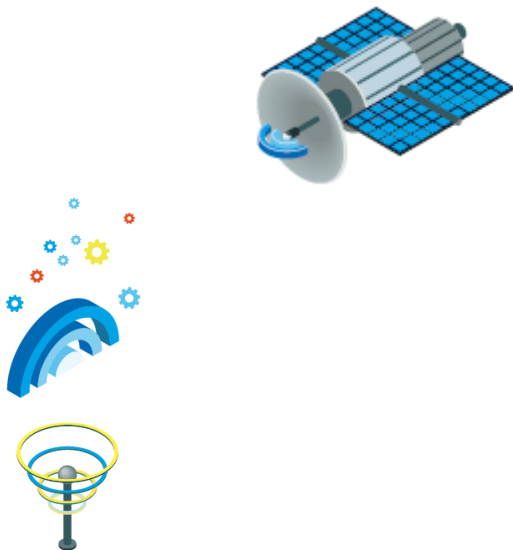


# 강의교안 이용 안내

- 본 강의교안의 저작권은 김영길과 한빛아카데미(주)에 있습니다.
- 이 자료를 무단으로 전제하거나 배포할 경우 저작권법 136조에 의거하여 벌금에 처할 수 있고 이를 병과(併科)할 수도 있습니다.





## CHAPTER 03

# 각 변조 방식

# 기초 통신이론

디지털 통신 중심으로

# C.ontents

---

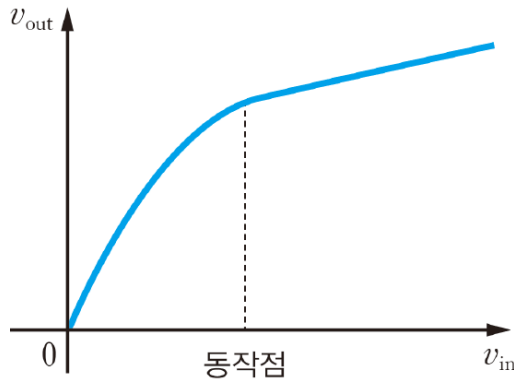
- 3.1 각 변조의 원리
- 3.2 PM
- 3.3 FM
- 3.4 PLL
- 3.5 슈퍼헤테로다인 수신기



## 3.1 각 변조의 원리

## 3.1 각 변조의 원리

- 앰프의 비선형성



[그림 3-1] 비선형 앰프의 입력 신호  $v_{in}$  과 출력 신호  $v_{out}$

- 각 변조

변조된 신호  $x(t)$ 의 각에 정보가 있다. 변조된 신호의 진폭은 일정하다. 따라서 송신단 앰프의 동작점이 일정하고 앰프의 비선형성 문제가 크지 않다.

## 3.1 각 변조의 원리

- 각 변조의 변조된 신호

$$x(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + \phi(t)] \quad (3.1)$$

- 각 변조의 송신전력

$$\begin{aligned} \langle x^2(t) \rangle &= \langle A_c^2 \cos^2 [2\pi f_c t + \phi(t)] \rangle \\ &= A_c^2 \left\langle \frac{1 + \cos [4\pi f_c t + 2\phi(t)]}{2} \right\rangle = \frac{1}{2} A_c^2 \end{aligned}$$

각 변조의 경우 송신전력은 메시지 신호와 무관하다.

## 3.1 각 변조의 원리

### 예제 3-1

다음 변조된 신호의 평균 전력을 구하시오. 단,  $m(t)$ 는 대역폭이  $f_c$ 보다 매우 작은 베이스밴드 신호이다.

$$(a) \ x(t) = \cos[2\pi f_c t + m(t)] \qquad (b) \ x(t) = 2\cos\left[2\pi f_c t + \frac{d}{dt}m(t)\right]$$

### 풀이

$$(a) \text{ 평균 전력 } \langle x^2(t) \rangle = \langle \cos^2[2\pi f_c t + m(t)] \rangle = \frac{1}{2}$$

$$(b) \text{ 평균 전력 } \langle x^2(t) \rangle = \left\langle 4\cos^2\left[2\pi f_c t + \frac{d}{dt}m(t)\right] \right\rangle = 2$$



## 3.2 PM



## 3.2 PM

- **Phase modulation (PM)의 변조된 신호**

$$x(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + k_p m(t)] \quad (3.2)$$

$k_p$ 는 위상 변조 계수

## 3.2 PM

### 예제 3-2

메시지 신호가  $\Pi(t)$  이고, 위상 변조 계수  $k_p = 10$ , 진폭  $A_c = 20$ , 반송 주파수가  $f_c$ 인 PM 변조를 사용한다. 다음 물음에 답하시오.

- (a) 변조된 신호  $x(t)$ 를 구하시오.
- (b) 변조된 신호  $x(t)$ 의 평균 전력을 구하시오.
- (c) 변조된 신호  $x(t)$ 의 순간 위상을 구하시오.

### 풀이

- (a)  $x(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + k_p m(t)] = 20 \cos [2\pi f_c t + 10 \Pi(t)]$
- (b)  $\langle x^2(t) \rangle = \langle 20^2 \cos^2 [2\pi f_c t + 10 \Pi(t)] \rangle = 200$
- (c) 변조된 신호  $x(t)$ 의 순간 위상은  $k_p m(t)$  이다. 따라서 순간 위상은  $10 \Pi(t)$  이다.



## 3.3 FM

## 3.3 FM

- **Frequency modulation (FM)**

- 변조된 신호의 주파수에 정보가 있는 변조

- **FM 변조된 신호**

$$x(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi f_d \int_{t_0}^t m(\alpha) d\alpha + \phi(t_0) \right] \quad (3.3)$$

$f_d$ : 주파수 편차 상수       $\phi(t_0)$ : 시간  $t_0$ 에서 위상

- **FM 변조된 신호의 순간 위상**

$$\phi(t) = 2\pi f_d \int_{t_0}^t m(\alpha) d\alpha + \phi(t_0) \quad (3.4)$$

## 3.3 FM

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = 2\pi f_d m(t)$$

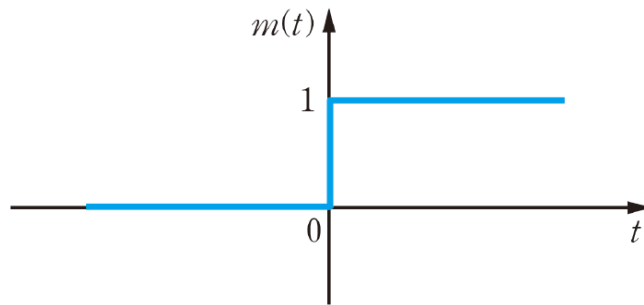
- FM 변조된 신호의 주파수 편차

$$\frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} = f_d m(t)$$

즉, FM에서는 주파수 편차가 메시지 신호에 비례하고, 순간 주파수는  $f_c$ 를 중심으로 변화한다.

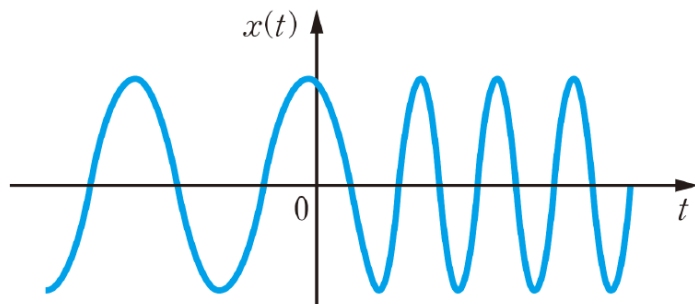
Ex.  $m(t) = 10$ 일 때, FM 변조된 신호의 순간 주파수  $= f_c + 10f_d$

## 3.3 FM



(a)

[그림 3-2] (a) 단위 계단 함수



(b)

(b) 메시지 신호  $m(t)$ 가 단위 계단 함수일 때 FM 변조된 신호  $x(t)$

# FM의 대역폭

- 칼슨의 법칙

$$B = \begin{cases} 2DW, & D \gg 1 \\ 2W, & D \ll 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$D = \frac{f_d \cdot \max |m(t)|}{W} \quad (3.6)$$

$f_d \cdot \max |m(t)|$ 는 최대 주파수 편차

# FM의 복조

- FM 변별기

수신신호  $r(t)$ 가 전송된 신호와 같다고 가정하면

$$x_r(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi f_d \int_{t_0}^t m(\alpha) d\alpha + \phi(t_0) \right] \quad (3.7)$$

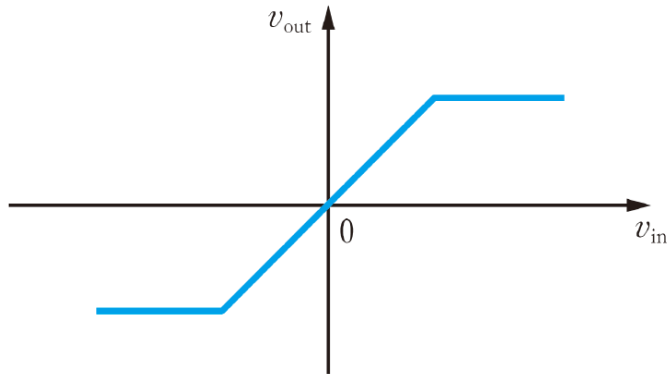
$$\frac{dx_r(t)}{dt} = - \left[ 2\pi f_c + 2\pi f_d m(t) \right] A_c \sin \left[ 2\pi f_c t + 2\pi f_d \int_{t_0}^t m(\alpha) d\alpha + \phi(t_0) \right] \quad (3.8)$$

이것을 포락선 검파하면

$$y(t) = 2\pi A_c [f_c + f_d m(t)] \quad (3.9)$$

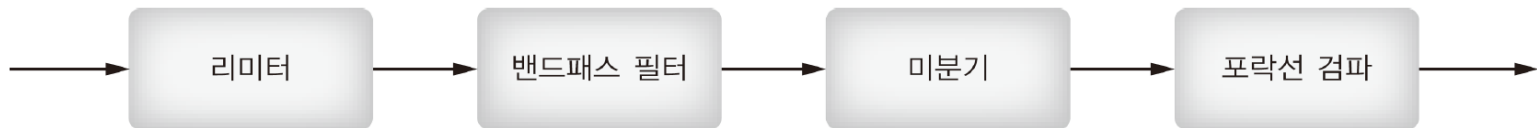


# FM 복조기



[그림 3-3] 리미터의 입력 신호  $v_{in}$  과 출력 신호  $v_{out}$

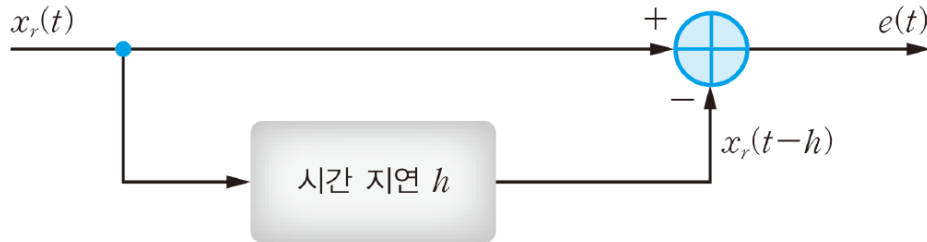
## • FM 복조과정



[그림 3-5] FM 복조 과정

※ 리미터와 밴드패스 필터는 꼭 필요하지는 않다

# 시간 지연을 이용한 미분기의 구현



[그림 3-6] 시간 지연을 이용한 미분기의 근사적 구현

$$e(t) = x_r(t) - x_r(t-h)$$

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{e(t)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{x_r(t) - x_r(t-h)}{h} = \frac{dx_r(t)}{dt}$$

$$e(t) \simeq h \frac{dx_r(t)}{dt} \quad (3.10)$$

**예제 3-3**

메시지 신호  $m(t) = \Pi(t)$ , 주파수 편차 상수  $f_d = 100$ , 진폭이 2인 FM 변조를 사용하려 한다. 다음 물음에 답하시오.

- (a) 변조된 신호  $x(t)$ 를 구하시오.
- (b) 주파수 편차  $\frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt}$ 를 구하시오.
- (c) 어느 시간 구간에서 순간 주파수가 최대가 되는가?

**풀이**

$$(a) \quad x(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi f_d \int^t \Pi(a) da \right] = 2 \cos \left[ 2\pi f_c t + 200\pi \int^t \Pi(a) da \right]$$

$$(b) \quad \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} = f_d m(t) = 100 \Pi(t)$$

- (c)  $100 \Pi(t)$ 는  $-\frac{1}{2} < t < \frac{1}{2}$  일 때 값이 100 이고, 나머지 구간에서는 0 이다. 따라서  $-\frac{1}{2} < t < \frac{1}{2}$  일 때 순간 주파수가  $f_c + 100$ 으로 최대가 된다.

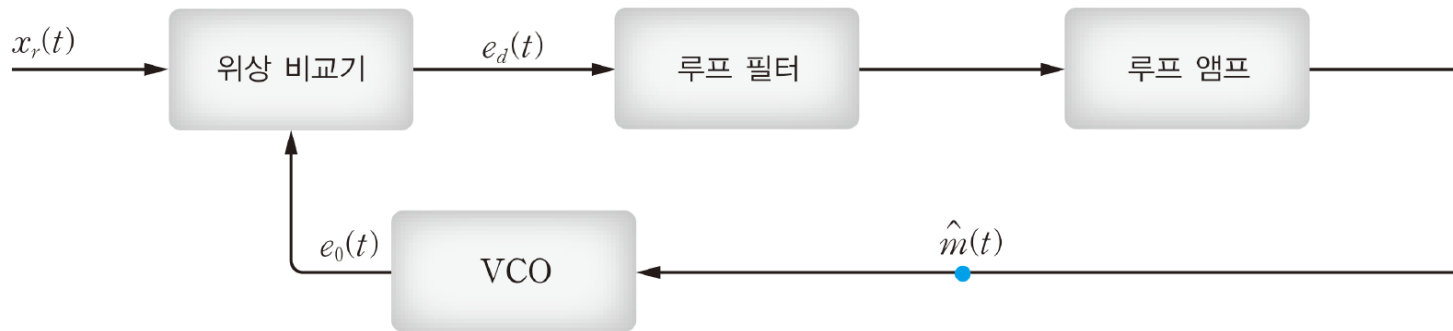


## 3.4 PLL

## 3.4 PLL

- Phase locked loop (PLL)

Feedback을 이용하여 수신 신호의 위상을 따라가는 회로



[그림 3-7] PLL을 이용한 FM 복조

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

$$e_0(t) = A_0 \sin [2\pi f_c t + \theta(t)]$$

$$e_d(t) \simeq A_d [\phi(t) - \theta(t)]$$

## 3.4 PLL

- **Voltage controlled oscillator (VCO)**

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = K_0 \hat{m}(t) \quad (3.11)$$

- VCO 출력 신호의 순간주파수는  $\hat{m}(t)$ 에 비례한다.
- 즉, PLL을 FM 복조기로 사용할 때 VCO의 입력신호  $\hat{m}(t)$ 는 복조된 신호가 되고 VCO는 FM 변조기 역할을 한다.

## 3.4 PLL

### 예제 3-4

[그림 3-7]의 PLL을 FM 복조기로 사용하고 있다. 수신 신호가  $x_r(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + \phi(t)]$  일 때 VCO 출력 신호의 위상을 구하시오. 단, PLL은 완벽하게 FM 복조를 하고 있다고 가정한다.

### 풀이

PLL이 완벽하게 동작하고 있을 때 VCO 출력 신호의 위상은 수신 신호의 위상과 같다. 즉 PLL이 수신 신호를 잘 따라가고 있는 상태이다. 따라서 VCO 출력 신호의 위상은  $\phi(t)$ 이다.



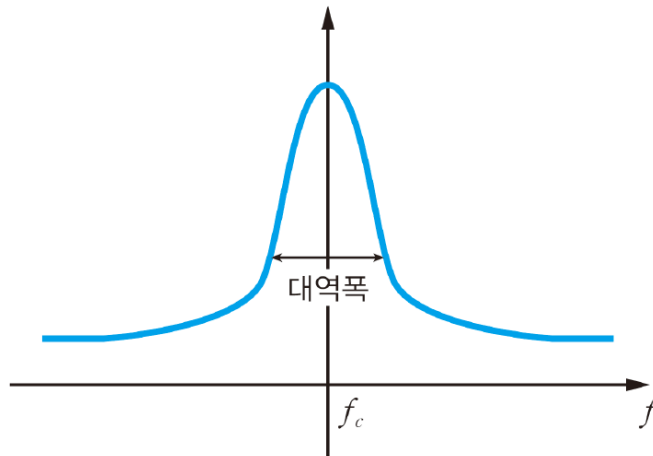
## 3.5 수퍼헤테로다인 수신기



## 3.5 수퍼헤테로다인 수신기

- **Super-heterodyne receiver**

수신된 RF 신호를 바로 베이스밴드로 내리지 않고 IF 주파수를 거쳐서 베이스밴드로 내리는 수신기



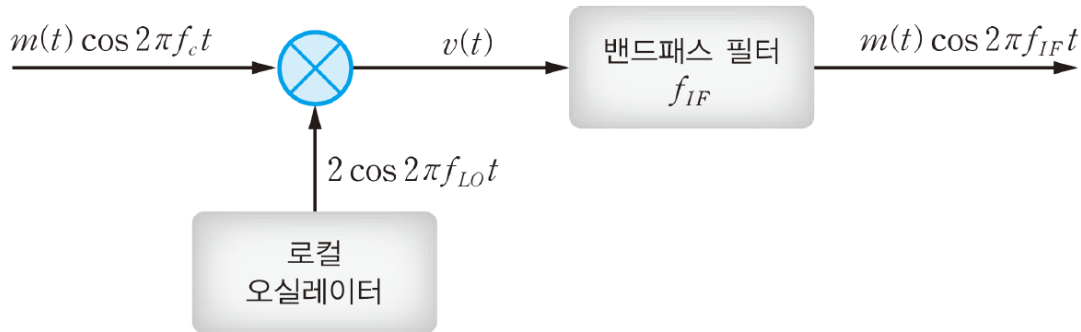
$$Q = \frac{\text{중심 주파수}}{\text{대역폭}} \quad (3.12)$$

[그림 3-8] 중심 주파수가  $f_c$ 인 공진 회로의 주파수 응답

## 3.5 수퍼헤테로다인 수신기

- Q값이 클수록 제작이 어렵다.
- 같은 대역폭에서 중심주파수를 작게하면 Q값이 작아진다.
- **Homodyne receiver (direct conversion or zero-IF)**
  - IF단을 거치지 않고 바로 베이스밴드로 중심주파수를 내린다.
  - 선택도가 작은 단점을 가진다.

# 믹서



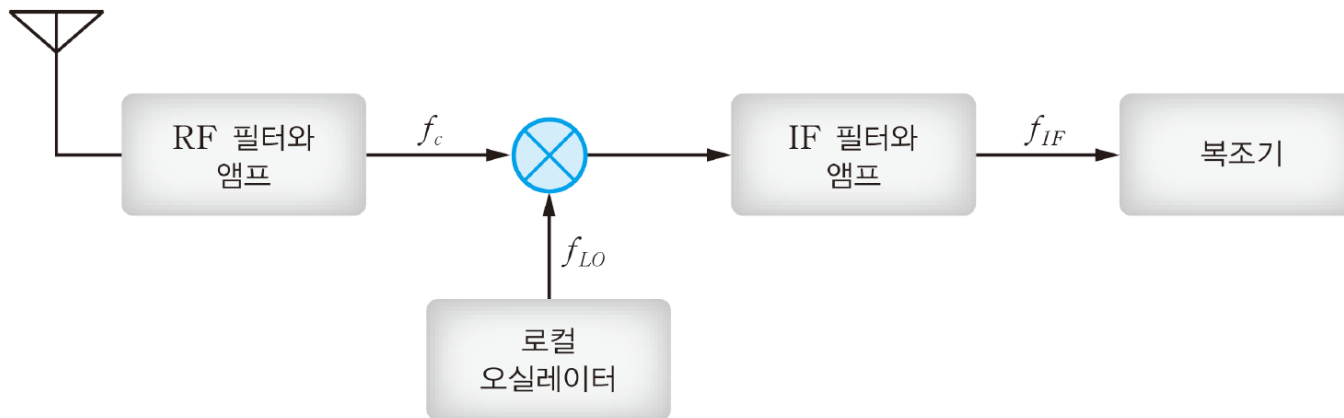
[그림 3-9] 신호의 중심 주파수를  $f_c$ 에서  $f_{IF}$ 로 바꾸어주는 믹서

$$\begin{aligned}
 v(t) &= m(t) \cos 2\pi f_c t \cdot 2 \cos 2\pi f_{LO} t \\
 &= m(t) [\cos 2\pi (f_{LO} + f_c) t + \cos 2\pi (f_{LO} - f_c) t]
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

# 믹서

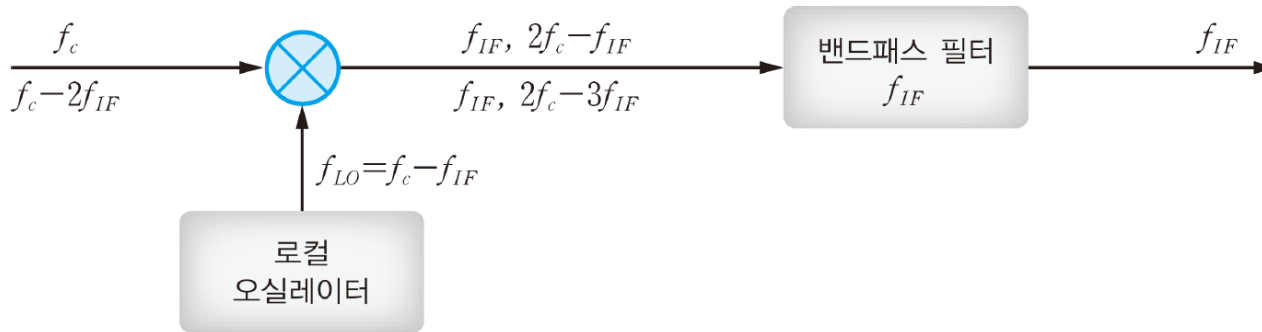
$$f_{LO} = \begin{cases} f_c - f_{IF} & \text{로우사이드 주입} \\ f_c + f_{IF} & \text{하이사이드 주입} \end{cases} \quad (3.14)$$

- 하이사이드 주입의 경우 구현이 간단



[그림 3-10] 수퍼헤테로다인 수신기의 구조

# 이미지 주파수



[그림 3-12] 로우사이드 주입( $f_{LO} = f_c - f_{IF}$ )의 경우 믹서

$f_c - 2f_{IF}$ 는 이미지 주파수이고, 수신단에서는 반드시 RF filter로 제거해야 한다.

# 이미지 주파수

## 예제 3-4

95.9 MHz FM 라디오 방송을 수퍼헤테로다인 수신기로 들으려고 한다. IF 단의 중간 주파수가 10.7 MHz 일 때, 다음 물음에 답하시오.

- (a) 하이사이드 주입의 경우 로컬 오실레이터의 주파수를 구하시오.
- (b) 하이사이드 주입의 경우 믹서회로 출력신호의 주파수를 구하시오.
- (c) 하이사이드 주입의 경우 수퍼헤테로다인 수신기의 RF 필터에서 반드시 제거되어야 하는 간섭 신호의 주파수를 구하시오.

## 풀이

$$(a) f_{LO} = f_c + f_{IF} = 95.9 \text{ MHz} + 10.7 \text{ MHz} = 106.6 \text{ MHz}$$

$$(b) f_c + f_{LO} = 95.9 \text{ MHz} + 106.6 \text{ MHz} = 202.5 \text{ MHz}$$

$$f_{LO} - f_c = 106.6 \text{ MHz} - 95.9 \text{ MHz} = 10.7 \text{ MHz}$$

- (c) 하이사이드 주입의 경우 이미지 주파수는 다음과 같다.

$$f_c + 2f_{IF} = 95.9 \text{ MHz} + 2 \cdot 10.7 \text{ MHz} = 117.3 \text{ MHz}$$



# Q & A

수고하셨습니다.