

## 신호 조정센서의 일반적인 역할

- 온도, 힘, 압력, pH, 바이오 센서 등은 의료, 공장 및 빌딩 자동화, 응용 분야에서 일반적으로 사용됩니다.
- 이러한 센서는 측정하도록 설계된 물리적 특성에 대한 전기 아날로그 신호를 생성합니다.
- 대부분의 센서는 노이즈에 민감한 낮은 아날로그 출력 신호를 제공합니다.

### 정밀한 데이터 수집을 위한 신호 처리

- 정확한 데이터 수집을 위해 신호의 무결성을 확보해야 합니다.
- 디지털 시스템에서 해석할 수 있도록 신호를 증폭 및 변환하는 과정이 필요합니다.

### 센서의 종류

- 수동(Passive) 센서와 능동(Active) 센서로 분류

#### 1. 수동 센서 (Passive Sensors)

- 대표적인 예: 써모커플(thermocouple)
- 자극 소스(excitation source) 없이 출력 신호를 생성합니다.

#### 1. 능동 센서 (Active Sensors)

- 대표적인 예: 바이오 센서, 서미스터(thermistor)
- 외부 자극 소스가 필요하며, 전기 출력을 생성하기 위해 자극 전압이나 전류가 필요합니다.

### 설계 고려 사항

- 센서의 설계는 정해진 예산과 개발 시간에 맞춰 정밀한 시스템을 설계해야 하는 과제에 직면합니다.
- 설계의 복잡성을 줄이는 것은 이러한 과제를 달성하는 데 중요한 요소로 작용합니다.

## 기본적인 측정 시스템의 구성

- 측정 시스템은 크게 3단계로 구성됩니다:

1. **센서(Sensor)** 단계: 물리적 특성 (예: 온도, 압력, 힘 등)을 전기 신호 (예: 전압, 전류, 저항, 전기용량 등)로 변환합니다.
2. **신호 조정(Signal Conditioning)** 단계: 센서에서 발생한 작은 신호를 증폭하거나 변환하여 신호 처리에 적합한 수준으로 조정합니다.
3. **신호 처리(Signal Processing)** 단계: 증폭된 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 특정 작업이나 동작을 수행할 수 있도록 추가 분석이 가능하게 합니다.

## 신호 조정의 중요성

- 신호 조정은 측정 시스템의 성능을 보장하는 매우 중요한 단계입니다.
- 센서의 신호는 일반적으로 노이즈에 민감하며 진폭이 매우 낮습니다. 따라서, 신호의 무결성을 유지하고 측정 시스템에서 정확하게 해석할 수 있도록 증폭 및 필터링 과정을 통해 신호를 조정해야 합니다.
- 내부 또는 외부에서 발생한 노이즈나 오류를 최소화하여 측정 신호의 정확성을 확보합니다.

## 능동 센서와 수동 센서

- **능동 센서**: 자극 신호가 필요하며 출력 신호를 생성하는 데 외부 전원이 필요한 센서입니다. 예를 들어, 바이오 센서는 능동 센서의 대표적인 예입니다.
- **수동 센서**: 외부 자극 없이 스스로 작동하여 신호를 생성하는 센서입니다.

## 센서 활성화 및 신호 조정

- 센서를 적절히 활성화하려면 센서가 작동할 환경과 반응 조건에 적합한 자극 신호를 제공해야 합니다.
- 신호 조정은 센서의 특성에 따라 선택한 전자 부품 및 회로의 특성을 결정합니다.
- 또한, 전기적 특성과 세부적인 설계를 고려하여 전체 시스템이 원활하게 작동할 수 있도록 조정하는 과정입니다.

## 요약

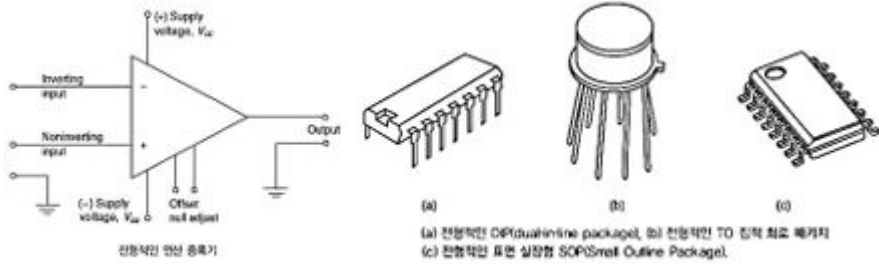
- 측정 시스템은 센서, 신호 조정, 신호 처리로 구성되며, 각각의 단계는 정확한 측정을 위해 필수적입니다.
- 신호 조정 단계는 노이즈를 억제하고 신호를 증폭하여 측정의 정확도를 높이는 핵심 단계입니다.
- 능동 센서와 수동 센서는 전원 공급 방식과 신호 생성 방법에 따라 구분되며, 측정 목적에 따라 적절한 센서를 선택해야 합니다.

## 신호 처리 단계

- **신호 처리 단계**는 일반적으로 **아날로그-디지털 컨버터**와 **\*\*선형화 회로(linearization circuit)\*\***와 같은 데이터 컨버터로 구현됩니다.
- 아날로그-디지털 컨버터의 정확성은 전체 측정 시스템에 상당한 영향을 미치기 때문에 특히 중요합니다.
- 정확성이 떨어지면 측정된 값과 실제 값 간의 오차를 줄이는 것이 어려워져 측정 시스템 전체에 오류나 잘못된 결과를 초래할 수 있습니다.
- 따라서, 신호 처리 단계에서는 전기적 사항을 충분히 이해하고 가장 일반적인 요소를 잘 조정해야 합니다.

## 신호 조정 회로

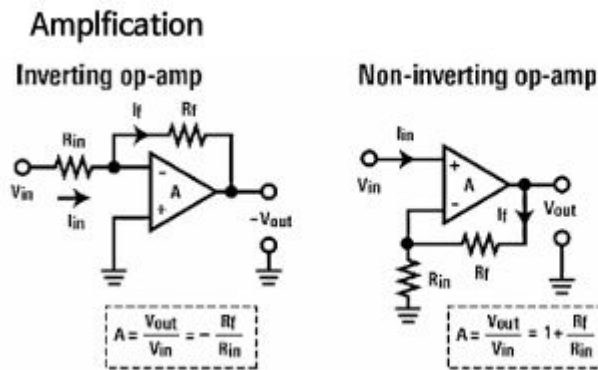
- 센서의 최대 출력(**full-scale**)이 상대적으로 작음으로 디지털 처리에 적합하도록 **조정필요**가 있습니다.
- 그림에서 볼 수 있듯이 **OP 앰프(Operational Amplifier)**를 이용하여 신호 조정 회로로 **증폭, 필터링, 임피던스 커플링(impedance coupling), 변조, 복조** 등의 작업을 수행할 수 있습니다.



## OP 앰프의 주요 역할 및 이상적인 특성

1. 무한대의 입력 임피던스: 입력단에 전류가 거의 흐르지 않음.
2. 무한대의 이득: 매우 작은 입력 변화에 대해서도 큰 출력 변화를 생성.
3. 제로 출력 임피던스: 출력단에서 부하에 따라 출력 전압이 변하지 않음.
4. 넓은 주파수 대역폭: 다양한 주파수에 대해 정확하게 증폭.
5. 제로 입력 오프셋 전압: 입력에 신호가 없을 때 출력이 0이어야 함.
6. 외부의 원하지 않는 입력을 무시 또는 제거

## 신호 조정 회로 1: 증폭 (반전, 비반전)



### 1. Inverting Op-amp (반전 증폭기)

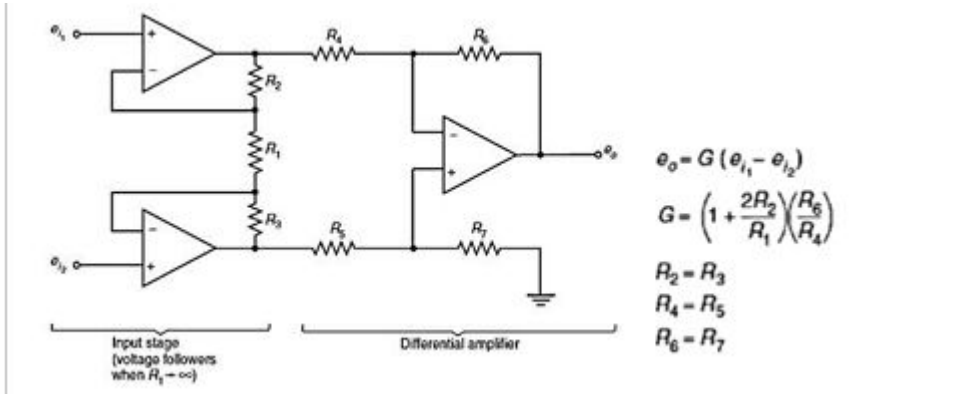
- 입력 신호  $V_{in}$ 는 저항  $R_{in}$ 을 통해 오퍼 앰프의 반전 입력(-) 단자로 들어갑니다.
- 출력 신호  $V_{out}$ 은 입력 신호에 반대되는 위상을 가집니다.
- 증폭 이득은  $A_v = -\frac{R_f}{R_{in}}$ 로 주어지며, 이는 저항값에 따라 증폭 배율이 결정됩니다.

### 1. Non-inverting Op-amp (비반전 증폭기)

- 입력 신호  $V_{in}$ 는 오퍼 앰프의 비반전 입력(+) 단자로 직접 들어갑니다.
- 출력 신호는 입력 신호와 동일한 위상을 가지며 증폭됩니다.
- 증폭 이득은  $A_v = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$ 로 주어지며, 저항값을 조절하여 원하는 이득을 얻을 수 있습니다.

## 신호 조정 회로 2: 계측 증폭기 (Instrumentation Amplifier)

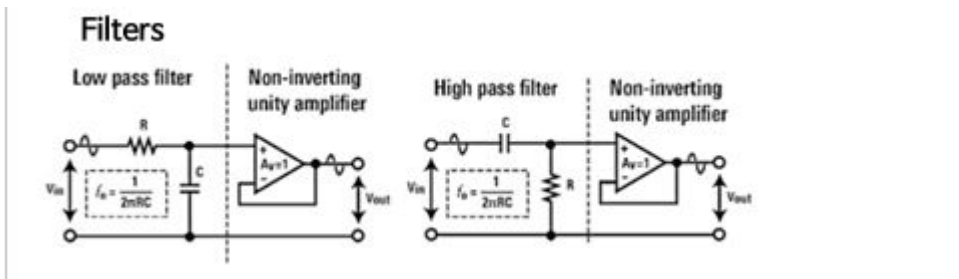
- **계측 증폭기**는 신호의 차동 증폭을 수행하며, 두 입력 신호  $V_1$ 과  $V_2$  간의 차이를 증폭합니다.
- 일반적으로 저잡음과 높은 입력 임피던스, 그리고 높은 공통 모드 제거비(CMRR: Common Mode Rejection Ratio)를 갖기 때문에 정밀한 신호 증폭에 사용됩니다.
- 이득(Gain)은 회로의 저항값에 따라 결정되며 식은 다음과 같습니다:  $e_o = G(e_1 - e_2)$ ,  $G = \left(1 + \frac{2R_V}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3}$
- 이득을 조절하는 저항값을 통해 정확한 신호 증폭을 할 수 있습니다.



### 차동 증폭기의 특징 및 이점

- 차동 증폭기는 **노이즈를 최소화**하고 **외부 간섭 신호를 제거**하는데 매우 효과적입니다.
- 레이저 트리밍된 저항을 사용하여 제작되었기 때문에 높은 정확성과 안정성을 제공합니다.
- 모든 부품이 한 IC 내에 내장되어 주변 온도 변화에 따른 **Drift** 영향도 최소화됩니다.

### 신호 조정 회로 3: 필터 (Filters)



필터는 신호의 특정 주파수 대역을 통과시키거나 차단하기 위해 사용됩니다.

#### 1. Low-pass filter (저역 통과 필터)

- 낮은 주파수의 신호만을 통과시키고, 높은 주파수의 신호를 차단합니다.
- 일반적으로 **잡음 제거** 및 고주파 성분 제거에 사용됩니다.

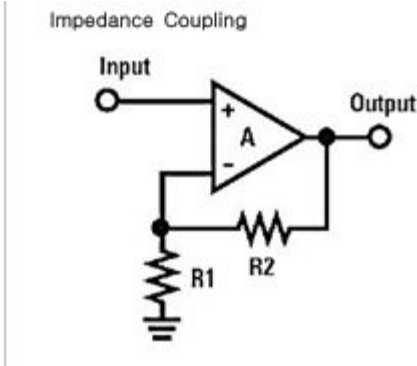
#### 1. High-pass filter (고역 통과 필터)

- 높은 주파수의 신호만을 통과시키고, 낮은 주파수의 신호를 차단합니다.
- 신호의 저주파 성분을 제거하여 고주파 신호를 추출하는 데 사용됩니다.

## 1. Non-inverting unity amplifier (비반전 증폭기)

- 주파수 대역을 변화시키지 않고 입력 신호를 그대로 출력하는 증폭기입니다.
- 주로 임피던스 매칭 및 버퍼 역할을 수행합니다.

### 신호 조정 회로 4: 임피던스 커플링 (Impedance Coupling)



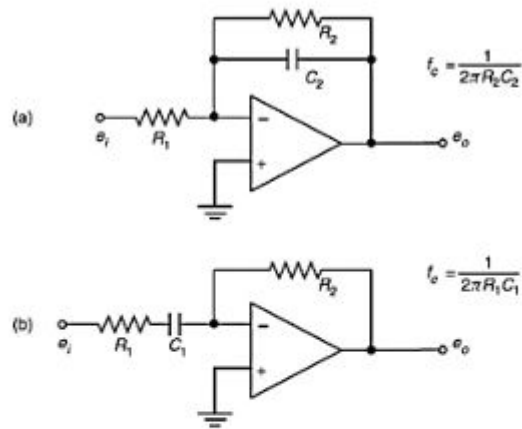
- 임피던스 커플링은 전자 소자들을 연결할 때 앞단과 뒷단 사이의 임피던스를 조정하여 신호의 손실을 최소화하는 데 사용됩니다.
- 임피던스 매칭을 통해 입력과 출력 사이의 신호 전달 효율을 높이고, 불필요한 반사를 방지합니다.
- **OP 앰프**를 사용하여 입력 신호의 임피던스를 높이거나 낮출 수 있으며, 전압 변압기를 사용하여 임피던스를 변환하기도 합니다.

### 요약

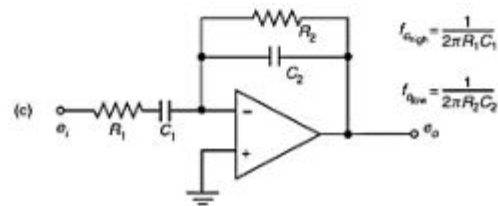
- 신호 처리 단계에서는 신호를 정확하게 변환하여 디지털 시스템에서 분석할 수 있도록 해야 합니다.
- **OP 앰프**는 신호 조정에서 매우 중요한 역할을 하며, 정확한 증폭 및 필터링을 위해 사용됩니다.
- **Inverting Op-amp**는 입력 신호를 반전하여 증폭하고, 이득은 저항비에 따라 결정됩니다.
- **Non-inverting Op-amp**는 입력 신호와 동일한 위상의 증폭 신호를 출력하며, 역시 저항비에 따라 이득이 조절됩니다.
- **계측 증폭기**는 두 입력 간의 차이를 증폭하며, 노이즈 억제 능력이 뛰어나고 정확한 증폭을 위해 사용됩니다.
- 이러한 증폭 회로들은 센서에서 생성되는 작은 신호를 처리하고 외부 간섭을 최소화하는 데 중요한 역할을 합니다.
- **필터**는 특정 주파수 대역을 선택적으로 통과시키거나 차단하는 역할을 수행하며, 저역 통과 필터와 고역 통과 필터가 대표적인 유형입니다.
- **임피던스 커플링**은 신호 전달 효율을 최적화하기 위해 입력과 출력 간의 임피던스를 조정하는 기술입니다.

### 기타 신호 조정 회로: 능동필터

- 기타 신호 조정 회로 (능동필터: 저역, 고역)



- 기타 신호 조정 회로 (능동필터: 밴드패스)



## 1. 저역 및 고역 필터

- **(a) 저역필터 (Low Pass Filter)**
- OP 앰프와 저항  $R_1, R_2$ , 커패시터  $C_1, C_2$ 로 구성.
- 특정 차단 주파수 이하의 신호만 통과시킴.
- 차단 주파수는 다음과 같이 결정됨:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

- OP 앰프를 사용함으로써 일반적인 RC 저역 필터보다 높은 이득을 얻을 수 있음.

- **(b) 고역필터 (High Pass Filter)**
- OP 앰프와 저항  $R_1, R_2$ , 커패시터  $C_1, C_2$ 로 구성.
- 특정 차단 주파수 이상의 신호만 통과시킴.
- 차단 주파수는 다음과 같이 결정됨:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_1}$$

- OP 앰프를 사용해 신호의 저주파 대역을 차단하면서 이득을 유지.

## 2. 밴드패스 필터 (Band-pass Filter)

- (c) 밴드패스 필터
- OP 앰프와 저항  $R_1, R_2$ , 커패시터  $C_1, C_2$ 로 구성.
- 특정 주파수 범위만 통과시키고, 그 외의 주파수는 차단.
- 차단 주파수 범위는 다음과 같이 결정됨:

$$f_{low} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}, \quad f_{high} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

- 두 주파수 사이의 신호만 통과시키므로 원하는 대역의 주파수 성분만 추출할 수 있음.

## 기타 신호 조정 회로: 능동필터의 이론적 분석 (저역, 고역)

### 1. 저역 필터 (Low Pass Filter)

- 회로 분석
- OP 앰프 회로에서 저항  $R_1, R_2$ 와 커패시터  $C_2$ 를 이용하여 구성됨.
- 주파수 특성에서  $s = j\omega$ 로 나타나는 복소 주파수를 활용하여 임피던스의 변화에 따른 동작을 분석할 수 있음.
- 차단 주파수

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

- 커패시터  $C_2$ 와 저항  $R_2$ 에 의해 결정되는 값.
- 전달 함수 유도
- 전달 함수  $H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있음:

$$H(s) = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \frac{1}{sC_2}}$$

- $s = j\omega$ 를 대입하여 주파수 응답을 구할 수 있음.
- 고주파수 ( $\omega \rightarrow \infty$ )에서는  $H(j\omega) \approx 0$ , 저주파수에서는  $H(j\omega) \approx 1$ 로 동작.

### 2. 고역 필터 (High Pass Filter)

- 회로 분석
- OP 앰프 회로에서 저항  $R_1, R_2$ 와 커패시터  $C_1$ 을 이용하여 구성됨.
- 차단 주파수

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_1}$$

- 저항  $R_2$ 와 커패시터  $C_1$ 에 의해 차단 주파수가 결정됨.

- 전달 함수 유도

- 전달 함수  $H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있음:

$$H(s) = \frac{R_2 s C_1}{1 + s C_1 R_1}$$

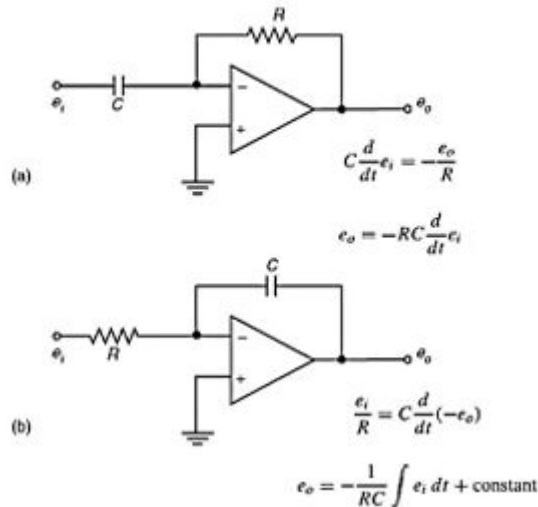
- $s = j\omega$ 를 대입하여 주파수 응답을 구하면, 저주파수 ( $\omega \rightarrow 0$ )에서는  $H(j\omega) \approx 0$ , 고주파수에서는  $H(j\omega) \approx 1$ 로 동작.

## 실무적 예시

- 저역 필터 사용 사례: 오디오 시스템에서 고주파 잡음을 제거하여 저주파 성분만 남김.
- 고역 필터 사용 사례: 통신 시스템에서 저주파 간섭을 제거하고 고주파 신호만 수신.

## 기타 신호 조정 회로: 미분기와 적분기

- 기타 신호 조정 회로 (미분기, 적분기)



### 1. 미분기 (Differentiator)

- 회로 설명
- 저항  $R$ 과 커패시터  $C$ 를 사용한 회로에서, OP 앰프를 통해 입력 신호의 미분을 수행.
- 입력 신호  $e_i$ 가 회로에 들어오면 출력 신호  $e_o$ 는 다음과 같이 표현됨:

$$e_o = -RC \frac{de_i}{dt}$$

- 주파수 성분에 따라 출력 신호의 크기가 변하므로, 고주파 성분이 증폭됨.
- 특징 및 주의점



- 고주파 잡음이 증폭되는 경향이 있으므로 고주파 잡음 필터링이 필요함.
- 미분 회로는 신호의 급격한 변화나 경계선을 강조하는 용도로 사용됨.

## 2. 적분기 (Integrator)

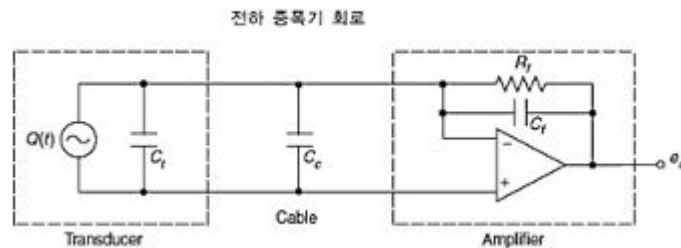
- 회로 설명
- 저항  $R$ 과 커패시터  $C$ 를 사용하여 입력 신호를 적분.
- 출력 신호  $e_o$ 는 다음과 같이 적분을 수행함:

$$e_o = -\frac{1}{RC} \int e_i dt + \text{constant}$$

- 저주파 성분을 강조하는 특성이 있음.
- 특징 및 활용
- 저주파 신호를 강조하거나 DC 신호의 누적을 측정할 때 적합.
- 제어 시스템에서 오차 누적을 측정하거나 신호의 평활화에 사용됨.

## 기타 신호 조정 회로: 전하증폭기 (Charge Amplifier)

- 기타 신호 조정 회로 (전하증폭기)



### 전하증폭기의 원리

- 구성 요소
- 트랜스듀서로부터 전하를 수집하여 케이블을 통해 증폭기로 전달.
- 증폭기 내부의 OP 앰프를 통해 입력 신호를 증폭.
- 동작 원리
- 트랜스듀서에서 생성된 전하  $Q(t)$ 는 증폭기를 통해 증폭된 출력 신호로 변환됨.
- 이를 통해 미세한 전하 변화를 증폭하여 감지 가능.

### 마이크로프로세서를 이용한 구현

- 최근에는 마이크로프로세서를 통해 정확한 필터링 및 증폭이 가능해짐.
- 입력 오프셋 조정, 레일투레일 동작 등 다양한 기능 구현 가능.

### 실제 활용 사례

- 미분기 및 적분기

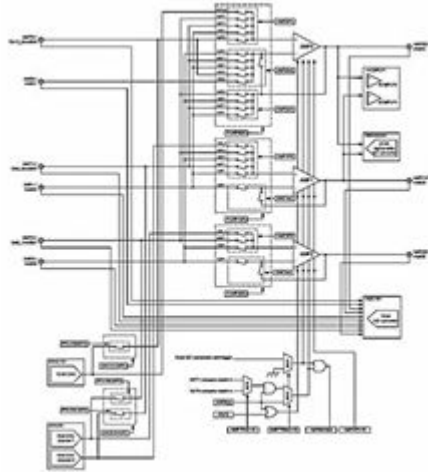
- **아날로그 신호 처리:** 이미지 엣지 검출, 신호의 변화량 감지.
- **제어 시스템:** 속도, 가속도 측정 등.
- **전하증폭기**
- **압전 센서**에서 압력, 진동 등의 미세한 변화를 감지하고 증폭.

## 레일투레일 OPAMP 및 마이크로컨트롤러를 이용한 신호 조정 회로

### 1. 레일투레일 OPAMP

- **특징**
- 내부 소자가 **CMOS**로 구성되어 전압 강하를 최소화.
- 공급 전압의 범위까지 출력이 가능하며, 출력 신호가 "레일"(최대/최소 전압)에 도달할 수 있음.
- 전압의 효율적인 활용이 가능해 **낮은 전원 전압**에서도 높은 출력을 제공.

### 2. 마이크로컨트롤러를 이용한 신호 조정 회로



- **구성 요소**
- **다중 OPAMP:** 여러 개의 OPAMP를 사용하여 다양한 신호 증폭 및 조정이 가능.
- **24비트 A/D 컨버터:** 신호를 정확하게 디지털화하여 미세한 신호 차이를 검출.
- **아날로그 비교기:** 입력 신호의 레벨을 판별하는 데 사용됨.
- **지원 모드**
- **고속 모드:** 높은 전류를 소모하지만 빠른 응답이 필요한 경우.
- **중속 모드:** 중간 수준의 전류 소모와 속도를 지원.
- **저전력 모드:** 지속적으로 신호를 모니터링하며 전력 소모를 최소화.

### 3. 기능 설명

- **응답 속도와 전류 소모 조정**
- 필요에 따라 고속, 중속, 저전력 모드로 변경 가능.
- **비동기 범용 타이머와 트리거**

- 비동기 트리거를 통해 원하는 시점에 OPAMP의 동작을 시작할 수 있음.
- 16비트 A/D 변환 종료를 트리거로 활용해 자동 동작을 수행.
- **입력 신호 선택**
- 모든 유닛은 스위치를 통해 원하는 입력 신호를 선택할 수 있음.
- OPAMP 출력 핀을 스위치를 통해 선택하거나, 스위치를 거치지 않고 직접 출력 핀으로 연결 가능.
- **ADC 입력으로의 사용**
- OPAMP의 출력을 ADC의 입력 신호로 활용하여 신호 처리 가능.
- DAC8과 DAC12에서 출력되는 신호는 각 OPAMP의 양 입력 신호로 사용할 수 있음.
- 이를 통해 여러 OPAMP 회로에서 **아날로그 신호 처리**를 수행 가능.

#### 4. 전압 폴로워 (Voltage Follower)

- OPAMP의 입력 신호를 그대로 출력하는 회로로, **단위 이득**을 가짐.
- 입력 신호를 OPAMP의 출력 신호로 피드백하여 전압 폴로워 회로를 구성.
- **특징:**
- 입력 임피던스가 매우 높고 출력 임피던스가 낮아, **신호 왜곡 없이** 다음 단계로 전달 가능.
- 신호의 버퍼링 역할을 수행하여 다른 회로에 신호를 전달할 때 유용함.

#### 5. 이득 (Gain) 분석

##### (1) 이득의 정의

- **\*\*데시벨(dB)\*\***로 표현되는 이득은 다음과 같은 식으로 정의됨:

$$dB = 10 \log_{10} \left( \frac{P_o}{P_i} \right)$$

- $P_o$ 는 출력 전력,  $P_i$ 는 입력 전력.
- 전압 이득(Voltage Gain)의 경우:

$$dB = 20 \log_{10} \left( \frac{V_o}{V_i} \right)$$

- 여기서  $V_o$ 는 출력 전압,  $V_i$ 는 입력 전압.

##### (2) 예시 계산

- 저항  $R_f$ 와  $R_i$ 로 구성된 OPAMP 회로의 이득:

$$A_v = \frac{R_f}{R_i}$$

- 이를 dB로 표현하면:

$$dB = 20 \log_{10} \left( \frac{R_f}{R_i} \right)$$

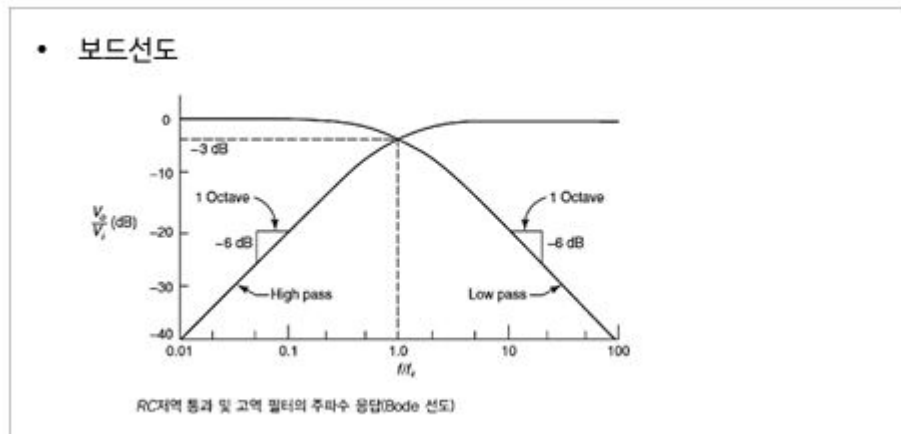
### (3) 전력과 전압의 관계

- 전력은  $P = \frac{V^2}{R}$ 로 표현되며, 이를 통해 전압 이득을 전력 이득으로 변환 가능.
- 특히, 전압이 2배로 증가하면 이득은 **6 dB** 증가하고, 10배로 증가하면 **20 dB** 증가.

### 실제 활용 예시

- **산업용 센서 시스템**: 다양한 신호 레벨에서의 정확한 검출 및 신호 조정.
- **의료 기기**: ECG, EEG 등과 같은 **생체 신호 처리**에서 고정밀 신호 증폭 및 디지털화.
- **오디오 앰프**: OPAMP를 이용하여 신호를 증폭할 때, 입력 신호의 왜곡을 최소화하고 전력을 높이기 위해 사용.
- **센서 증폭**: 센서에서 출력되는 약한 신호를 증폭하여 신호 처리 시스템에 전달.

### 보드 선도(Bode Plot) 해석



#### 1. 보드 선도의 개요

- 보드 선도는 **주파수 응답**을 나타내는 그래프로, **필터 회로의 동작 특성**을 분석할 때 사용됨.
- 일반적으로 두 개의 그래프, 즉 **\*\*이득(dB)\*\***과 **\*\*주파수(로그 스케일)\*\***의 관계로 표현됨.
- 위쪽 그래프는 **전압 이득의 크기(dB)** 대 주파수 비율을 나타냄.
- 아래쪽 그래프는 **위상 변화**를 나타내지만, 위 그래프에선 주로 이득만 표시됨.

#### 2. 그래프의 주요 특징(1) 차단 주파수 ( $f_c$ )

- 그래프에서 특정 지점에서 이득이 **-3 dB**가 되는 주파수를 **차단 주파수**라 함.
- 차단 주파수는 회로의 **주파수 응답의 전환점**으로, 필터의 특성을 결정함.

#### (2) 고역 통과 필터 (High Pass Filter)

- 차단 주파수 이전의 구간에서는 신호가 크게 감소하며 **음의 기울기**를 가짐.
- 보드 선도에서는 차단 주파수 이후로 기울기가 **+20 dB/decade** 또는 **+6 dB/octave**의 증가를 나타냄.
- 고주파 영역을 통과시키고 저주파 영역을 차단하는 역할.

### (3) 저역 통과 필터 (Low Pass Filter)

- 차단 주파수 이전의 영역에서는 신호가 그대로 유지됨.
- 차단 주파수 이후로 기울기가 **-20 dB/decade** 또는 **-6 dB/octave**로 감소.
- 저주파 영역을 통과시키고 고주파 영역을 차단하는 특성.

### 3. 주파수 응답 해석

- **1 Octave**는 주파수가 두 배 증가하는 것을 의미하며, **1 Decade**는 주파수가 10배 증가하는 것을 의미함.
- 고역 및 저역 필터의 기울기는 각각 **-6 dB/octave**로, 주파수 응답의 변화를 나타냄.

### 4. 예시 및 활용

- 오디오 시스템: 저역 및 고역 필터를 통해 잡음을 제거하거나 특정 주파수 대역을 강조.
- 통신 시스템: 주파수 대역을 제한하여 원하는 신호만 통과시킴.