gambar 5.24, ini tidak akan meningkatkan rata-rata tingkat kekuatan sinyal FM, yang ini jelas berbeda dari AM, di mana tingkat modulasi mempengaruhi kekuatan dalam sinyal AM tetapi tidak mempengaruhi bandwidth.

Contoh 5.5 Menurunkan persamaan untuk  $s(t)$  jika sinyal fase-modulasi diasumsikan bahwa ini dapat dilihat langsung menjadi

Deviasi fase sesaat dari sinyal pembawa adalah yang sudut fase dari sinyal bervariasi dari nilai unmodulated di sebuah sinusoidal sederhana fashion, dengan deviasi fase puncak sama dengan  $\pi$ .

Persamaan sebelumnya dapat diperluas dengan menggunakan trigonometri Bessel identitas:

Dimana  $J_n(\pi)$  adalah fungsi nth-order Bessel jenis yang pertama, menggunakan

Bisa juga ditulis seperti di bawah ini

Sinyal yang dihasilkan memiliki komponen pada frekuensi pembawa asli ditambah satu set sidebands dipindahkan dari semua kelipatan yang mungkin untuk permintaan tingkat tinggi dengan cepat.

Gambar 5.24 Amplitudo, Fase, dan Modulasi Frekuensi pembawa gelombang sinus oleh sinyal gelombang sinus

Contoh 5.6 Turunkan persamaan untuk  $s(t)$  jika adalah modulasi frekuensi

sinyal Bentuk dipilih untuk memdahkan. Kita punya

Jadi

Sesaat deviasi frekuensi dari sinyal pembawa adalah  $-mf \sin 2\pi f_m t$  Frekuensi sinyal bervariasi dari nilai unmodulated di sebuah sederhana busana sinusoidal, dengan deviasi puncak frekuensi sama dengan radian /kedua.

Persamaan untuk sinyal FM memiliki bentuk identik sebagai untuk sinyal PM, dengan  $f_m$  diganti untuk  $\Delta f$  Jadi ekspansi Bessel adalah sama.

Seperti AM, baik FM dan hasilnya PM dalam sinyal yang bandwidth yang berpusat di  $f_c$  Namun, kita dapat sekarang melihat bahwa besarnya bandwidth yang sangat berbeda. modulasi amplitudo adalah proses linear dan menghasilkan frekuensi yang jumlah dan perbedaan dari sinyal pembawa dan komponen dari sinyal modulasi. Oleh karena itu, untuk AM,

$$B_r = 2B$$

Namun, modulasi sudut termasuk jangka bentuk yang nonlinier dan akan menghasilkan berbagai frekuensi. Pada dasarnya, untuk modulasi sebuah sinusoid frekuensi  $s(t)$  akan mengandung komponen di  $f_c + f_m, f_c + 2f_m, \dots$  dan seterusnya. Dalam kasus yang paling umum, bandwidth tak terbatas diperlukan untuk mengirimkan sebuah FM atau PM sinyal. Sebagai masalah praktis, aturan yang sangat praktis yang baik, yang dikenal sebagai Aturan Carson [COUC01], adalah

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

Dimana

Kita bisa menulis ulang rumus untuk FM menjadi :

$$B_r = 2F + 2B$$

Jadi, baik FM dan PM membutuhkan bandwidth lebih besar dari AM