

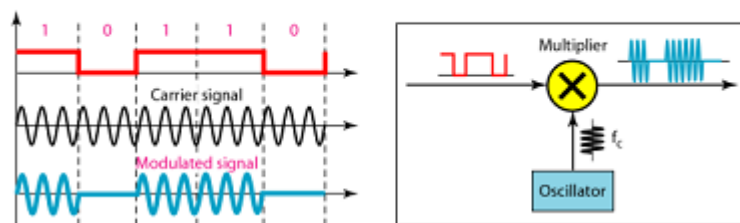
Digital to Analog Conversion

- 아날로그 시그널의 특징 하나를 바꿔서 디지털 시그널을 표현하는데에 사용 할 수 있음
- Digital Data -> Analog Signal
- Bit rate : bps
- Baud rate : signal elements / S = N * 1/r
 - s = signal rate, N = bit rate, r = log₂ L
 - 디지털 데이터의 아날로그 tx에서 baud rate <= bit rate
- Carrier signal(Carrier Frequency, f_c)
 - Transmitted Electromagnetic Pulse or Wave at a steady base frequency of alternation on which information can be imposed
 - 시그널 강도, base frequency 변화, wave phase 변경 등의 수단으로 전달
 - 이 변화가 Modulation
 - 아날로그 sender는 고주파를 보냄(정보 시그널의 base 역할)
 - this base signal is called **fc** (carrier signal / carrier frequency)
 - 디지털 정보는 이 f_c 의 **characteristics**를 하나 변경해서 변화시킴(Modulation)
 - Amplitude
 - Frequency
 - Phase
 - receiver가 이 Carrier Signal을 tune함

Amplitude Shift Keying(ASK)

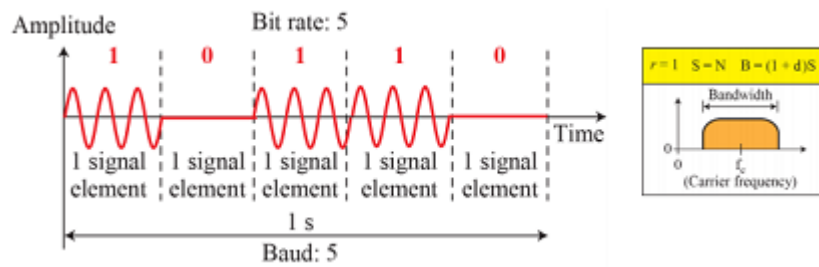
- 시그널 엘리먼트 생성을 위해 Carrier Signal의 Amplitude를 변화시킴
- 나머지 Frequency와 Phase는 같은 값 계속 유지

Example of carrier signal (f_c) in ASK

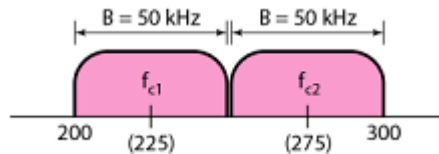


Binary ASK(BASK)

- 두개의 레벨만 사용해서 구현한 ASK
- On-off Keying(**OOK**)로 불리기도 함
- 낮은 레벨 = 이진수 0, 높은 진폭 = 이진수 1

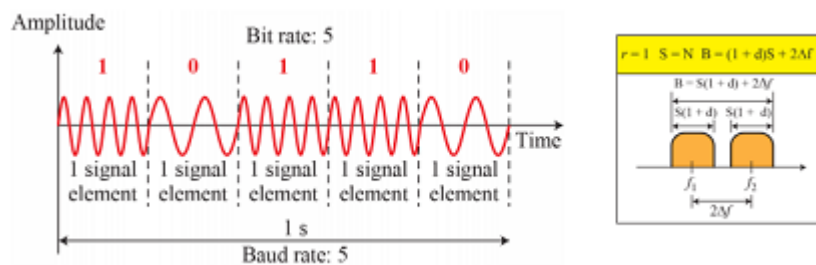


- Bandwidth = $(1+d) * S$
 - $0 \leq d \leq 1$ (Modulation / Filtering Process에 따라 바뀜), S = Signal Rate
- Bandpass 채널이 가용하면, 해당 Bandpass의 F_c 가 선택됨
- Full-Duplex Link를 양방향 통신에 사용하면, Bandwidth를 반으로 갈라서 두개의 Carrier Frequency가 필요하게 됨 -> Data rate가 그만큼 줄어듦



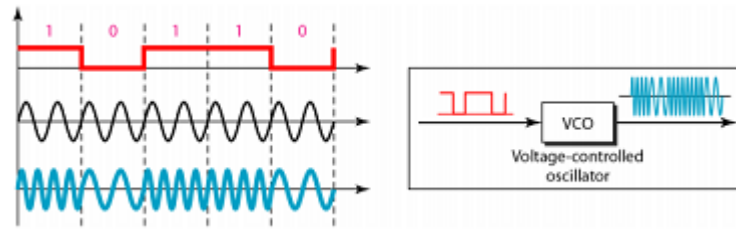
Frequency Shift Keying(FSK)

- Carrier Signal의 Frequency를 변경해서 데이터를 표현
- 하나의 시그널 엘리먼트 도중에는 **Constant** 하지만, 데이터 엘리먼트가 바뀌면 다음 시그널 엘리먼트때는 변경되도록 함
- 나머지 Amplitude, Phase는 **CONSTANT**
- 두개의 Carrier Frequency
 - $F_1 : 0$
 - $F_2 : 1$



Binary FSK (BFSK)

- $B = (1+d) * S + 2\Delta f$
 - S : Signal Rate, $0 \leq d \leq 1$, Δf : f_1 과 f_2 의 차이
- Coherent(논리정연한) Implementation
 - VCO(Voltage Contolled Oscillator)를 사용
 - Input Signal Frequency를 input voltage에 대응하여 바꿈

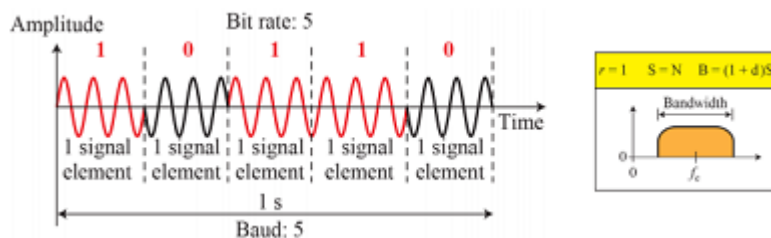


Phase Shift Keying(PSK)

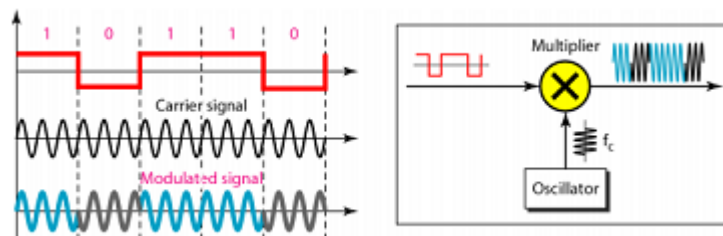
- 두개 이상의 다른 시그널 엘리먼트를 표현하기 위해 Carrier Signal의 Phase를 활용
- Amplitude, Frequency는 **CONSTANT**
- ASK, FSK에 비해 **흔하게 사용됨**
- QAM(Quadrature Amplitude Modulation) : ASK와 PSK를 섞은 개념
 - 가장 많이 쓰임

Binary PSK (BPSK)

- bit 1 : Phase 0°
- bit 0 : Phase 180°



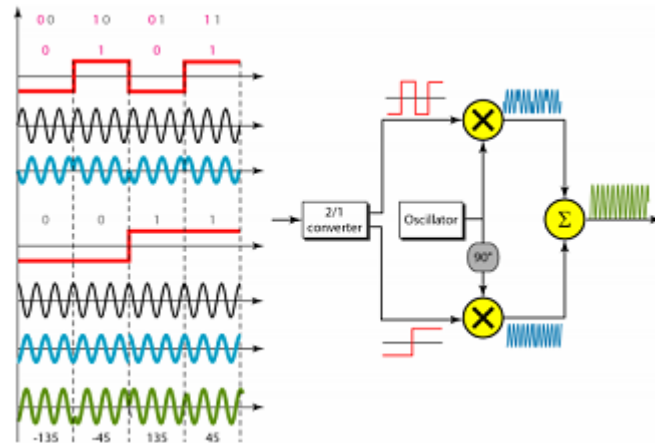
- 장점
 - ASK에 비해 Noise에 덜 민감하다
 - FSK보다 뛰어나다(두개의 Carrier를 필요로 하지 않음)
- 단점
 - 더 복잡한 하드웨어가 필요함(Phase를 구분하기 위해)
- Bandwidth : ASK와 같음 ($B = (1+d) * S$)
 - BFSK보다 작음(낭비되는 carrier signal이 없다)



Quadrature PSK (QPSK)

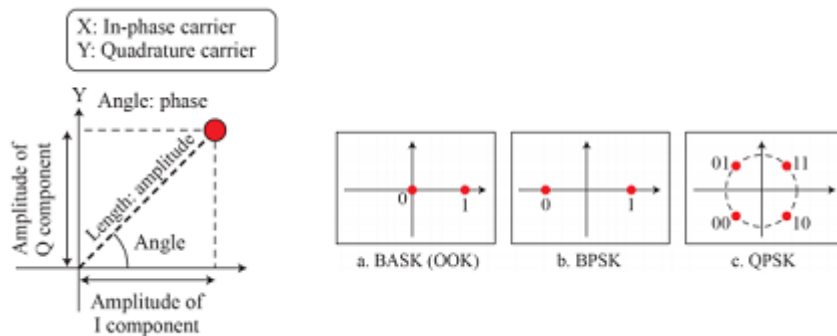
- 각각의 Signal Element에 2개의 비트를 사용
- 두개의 다른 BPSK Modulation을 사용함
 - 하나는 in-phase

- 다른 하나는 out-of-phase(= Quadrature)
- 들어오는 비트들은 먼저 Serial-to-Parallel Conversion을 거침
 - 하나는 Modulator로, 다음 비트는 다른 Modulator로
- 결과로 만들어진 2개의 복합시그널은 같은 Frequency를 가진 Sine Wave지만 **Phase가 다름**
- 이 2개의 복합시그널을 합치면 또다른 Sine Wave가 됨
 - 4개의 가능한 Phase : 45 / -45 / 135 / -135
 - 4개의 Output Signal(L = 4), 따라서 하나의 시그널 엘리먼트에 2개의 비트를 보낼 수 있음



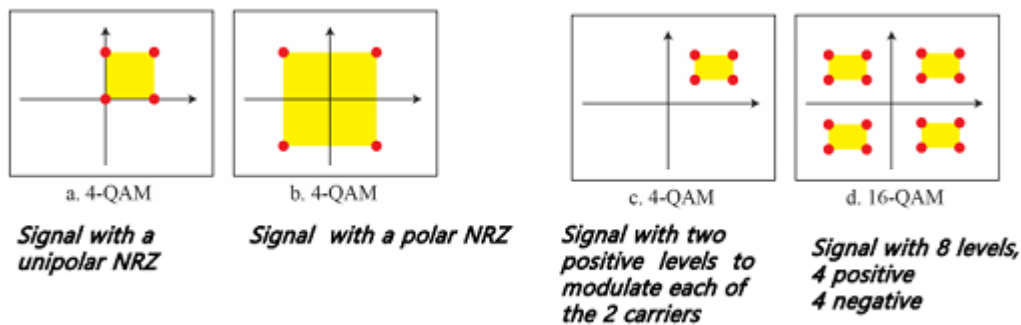
Constellation Diagram

- Signal Components modulated by a digital modulation scheme의 그래픽 표현
 - 시그널은 2차원 스캐터 다이어그램으로 표현
 - Signal Element Type을 Dot(X,Y)으로 표현



Quadrature Amplitude Modulation(QAM)

- PSK : Limited by the ability of the equipment to **distinguish small differences** in phase
- ASK와 PSK를 합쳐서 quadrature와 Amplitude Level을 동시에 사용한다면?
- 4-QAM : Signal Element Type이 4개
- 16-QAM : Signal Element Type이 16개

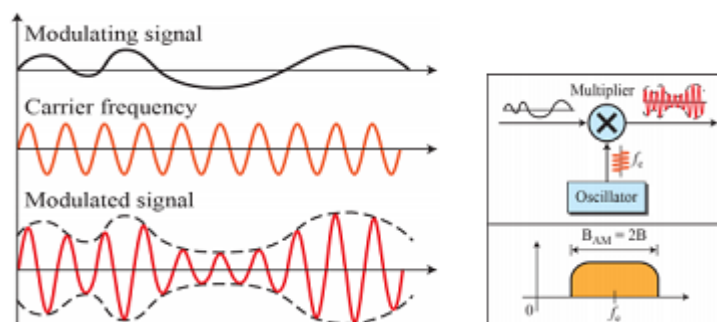


Analog-To-Analog Conversion

- Analog 정보를 Analog 시그널로 표현하는 법
- Modulation이 필요할 때
 - The medium is bandpass in nature
 - Only bandpass channel is available to us

Amplitude Modulation(AM)

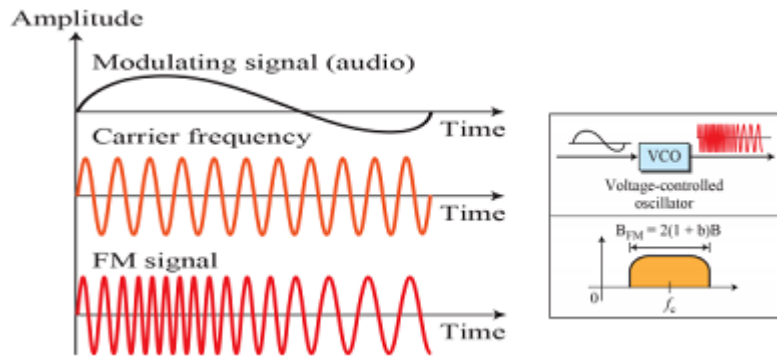
- Carrier Signal is modulated so that its amplitude varies with the changing amplitudes of the modulating signal
- Frequency와 Phase는 **CONSTANT**
- 주로 하나의 Multiplier를 사용해 구현(Amplitude가 Modulating Signal에 대응되게 바뀌어야 하기 때문)



- $B_{AM} = 2B$
 - B = Bandwidth of the modulating (audio) signal
- AM Radio의 경우 : Audio 시그널의 $B = 5 \text{ KHz}$, 각 라디오 스테이션 별로 10KHz씩 할당
 - 총 AM Band = 530 ~ 1700 KHz
 - Guard Band(최소 10KHz)가 필요함(Signal 혼잡을 막기 위해)

Frequency Modulation (FM)

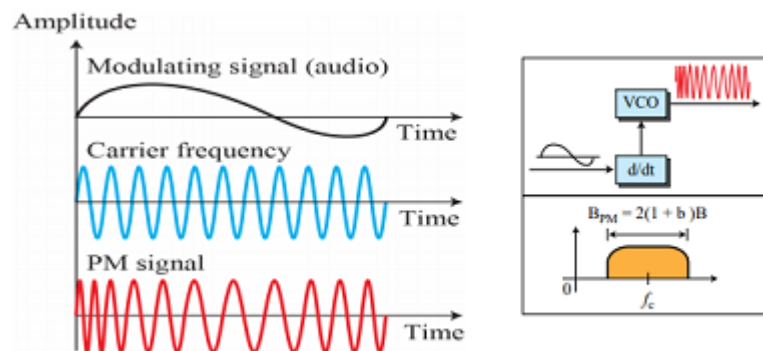
- Modulating Signal의 Voltage Level(Amplitude) 변화를 따라가기 위해 Carrier Signal의 Frequency를 Modulate
- Amplitude, Phase는 **CONSTANT**
- Modulating Signal의 **Amplitude**가 바뀌면, Carrier의 **Frequency**가 대응되게 변화함
 - VCO가 진폭에 따라서 Modulated Signal 생산



- $B_{FM} = 2(1 + \beta) B$
 - β = factor depending on modulation technique(주로 4), B = modulating signal의 Bandwidth
- FM Radio의 경우 : Stereo service를 위해 15KHz Bandwidth 필요
 - 각 FM Station에 200KHz 허용
 - 최소 200KHz의 Guard Band가 필요함(Signal 혼잡을 막기 위해)
 - β 값 때문에 더 많은 **Guard Band**가 필요함
 - 총 FM Band = 88 ~ 108 MHz
 - 잠재적으로 100개의 FM bandwidth 존재
 - Alternate Bandwidth만 할당에 사용, 나머지는 Guard Band를 위해 사용 안함
 - 50개가 한번에 동작 가능

Phase Modulation (PM)

- Modulating Signal의 Voltage Level(Amplitude) 변화를 따라가기 위해 Carrier Signal의 Phase를 Modulate
- Amplitude, Frequency는 **CONSTANT**
- Amplitude에 대응되도록 Carrier Signal의 Phase가 변화



- $B_{PM} = 2(1 + \beta) B$
 - β = factor depending on modulation technique, B = Modulating Signal의 Bandwidth
 - β 값은 경험적으로 얻어짐
 - FM과 같지만, β 값이 narrowband에서 1, wideband에서 3임

