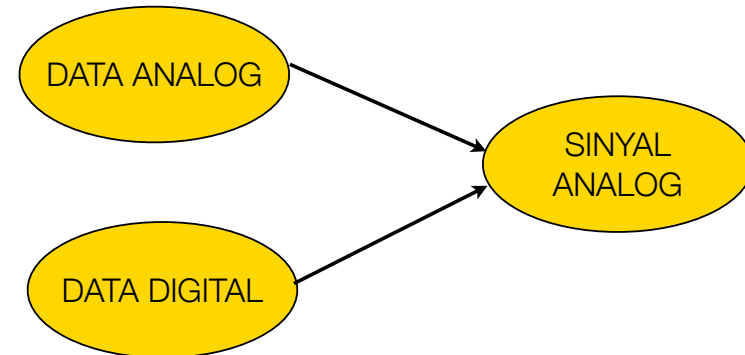




Transmisi Analog (Analog Transmission)

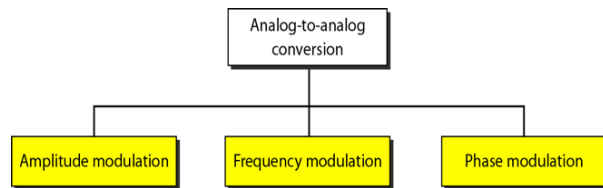


Data Analog Sinyal Analog

- Konversi analog ke analog, atau disebut dengan modulasi analog, adalah representasi dari informasi analog menjadi sinyal analog.
- **Mengapa diperlukan proses modulasi sinyal analog, jika sinyal sudah analog?**
 - Modulasi diperlukan jika media di alam adalah bandpass atau jika hanya ada saluran bandpass yang tersedia.
 - Contohnya adalah stasiun radio. Regulasi memberikan bandwidth yang sempit untuk setiap stasiun radio. Sinyal analog yang dihasilkan oleh masing-masing stasiun adalah sinyal low-pass, semua didalam range yang sama. Untuk dapat mendengarkan stasiun yang berbeda, sinyal low-pass perlu digeser, masing-masing untuk rentang yang berbeda.

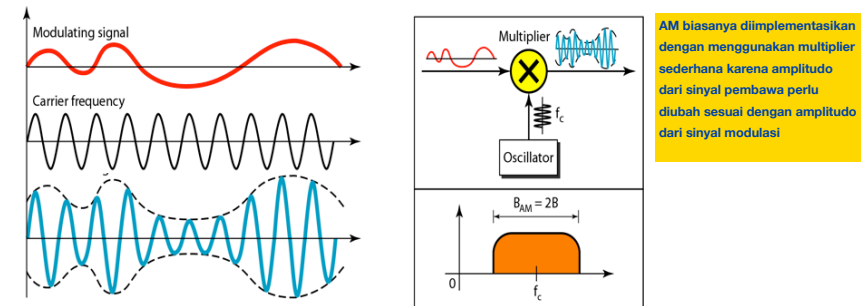
Jenis-jenis Konversi Analog ke Analog

- Konversi analog ke analog dapat dicapai dalam tiga cara: **Amplitude Modulation (AM)**, **Frequency Modulation (FM)**, dan **Phase Modulation (PM)**.



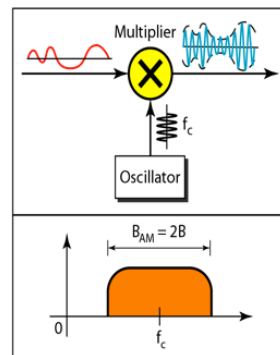
Amplitude Modulation (AM)

- Dalam transmisi AM, sinyal pembawa dimodulasi sehingga amplituda bervariasi dengan amplituda perubahan dari sinyal modulasi. Frekuensi dan fasa dari carrier tetap sama, hanya perubahan amplituda untuk mengikuti variasi informasi.



AM Bandwidth

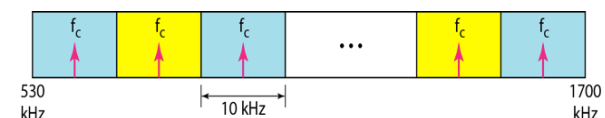
- Modulasi menciptakan bandwidth yaitu dua kali bandwidth sinyal modulasi dan mencakup dengan berpusat pada frekuensi carrier.
- Namun, komponen sinyal atas dan di bawah frekuensi pembawa membawa informasi yang sama persis. Untuk alasan ini, beberapa implementasi membuang setengah dari sinyal dan memotong bandwidth setengah.



Total bandwidth yang dibutuhkan untuk AM Dapat ditentukan dari bandwidth dari sinyal audio: $B_{AM} = 2B$

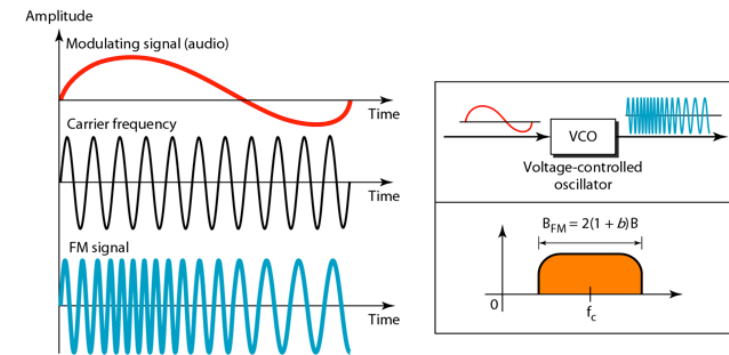
Alokasi Frekuensi untuk Radio AM

- Bandwidth dari sinyal audio (suara dan musik) biasanya 5kHz. Oleh karena itu, sebuah stasiun radio AM membutuhkan bandwidth 10 kHz.
- Federal Communications Commission (FCC) mengizinkan 10kHz untuk masing-masing stasiun AM.
- Stasiun AM diperbolehkan menggunakan frekuensi carrier dimana saja antara 530 dan 1700kHz (1.7MHz). Namun, frekuensi carrier setiap stasiun harus dipisahkan, setidaknya 10 kHz (satu bandwidth AM) untuk menghindari interferensi.
- Contoh: Jika salah satu stasiun menggunakan frekuensi carrier 1100 kHz, frekuensi carrier stasiun berikutnya tidak bisa lebih rendah dari 1110 kHz.



Frequency Modulation (FM)

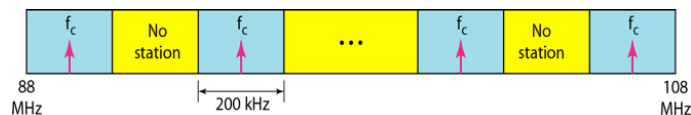
- Dalam transmisi FM, frekuensi sinyal pembawa dimodulasi mengikuti perubahan pada level tegangan (amplitudo) dari sinyal modulasi. Puncak amplitudo dan fasa dari sinyal carrier tetap konstan, tetapi sebagai amplituda perubahan sinyal informasi, dengan selalu berhubungan dengan perubahan frekuensi carrier.
- FM biasanya diimplementasikan dengan menggunakan osilator tegangan yang dikendalikan dengan FSK. Frekuensi osilator berubah sesuai dengan tegangan input yang merupakan amplituda dari sinyal modulasi.



Total bandwidth yang dibutuhkan untuk FM dapat ditentukan dari bandwidth sinyal audio : $B_{FM} = 2(1 + \beta)B$. Dimana β biasanya = 4.

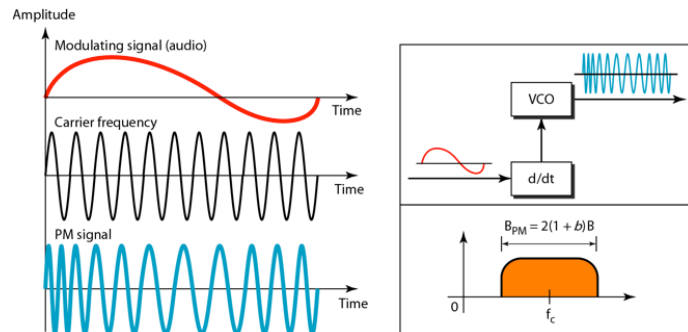
Standar bandwidth Alokasi untuk FM Radio

- Bandwidth dari sinyal audio (suara dan musik) disiarkan di stereo hampir 15 kHz. FCC mengizinkan frekuensi 200 kHz (0.2 MHz) untuk setiap stasiun. Ini berarti $\beta = 4$ dengan beberapa tambahan.
- Stasiun FM diperbolehkan frekuensi carrier mana saja antara 88 dan 108 MHz. Stasiun harus dipisahkan oleh setidaknya 200 kHz untuk menjaga bandwidth untuk tidak saling mengganggu/tumpang tindih.
- Untuk menciptakan lebih banyak privasi, FCC mensyaratkan bahwa di daerah tertentu, hanya alokasi bandwidth alternatif dapat digunakan. Yang lain tetap tidak digunakan untuk mencegah kemungkinan dua stasiun mengganggu satu sama lain.



Phase Modulation (PM)

- Pada PM, fase dari sinyal pembawa dimodulasi untuk mengikuti perubahan tingkat tegangan (amplitudo) dari sinyal modulasi.
- Puncak amplitudo dan frekuensi sinyal pembawa tetap konstan, tetapi fasanya yang berubah. Hal ini dapat dibuktikan secara matematis.
- Pada FM, perubahan seketika dalam frekuensi pembawa sebanding dengan amplitudo dari sinyal modulasi, pada PM perubahan seketika dalam frekuensi pembawa sebanding dengan turunan dari amplitudo dari sinyal modulasi. (APPENDIX C Buku Fourozan).
- Gambar berikut menunjukkan hubungan dari sinyal pemodulasi, sinyal carrier, dan resultan sinyal PM.



Total bandwidth yang dibutuhkan untuk PM dapat ditentukan dari bandwidth dan amplitudo maksimumnya dari sinyal modulasi :

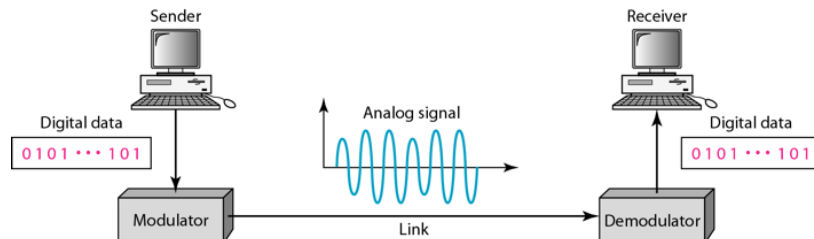
$$B_{PM} = 2(1 + \beta)B.$$

Dimana $\beta = 2$

DATA DIGITAL SINYAL ANALOG

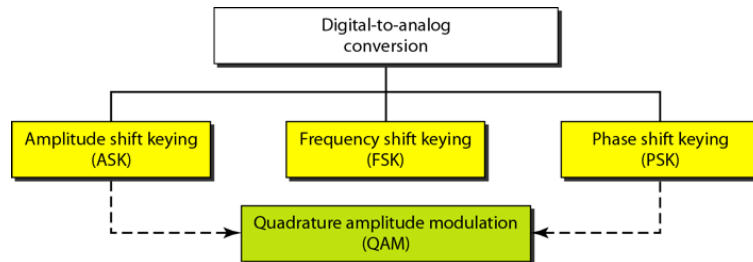
Data Digital Sinyal Analog

- Konversi digital ke analog adalah proses mengubah salah satu karakteristik sinyal analog berdasarkan informasi dalam data digital. Gambar dibawah menunjukkan hubungan antara informasi digital, proses modulasi digital ke analog dan hasil dari sinyal analog.



- Gelombang sinus didefinisikan oleh tiga karakteristik: amplituda, frekuensi, dan fasa. Ketika kita mengubah sinyal apa pun dari karakteristik ini, kita membuat gelombang itu berbeda versinya. Jadi, dengan mengubah salah satu karakteristik sinyal listrik sederhana, kita dapat menggunakannya untuk mewakili data digital.
- Jenis-jenis modulasi data digital menjadi sinyal analog yaitu Amplitudo **Shift Keying (ASK)**, **Frequency Shift Keying (FSK)**, dan **Phase Shift Keying (PSK)**. Selain itu, ada mekanisme yang menggabungkan ASK dan PSK, yang disebut **Quadrature Amplitude Modulation (QAM)**. QAM adalah yang paling efisien dan mekanisme yang umum digunakan saat ini.

Digital to Analog Conversion



Aspek dalam Konversi Digital ke Analog

- Sebelum membahas mengenai konversi digital ke analog, ada dua hal yang penting untuk dipahami, yaitu:
 - Bit Rate dan Baud Rate
 - Sinyal Pembawa (Carrier)

Data Element vs Signal Element

- Data Element (Elemen data) adalah potongan terkecil dari informasi yang akan dipertukarkan yaitu bit.
- Signal Element (Elemen sinyal) adalah unit terkecil dari sebuah sinyal yang nilainya konstan.

Elemen Data disimbolkan dengan r
Elemen Sinyal disimbolkan dengan L

Data Rate vs Signal rate

- Hubungan antara bit rate dengan data rate adalah

$$S = N \times \frac{1}{r} \text{ baud}$$

- di mana N adalah data rate (bps) dan r adalah jumlah elemen data didalam satu sinyal elemen. Nilai r dalam transmisi analog adalah $r = \log_2 L$, dimana L adalah jenis sinyal elemen, bukan level sinyal.

Bit rate adalah jumlah bit per detik.
Baud rate adalah jumlah elemen sinyal per detik.
Dalam transmisi analog pada data digital, baud rate kurang dari
atau sama dengan bit rate.

- **Bandwidth**

adalah luas atau lebar cakupan frekuensi yang digunakan oleh sinyal dalam medium transmisi. Bandwidth dapat diartikan sebagai perbedaan antara komponen sinyal frekuensi tinggi dan sinyal frekuensi rendah.

- **Sinyal pembawa (Carrier)**

Dalam transmisi analog, perangkat pengirim menghasilkan sinyal frekuensi tinggi yang bertindak sebagai dasar untuk sinyal informasi. Sinyal dasar ini disebut sinyal Carrier atau Frekuensi Carrier. Informasi digital kemudian mengubah sinyal Carrier dengan memodifikasi satu atau lebih dari karakteristik (amplitudo, frekuensi, atau fase). Modifikasi Bentuk ini dinamakan modulasi (shift keying).

Amplitude Shift Keying (ASK)

- ASK merupakan jenis modulasi digital yang paling sederhana, dimana sinyal carrier dimodulasi berdasarkan amplitudo sinyal digital.
- Umumnya, kita membutuhkan dua buah sinyal $s_1(t)$ dan $s_2(t)$ untuk transmisi biner.

$$\begin{array}{ll} s_1(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi) & \rightarrow \text{mewakili bit 1} \\ s_2(t) = 0 & \rightarrow \text{mewakili bit 0} \end{array}$$

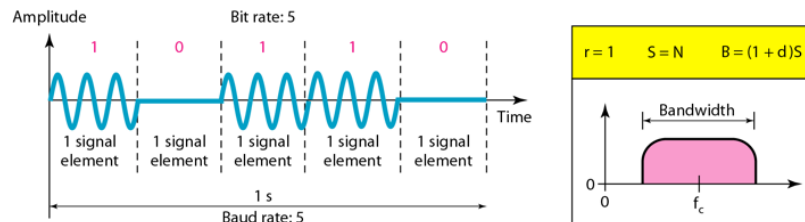
- Hasil ASK diwakili oleh perbedaan amplituda pada carrier. Dimana nilai satu amplituda adalah nol

ASK

- Binary ASK
- Multilevel ASK

Binary ASK (BASK)

- ASK biasanya di implementasikan hanya menggunakan dua tingkat. Hal ini disebut sebagai biner amplitudo shift keying atau On-Off Keying (OOK). Puncak amplituda satu tingkat sinyal 0, yang lain adalah sama dengan amplituda frekuensi pembawa.



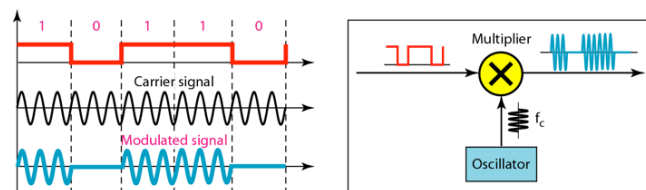
Bandwidth ASK

$$B = (1 + d) \times S$$

- B = bandwidth, S = level sinyal
- Bandwidth sebanding dengan level sinyal (baud rate). Namun, biasanya ada faktor lain yang terlibat, yang disebut d , yang tergantung pada modulasi dan proses filtering. Nilai d adalah antara 0 dan 1.

Implementasi BASK

- Jika data digital disajikan sebagai NRZ unipolar.
- Sinyal digital untuk tegangan tinggi sebesar 5V dan tegangan rendah sebesar 0 V, implementasinya dapat dicapai dengan mengalikan sinyal digital NRZ dengan sinyal pembawa yang berasal dari osilator. Ketika amplitudo sinyal NRZ adalah 1, amplitudo frekuensi pembawa adalah 5V, ketika amplitudo sinyal NRZ adalah 0, amplitudo frekuensi pembawa adalah 0V



Contoh Soal

- Terdapat bandwidth yang tersedia sebesar 100 kHz yang membentang 200-300 kHz. Berapa frekuensi pembawa dan bit rate jika kita memodulasi data dengan menggunakan Modulasi ASK dengan nilai $d=1$?
- Solusi :
Frekuensi tengah bandwidth terletak pada 250kHz. Ini berarti bahwa frekuensi pembawa (carrier) berada pada $f_c=250\text{kHz}$. Kita dapat menggunakan rumus untuk bandwidth untuk menemukan bit rate (dengan $d=1$ dan $r=1$).

$$B = (1 + d) \times S = s \times N \times \frac{1}{r} = 2 \times N = 100 \text{ kHz}$$

$$N = 50 \text{ kbps}$$

Contoh TLP434



TLP 434A – 0.5W Datasheet & Schematics

- Frequency : 433.92 MHz
- Modulation: ASK
- Circuit Shape: SAW
- Data Rate: 8K bps
- Supply Voltage: +5V
- Power Supply range for I/O pins: 0 to 5 V
- Non-Operating Case Temperature: -20 to +85 C
- Soldering Temperature (10 Seconds) : 230 C

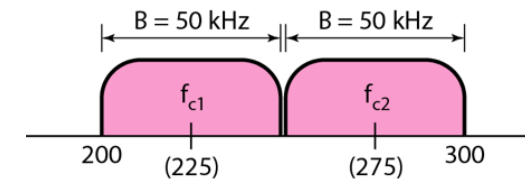


Multilevel ASK

- Pada pembahasan sebelumnya hanya menggunakan dua tingkat amplitudo. Kita dapat memiliki bertingkat ASK di mana ada lebih dari dua tingkat. Kita bisa menggunakan 4, 8, 16, atau lebih amplitudo berbeda untuk sinyal dan memodulasi data menggunakan 2, 3, 4, atau lebih bit pada satu waktu. Dalam kasus ini, $r = 2$, $r = 3$, $r = 4$, dan seterusnya. Meskipun hal ini tidak diimplementasikan dengan ASK murni, diimplementasikan dengan QAM (seperti yang akan kita lihat nanti).

Contoh

- Dalam komunikasi data, kita biasanya menggunakan link full-duplex dengan komunikasi dua arah. Kita perlu membagi bandwidth menjadi dua dengan dua frekuensi pembawa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah. Angka ini menunjukkan posisi dua frekuensi pembawa dan bandwidth yang tersedia untuk setiap bandwidth. Bandwidth masing-masing sebesar 50 kHz, akan didapatkan data rate sebesar 25 kbps untuk masing-masing arah.



Frequency Shift Keying (FSK)

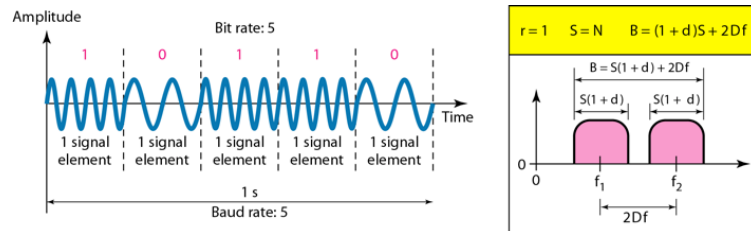
- Dalam modulasi FM, frekuensi carrier diubah-ubah nilainya dan mengikuti besar sinyal pemodulasinya (analog) dengan amplituda pembawa yang tetap.
- Jika sinyal yang memodulasi tersebut hanya mempunyai dua harga tegangan 0 dan 1 (biner/ digital), maka proses modulasi tersebut dapat diartikan sebagai proses penguncian frekuensi sinyal.
- Hasil gelombang FM yang dimodulasi oleh data biner ini kita sebut dengan Frekuensi Shift Keying (FSK).

$$s_1(t) = A \sin(2\pi f_1 t + \varphi) \rightarrow \text{mewakili bit 1}$$

$$s_2(t) = A \sin(2\pi f_2 t + \varphi) \rightarrow \text{mewakili bit 0}$$

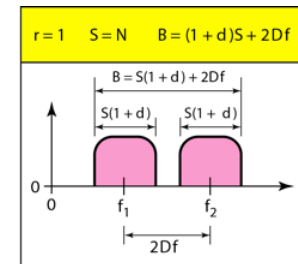
Binary FSK (BFSK)

- Salah satu cara untuk berpikir tentang biner FSK (atau BFSK) adalah mempertimbangkan dua frekuensi pembawa.
- Namun, perlu diketahui bahwa ini adalah contoh realistis hanya digunakan untuk tujuan demonstrasi. Biasanya frekuensi pembawa yang sangat tinggi, dan perbedaan antara mereka sangat kecil.



- Gambar diatas menunjukkan, salah satu bandwidth dengan frekuensi tengah adalah f_1 dan f_2 untuk bandwidth yang lain. Kedua f_1 and f_2 terpisah dari titik tengah antara dua band. Kita bisa menyamakan FSK sebagai dua sinyal ASK, masing-masing dengan operator sendiri frekuensi f_1 atau f_2 .
- Jika perbedaan antara dua frekuensi adalah $2Df$, maka bandwidth yang dibutuhkan adalah :

$$B = (1 + d) \times S + 2\Delta f$$



Contoh Soal

- Terdapat bandwidth yang tersedia sebesar 100 kHz yang membentang 200-300 kHz. Berapa frekuensi pembawa dan bit rate jika kita memodulasi data dengan menggunakan Modulasi FSK dengan nilai $d=1$?
- Solusi :
Frekuensi tengah bandwidth terletak pada 250kHz. Ini berarti bahwa frekuensi pembawa (carrier) berada pada $f_c=250\text{kHz}$. Kita dapat menggunakan rumus untuk bandwidth untuk menemukan bit rate (dengan $d=1$ dan $r=1$).

$$B = (1 + d) \times S + 2\Delta f$$

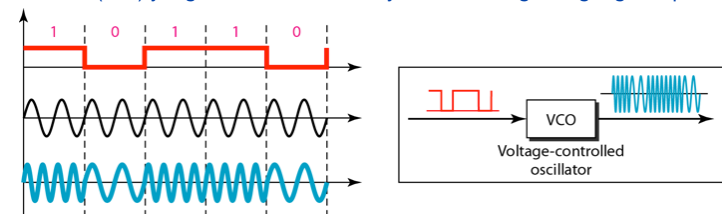
$$100 = (1 + 1) \times N \times \frac{1}{r} + 2\Delta f$$

$$N = 25 \text{ kbps}$$

- perhatian: bit rate untuk ASK adalah 50kbps sedangkan bit rate untuk FSK adalah 25kbps

Implementasi BFSK

- Ada dua implementasi BFSK yaitu non koheren dan koheren.
 - Dalam BFSK non koheren, mungkin ada diskontinuitas dalam fase ketika satu elemen sinyal berakhir dan berikutnya dimulai.
 - Dalam BFSK koheren, fase terus melalui batas dari dua elemen sinyal. BFSK nonkoheren dapat diimplementasikan dengan memperlakukan BFSK sebagai dua ASK modulasi dan menggunakan dua frekuensi pembawa. BFSK Koheren dapat diimplementasikan dengan menggunakan salah satu osilator tegangan yang dikendalikan (Vco) yang berubah frekuensinya sesuai dengan tegangan input



Multilevel Frequency Shift Keying (MFSK)

- Modulasi bertingkat (MFSK) tidak jarang dengan metode FSK. Kita dapat menggunakan lebih dari dua frekuensi. Sebagai contoh, kita dapat menggunakan empat Frekuensi f_1, f_2, f_3, f_4 untuk mengirim 2 bit pada satu waktu. Untuk mengirim 3 bit pada satu waktu, kita dapat menggunakan 8 frekuensi, dan seterusnya. Namun, kita perlu ingat bahwa frekuensi harus $2\Delta f$ terpisah. Untuk pengoperasian yang tepat dari modulator dan demodulator, dapat ditunjukkan bahwa nilai minimal $2\Delta f$ menjadi S . Kita dapat menunjukkan bahwa bandwidth dengan $d = 0$ adalah

$$B = (1+d) \times S + (L - 1) 2\Delta f$$

$$B = L \times S$$

Contoh Soal

- Kita perlu mengirim data 3 bit pada satu waktu pada bit rate dari 3 Mbps. Frekuensi pembawa 10 MHz. Hitung jumlah tingkat (frekuensi yang berbeda), baud rate, dan bandwidth.

Solusi :

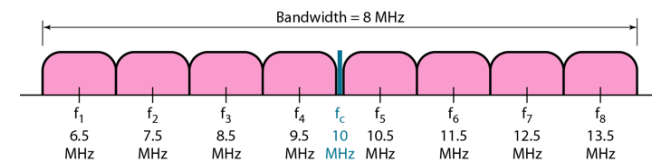
Kita dapat memiliki $L = 2^3 = 8$.

Tingkat baud adalah $S = 3 \text{ MHz} / 3 = 1000 \text{ Mbaud}$.

Ini berarti bahwa frekuensi pembawa harus 1MHz terpisah ($2\Delta f = 1 \text{ MHz}$).

Bandwidth $B = 8 \times 1000 = 8000$.

Gambar dibawah menunjukkan alokasi frekuensi dan bandwidth.



Phase Shift Keying (PSK)

- Dalam pergeseran fasa keying, fase dari carrier bervariasi untuk mewakili dua atau lebih elemen sinyal yang berbeda. Kedua puncak amplitudo dan frekuensi tetap konstan sebagai perubahan fasa. Hari ini, PSK lebih umum daripada ASK atau FSK.
- Namun, kita akan melihat bahwa QAM, yang menggabungkan ASK dan PSK, adalah metode dominan data digital ke sinyal analog.

Binary PSK (BPSK)

- Para PSK yang paling sederhana adalah PSK biner, di mana kita hanya memiliki dua elemen sinyal, satu dengan fase 0° , dan yang lainnya dengan fase 180° .

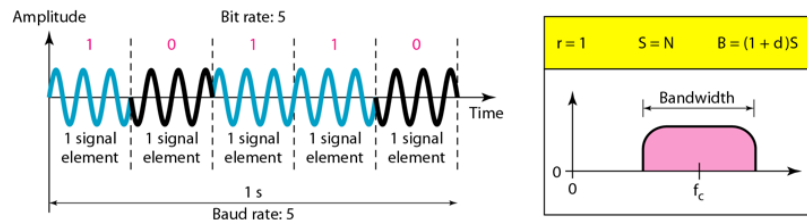
$$s_1(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi_1)$$

$$s_1(t) = A \sin(2\pi f t + 0^\circ) \rightarrow \text{mewakili bit 1}$$

$$s_2(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi_2)$$

$$s_2(t) = A \sin(2\pi f t + 180^\circ) \rightarrow \text{mewakili bit 0}$$

- Binary PSK adalah yang sederhana seperti biner ASK dengan satu keuntungan besar yaitu tidak rentan terhadap noise.
- Pada ASK, kriteria untuk deteksi bit adalah amplitudo sinyal, dalam PSK, itu adalah fasa. Gangguan berupa noise (impulse noise) dengan mudah mengubah amplitudo daripada mengubah fasa. Dengan kata lain, PSK tidak rentan terhadap noise dibandingkan ASK.
- PSK lebih unggul FSK karena kita tidak memerlukan dua sinyal yang harus beroperasi



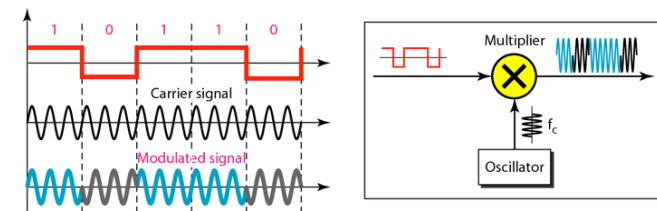
- Bandwidth adalah yang sama dengan biner ASK, Tidak ada bandwidth yang terbuang untuk memisahkan dua sinyal operator.
- Implementasikan BPSK adalah yang sederhana seperti untuk ASK. Alasannya adalah bahwa elemen sinyal dengan fase 180° dapat dilihat sebagai komplemen dari elemen sinyal dengan fase 0° . Ini memberi kita petunjuk tentang bagaimana menerapkan BPSK. Kami menggunakan ide yang sama kita gunakan untuk ASK tetapi dengan sinyal NRZ kutub bukan sinyal NRZ unipolar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. Kutub Sinyal NRZ dikalikan dengan frekuensi pembawa, sedangkan bit 1 (tegangan positif) diwakili oleh fasa dimulai dari 0° dan bit 0 (tegangan negatif) diwakili oleh fasa dimulai pada 180° .

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

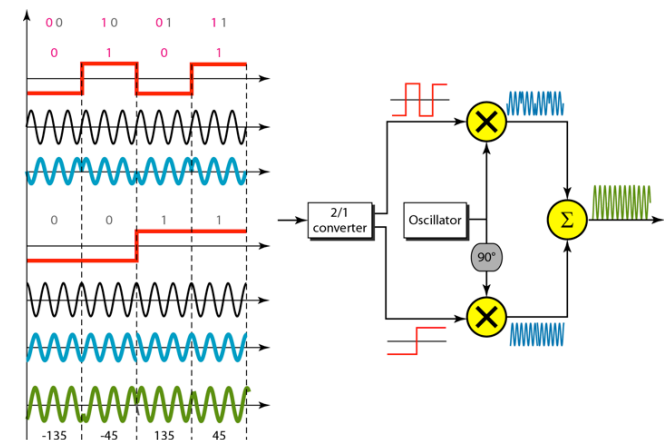
- Desain BPSK yang sederhana yaitu hanya dapat mengubah 1 bit dalam satu waktu untuk setiap elemen sinyal.
- Untuk mendapatkan bit rate yang lebih besar, dengan bandwidth yang sama yaitu menggunakan skema Quadrature Phase Shift Keying (QPSK).
- Dengan menggunakan amplituda dan frekuensi yang sama, namun dengan fasa yang berbeda.

$$\begin{aligned}
 s_1(t) &= A \sin(2\pi f t + 0^\circ) && \rightarrow \text{mewakili bit } 00 \\
 s_2(t) &= A \sin(2\pi f t + 90^\circ) && \rightarrow \text{mewakili bit } 01 \\
 s_3(t) &= A \sin(2\pi f t + 180^\circ) && \rightarrow \text{mewakili bit } 10 \\
 s_4(t) &= A \sin(2\pi f t + 270^\circ) && \rightarrow \text{mewakili bit } 11
 \end{aligned}$$

Implementasi BPSK



Modulator QPSK



Transmitter QPSK

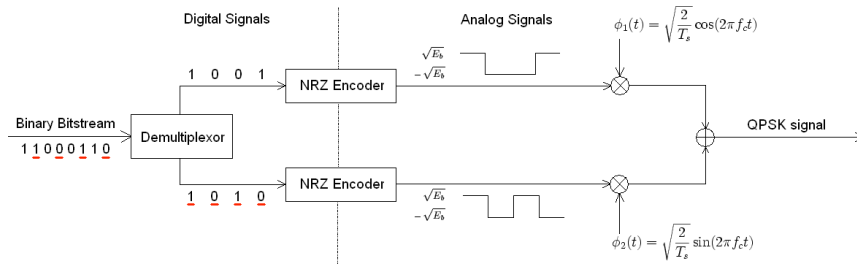
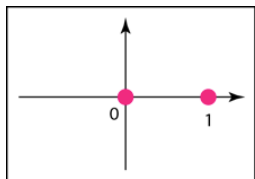
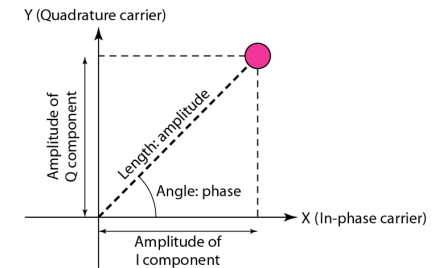
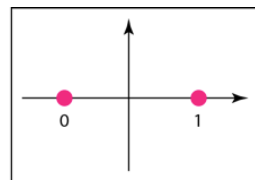


Diagram konstelasi

- Sebuah diagram konstelasi dapat membantu kita melihat amplituda dan fasa dari elemen sinyal, terutama ketika kita menggunakan dua pembawa (yaitu satu - fasa dan satu quadrature) , Diagram berguna saat kita berhadapan dengan multilevel ASK, PSK, atau QAM.
- Dalam diagram konstelasi, jenis elemen sinyal direpresentasikan sebagai sebuah titik (dot).
- Bit atau kombinasi bit dapat membawa sering ditulis sebelahnya .
- Diagram ini memiliki dua sumbu. Sumbu horisontal X berkaitan dengan carrier-fase , sumbu Y vertikal terkait dengan carrier-quadrature .

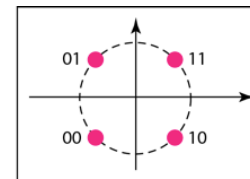


a. ASK (OOK)



b. BPSK

- Untuk ASK , kita hanya menggunakan sebuah sumbu fasa. Oleh karena itu , dua titik harus pada sumbu X . Biner 0 memiliki amplitudo 0 V; biner 1 memiliki amplitudo 1V (misalnya) . Titik yang terletak di titik asal dan pada 1 unit .
- BPSK juga hanya menggunakan sumbu fasa. dikarenakan menggunakan sinyal NRZ kutub untuk modulasi . Ini menciptakan dua jenis elemen sinyal , satu dengan amplitudo 1 dan yang lainnya dengan amplitudo -1 . Hal ini dapat dinyatakan dengan kata lain : BPSK menciptakan dua elemen sinyal yang berbeda, satu dengan amplitudo 1V dan dalam fase 0° dan yang lain dengan amplitudo -1V dan 180°.



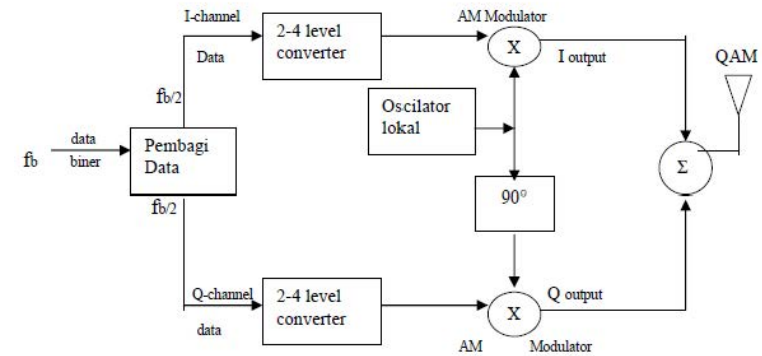
c. QPSK

- QPSK menggunakan dua operator , satu di fasa dan quadrature di lainnya .

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

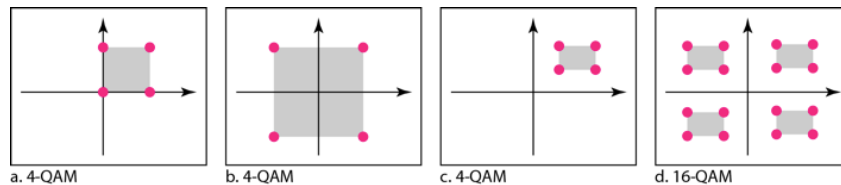
- Quadrature amplitude modulation (QAM) adalah sebuah skema modulasi yang membawa data dengan mengubah (memodulasi) amplitudo dari dua gelombang pembawa. Kedua gelombang tersebut, biasanya sinusoidal, berbeda fase dengan yang lainnya sebesar 90° dan oleh karena itu disebut carrier-quadrature.
- QAM mengkombinasikan antara ASK dan PSK. Jadi konstelasi sinyalnya berubah sesuai amplitude (jarak dari titik asal ke titik konstelasi) juga berdasarkan phase (titik konstelasi tersebar di bidang kompleks).

Implementasi QAM



Gambar-1 : Pemancar QAM

Diagram konstelasi QAM



Implementasi QAM

- A variety of communication protocols implement quadrature amplitude modulation (QAM). Current protocols such as 802.11b wireless Ethernet (Wi-Fi) and digital video broadcast (DVB), for example, both utilize 64-QAM modulation. In addition, emerging wireless technologies such as Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), 802.11n, and HSDPA/HSUPA (a new cellular data standard) will implement QAM as well. Thus, understanding QAM is important because of its widespread use in current and emerging technologies.