

2011-2 semester

Communications Laboratory

# Final Report

[06. PAM Demodulation]

담당교수: 박형곤 교수님

제출일: 2011. 11. 13 (월)

실험 3조 (조원 이름들)

전자과 학번

이름

## 1. 실험 목표

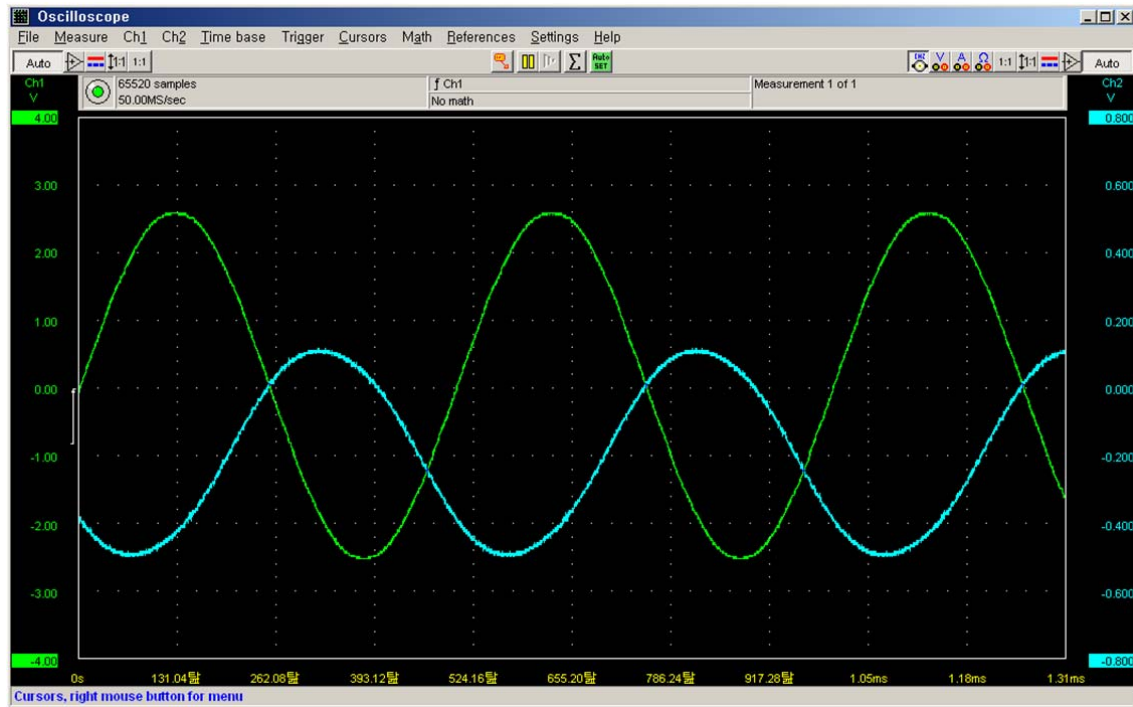
- PAM 신호의 Demodulation을 한다.
- Nyquist Rate와 Demodulation의 관계를 파악한다.
  - $F_s > 2F_m$
  - $F_s = 2F_m$
  - $F_s < 2F_m$
- Cutoff Frequency 의 변화와 Demodulation 을 파악한다.

## 2. 실험 결과

### Figure01. PAM 신호 Filter 통과

Channel1: 2Khz, 5Vpk\_pk message signal

Channel2: Filter 통과



a. Why do you think that the results are important?

$F_m = 2\text{KHz}$ ,  $F_s = 8\text{KHz}$ 일 때 Message signal이 filter를 통과한 아웃풋을 볼 수 있다. 따라서 이 결과를 통해 Nyquist rate( $F_s > 2F_m$ )을 만족할 때 Demodulation 결과를 확인 가능하다.

b. What were the expected results?

이 실험에서 Nyquist rate를 만족하므로 message signal과 유사한 신호를 channel 2에서 아웃풋으로 얻을 수 있을 것이다.

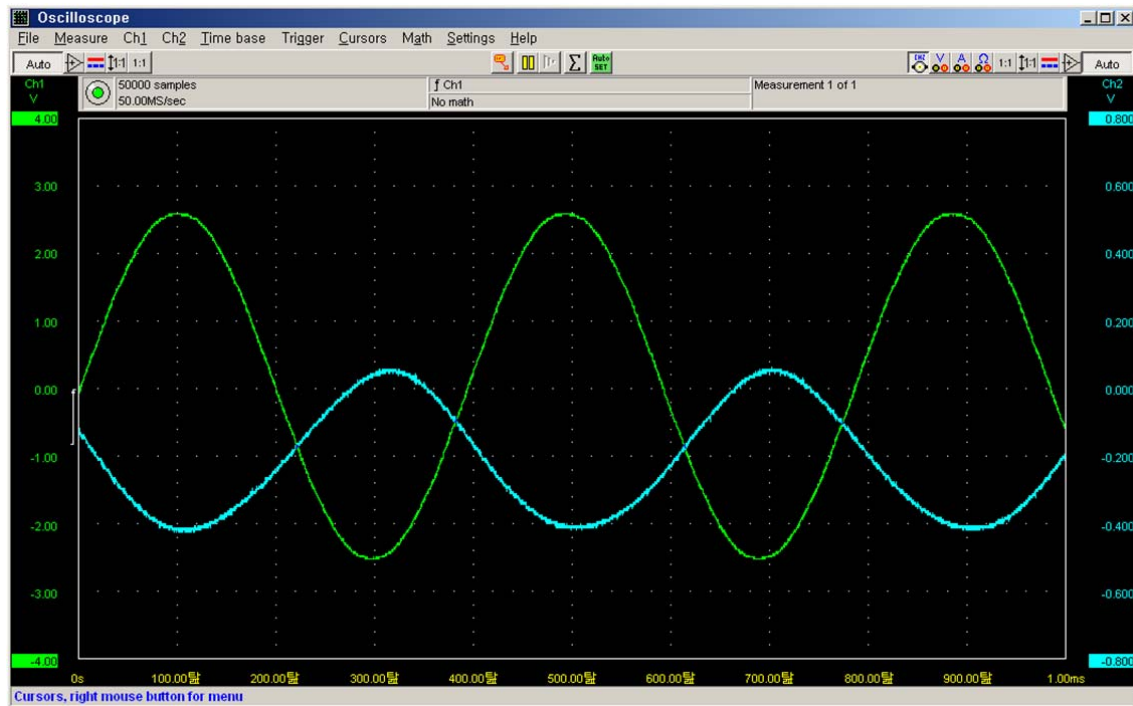
c. if the results are the same as what you expected, what can you infer/verify/confirm from the results?

예상결과와 같다. Demodulation 을 하기 위해서 Low pass filter 를 이용하여 메시지 신호 부분의 주파수만 통과시킨다. 즉, 신호의 주파수 대역을 제외한 나머지 주파수들을 제거해야 한다. 이 나머지 주파수들은 modulation 을 할 때 신호의 주파수와 pulse 의 주파수의 convolution 으로 형성된다. 이를 replica 라고 부른다. 따라서 앞에서 언급했듯, replica 들을 제거하여 메시지 신호를 복구 시키는데, 이 조건에서 Nyquist rate 를 만족하므로 Message Signal 과 유사한 Demodulation 신호가 Filter 를 통과한다.

**Figure02. Message 신호의 주파수 변경**

Channel 1: +0.5KHZ 했을 때

Channel 2: Filter 통과한 output



a. Why do you think that the results are important?

메시지 신호의 주파수가 변화되었을 때 demodulation 신호 역시 message 신호의 변화에 따라 유사하게 변화하는지 파악한다. 여기서 Nyquist rate를 만족한 상태이다.

b. What were the expected results?

Figure01에서 2Khz이던  $F_m$ 의 주파수를 0.5Khz 높여 2.5khz로 변화시켰다.  $F_s$ 는 8khz로 유지한다.

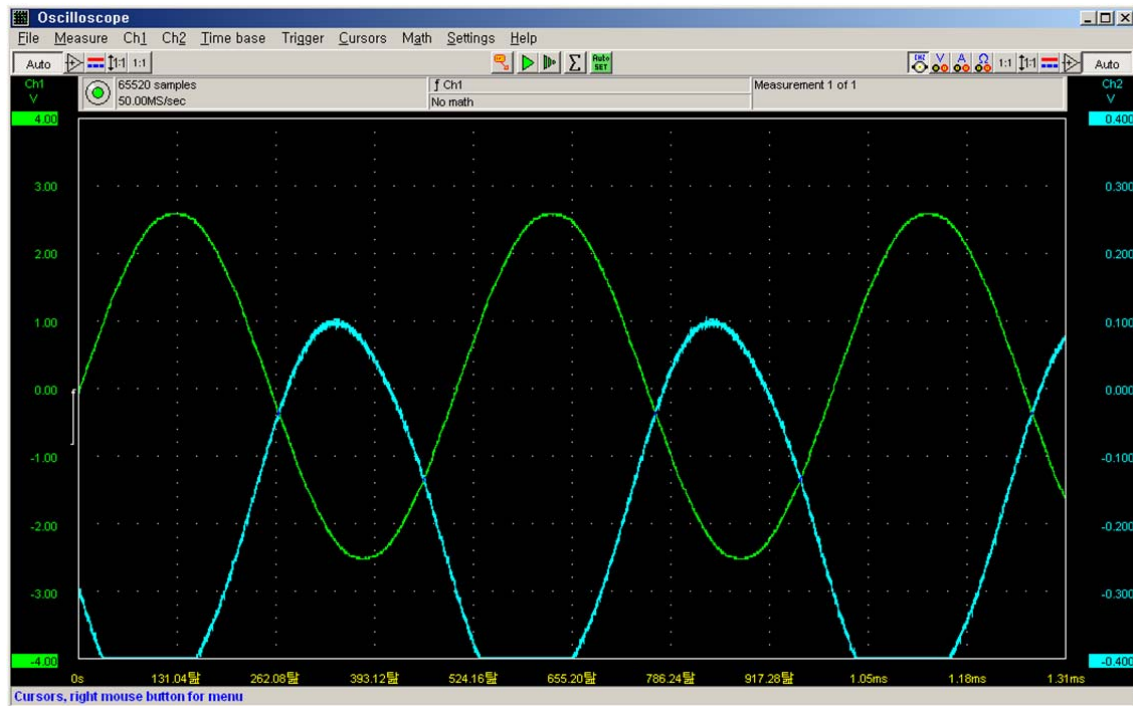
c. if the results are the same as what you expected, what can you infer/verify/confirm from the results?

예상결과와 동일하다. Message 신호의 주파수를 높여주었다. 즉, time domain에서 보면 message 신호는 신호의 폭이 좁아지며, 더 빠른 신호가 되었음을 파악할 수 있다. 이때 demodulation 된 신호 역시 message 신호의 변화에 따른다. 따라서 figure01과 비교 했었을 때 주기  $T$ 가 더 짧은 demodulation 신호가 channel2에 나타났음을 확인할 수 있다.

**Figure03.  $F_s = 2F_m$ 일 때 Demodulation**

Channel 1: Message signal,  $F_s = 4\text{KHz}$ ,  $F_m = 2\text{KHz}$

Channel 2: filter 통과한 신호



a. Why do you think that the results are important?

Nyquist rate와 sampling rate가 동일할 때 modulation 결과를 파악할 수 있다. 이를 통해 Nyquist rate와 demodulation과의 관계를 파악할 수 있다.

b. What were the expected results?

$F_s = 2F_m$ 일 때 demodulation을 하게 되면 왜곡이 발생할 것이다. 따라서, demodulation 신호가 메시지 신호와 동일하지 않을 것이다.

c. if the results are the same as what you expected, what can you infer/verify/confirm from the results?

예상과 유사했다.  $F_s = 2F_m$ 일 때 충분한 sampling rate를 만족하지 못하므로, demodulation 신호는 message signal과 모양이 달랐다.

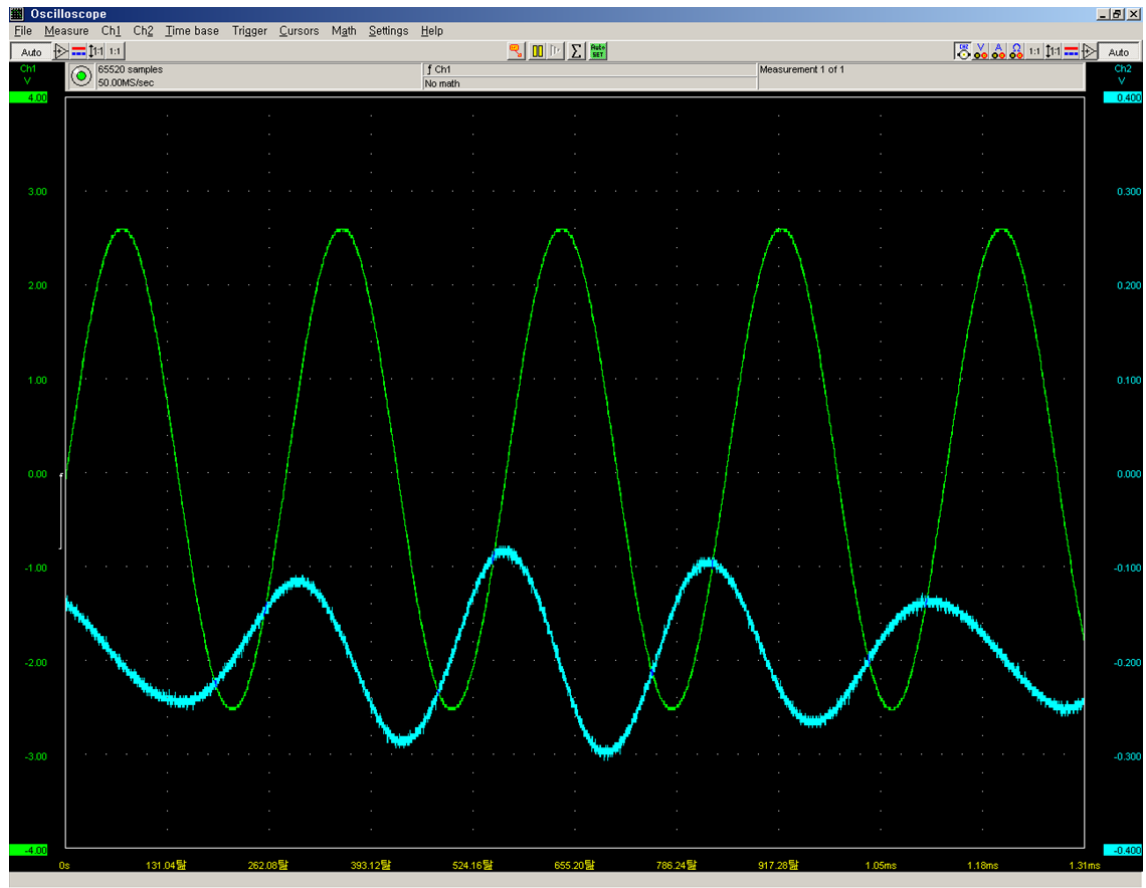
첫 번째 replica의 주파수를 확인하면  $F_s - F_m$ ,  $F_s + F_m$ 의 주파수를 갖는다. Sampling rate가  $F_s = 2F_m$ 이 된다면, Low pass Filter에서 message signal과 함께  $F_s - F_m$  역시 통과시킨다. 따라서  $F_s - F_m$ 의 신호 때문에 신호는 왜곡을 일으킨다.

또한 신호가 계속해서 변화하는 모습을 확인할 수 있었는데, 이는 신호가 충분한 sampling rate를 갖지 못하여 하나의 함수의 모양을 결정하지 못하고 계속해서 변화하는 것으로 파악할 수 있다.

**Figure04.  $F_s < 2F_m$**

Channel1: Message Signal,  $F_m = 6\text{kHz}$ ,  $F_s = 8\text{kHz}$

Channel 2: Filter 통과한 신호



a. Why do you think that the results are important?

Sampling rate가 Nyquist rate보다 적은 경우 일어나는 Demodulation 왜곡현상을 파악할 수 있다.

b. What were the expected results?

충분히 sampling되지 못하였기 때문에 distortion이 일어날 것이라고 예측할 수 있다.

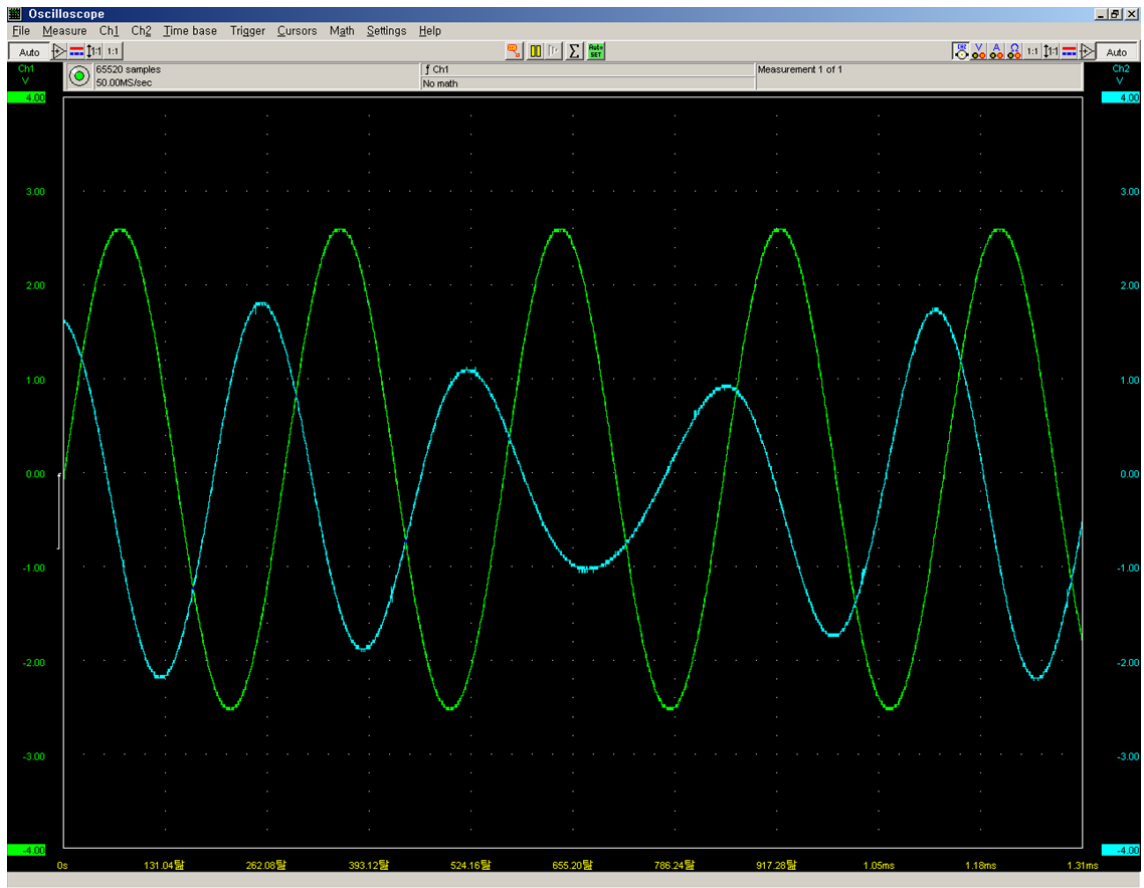
c. if the results are the same as what you expected, what can you infer/verify/confirm from the results?

예측과 동일하다.  $F_s < 2F_m$ 의 조건을 Time domain에서 살펴보면  $T_s > 1/2 \cdot T_m$ 과 같다. 이는 즉, message 신호의 한 주기 동안 2회 미만으로 sampling 했단 의미와 같으며 이런 경우는 우선 제대로 modulation이 되지 않는다. 또한 Demodulation의 경우에도 Figure03과 마찬가지로 Message signal 이외의 주파수를 포함하게 되므로 신호 왜곡 현상이 일어난다.

**Figure05. Cutoff Frequency 가  $F_s - F_m$  값과 유사할 때**

Channel 1:  $F_m = 3.5\text{kHz}$ ,  $F_s = 16\text{kHz} \rightarrow 8\text{kHz}$

Channel 2: Filter 통과 신호



a. Why do you think that the results are important?

Cutoff Frequency의 값과 Demodulation과의 관계를 파악할 수 있다.

b. What were the expected results?

Cutoff frequency가  $3.8\text{kHz}$ , Message 주파수가  $3.5\text{kHz}$ , Sampling 주파수가  $8\text{kHz}$ 이다. 우선 Message 신호는 Cutoff Frequency보다 작으므로 왜곡되지 않으나  $F_s - F_m$ 의 주파수가  $4.5\text{kHz}$ 로 cutoff Frequency와 유사하므로 왜곡이 일어난다.

—

c. if the results are the same as what you expected, what can you infer/verify/confirm from the results?

예상결과와 동일하다.  $F_s - F_m$ 의 값이 Cutoff frequency와 유사하므로 필터에 의해  $4.5\text{kHz}$  저측대파( $F_s - F_m$ )가 제거되지 않아 왜곡 현상이 일어난다.

### 3. Summary

- Low Pass Filter는 메시지 신호를 제외한 다른 주파수 성분을 모두 제거함으로써 PAM 신호를 원 메시지 신호로 복구시킨다.
- Low Pass Filter에 의해 복구되는 메시지 신호가 정확하기 위해서는 PAM 신호가 Nyquist Rate 보다 높은 값의 펄스 주파수에 의해 만들어져야 한다.(Fs가 Nyquist rate와 같거나 작으면 왜곡 현상이 일어난다.)
- Low Pass Filter가 Message signal을 제대로 demodulation하기 위해서는 Cutoff Frequency가  $F_m$ 보다 높아야 한다. 또한  $F_s - F_m$ 은 제거되어야 한다.