

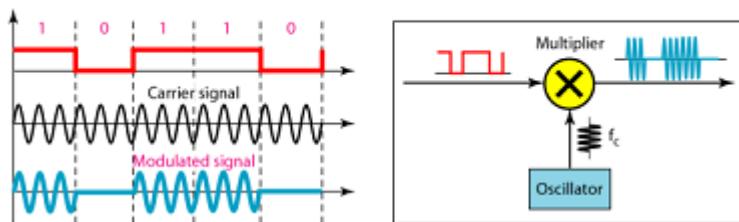
# Digital to Analog Conversion

- 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 =  $\log_2 L$
  - 디지털 데이터의 아날로그 tx에서 baud rate <= bit rate
- Carrier signal(Carrier Frequency, fc)
  - 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 fc의 **characteristics**를 하나 변경해서 변화시킴(Modulation)
    - Amplitude
    - Frequency
    - Phase
  - receiver가 이 Carrier Signal을 tune함

## Amplitude Shift Keying(ASK)

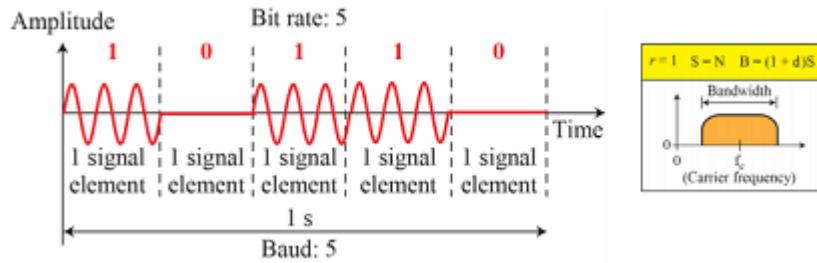
- 시그널 엘리먼트 생성을 위해 Carrier Signal의 Amplitude를 변화시킴
- 나머지 Frequency와 Phase는 같은 값 계속 유지

*Example of carrier signal ( $f_c$ ) in ASK*

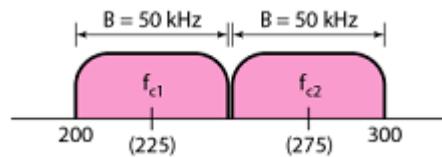


## Binary ASK(BASK)

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

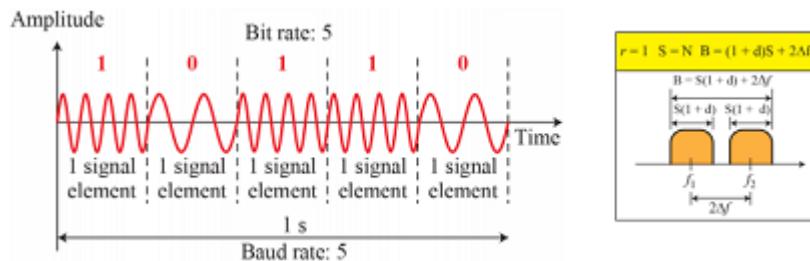


- Bandwidth =  $(1+d) * S$ 
  - $0 \leq d \leq 1$  (Modulation / Filtering Process에 따라 바뀜),  $S$  = Signal Rate
- Bandpass 채널이 사용하면, 해당 Bandpass의  $f_c$ 가 선택됨
- Full-Duplex Link를 양방향 통신에 사용하면, Bandwidth를 반으로 갈라서 두개의 Carrier Frequency가 필요하게 됨 -> Data rate가 그만큼 줄어듬



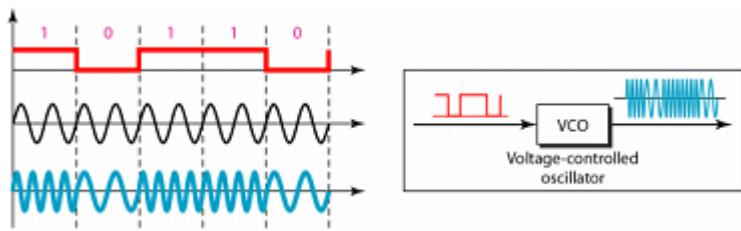
## Frequency Shift Keying(FSK)

- 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
  - F1 : 0
  - F2 : 1



## Binary FSK (BFSK)

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

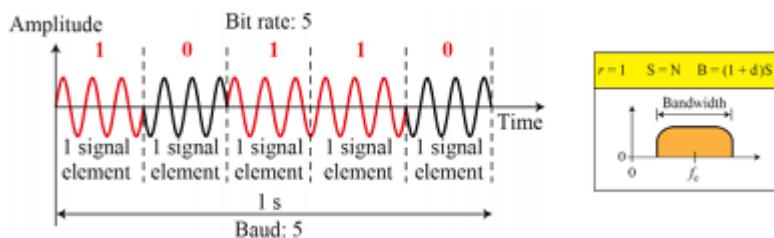


## Phase Shift Keying(PSK)

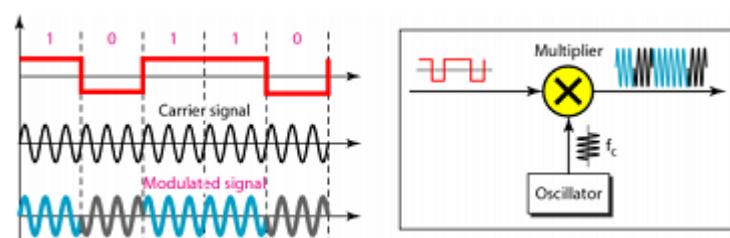
- 두개 이상의 다른 시그널 엘리먼트를 표현하기 위해 Carrier Signal의 Phase를 활용
- Amplitude, Frequency는 **CONSTANT**
- ASK, FSK에 비해 흔하게 사용됨
- QAM(Quadrature Amplitude Modulation) : ASK와 PSK를 섞은 개념
  - 가장 많이 쓰임

## Binary PSK (BPSK)

- bit 1 : Phase  $0^\circ$
- bit 0 : Phase  $180^\circ$



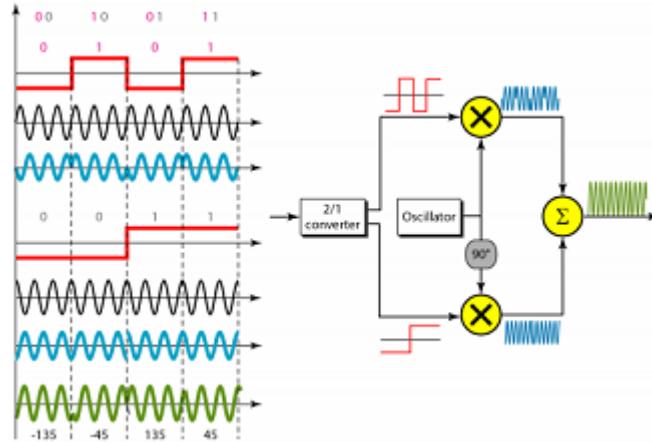
- 장점
  - ASK에 비해 Noise에 덜 민감하다
  - FSK보다 뛰어나다(두개의 Carrier를 필요로 하지 않음)
- 단점
  - 더 복잡한 하드웨어가 필요함(Phase를 구분하기 위해)
- Bandwidth : ASK와 같음 ( $B = (1+d) * S$ )
  - BFSK보다 작음(낭비되는 carrier signal이 없다)



## Quadrature PSK (QPSK)

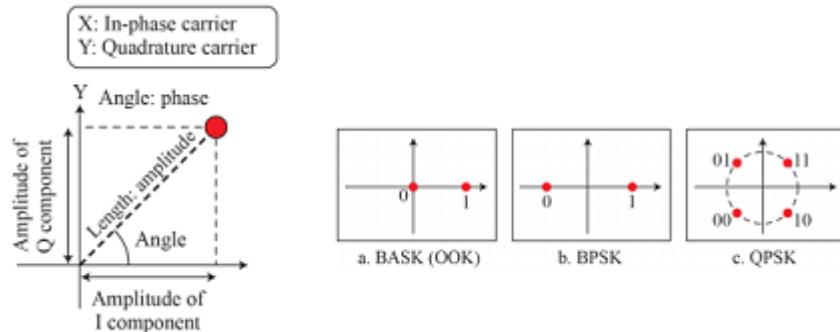
- 각각의 Signal Element에 2개의 비트를 사용
- 두개의 다른 BPSK Modulation을 사용함
  - 하나는 in-phase

- 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



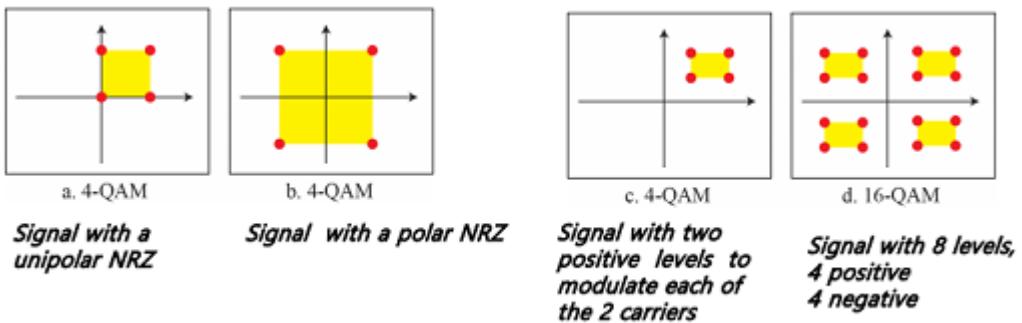
## Constellation Diagram

- 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

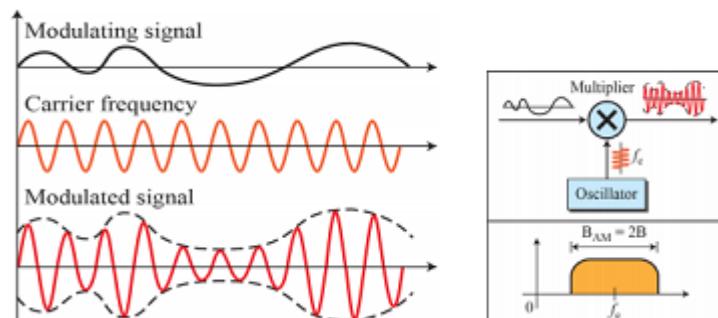


## Analog-To-Analog Conversion

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

## Amplitude Modulation(AM)

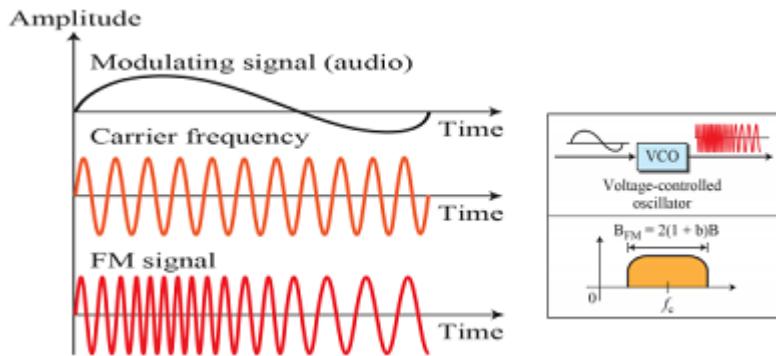
- Carrier Signal is modulated so that its amplitude varies with the changing amplitudes of the modulating signal
- Frequency와 Phase는 **CONSTANT**
- 주로 하나의 Multiplier를 사용해 구현(Amplitude가 Modulating Signal에 대응되게 바껴야되기 때문)



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

## Frequency Modulation (FM)

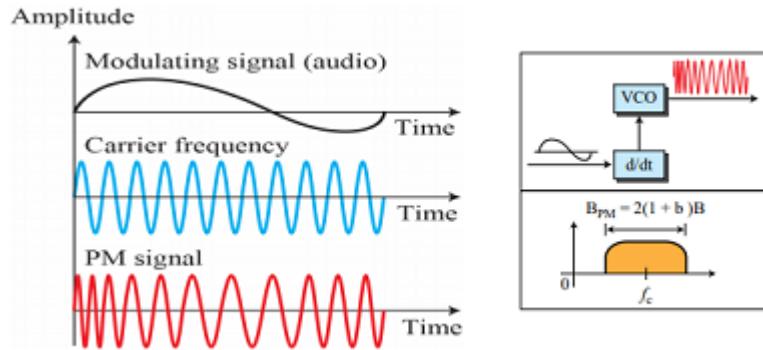
- Modulating Signal의 Voltage Level(Amplitude) 변화를 따라가기 위해 Carrier Signal의 Frequency를 Modulate
- Amplitude, Phase는 **CONSTANT**
- Modulating Signal의 **Amplitude**가 바뀌면, Carrier의 **Frequency**가 대응되게 변화함
  - VCO가 진폭에 따라서 Modulated Signal 생산



- $B_{FM} = 2(1 + \beta) B$ 
  - $\beta$  = 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)
    - $\beta$  값 때문에 더 많은 Guard Band가 필요함
  - 총 FM Band = 88 ~ 108 MHz
  - 잠재적으로 100개의 FM bandwidth존재
  - 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



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

