

# 전하 증폭기 피드백 구조 정리

정리: 대원과 Copilot

December 24, 2025

## 1 개요

압전 센서와 같은 전하형 센서는 외부 자극에 의해 전하  $\Delta Q$ 를 발생시킨다. 이 전하는 연산 증폭기(op-amp)의 반전 입력(-)으로 들어가며, 피드백 경로에 있는 커패시터  $C$ 와 저항  $R$ 을 통해 출력 전압으로 변환된다. 본 문서에서는  $C$ 와  $R$ 의 병렬 연결 구조, 전류 흐름, 방전 과정에 대해 정리한다.

## 2 커패시터만 있을 경우

피드백 커패시터만 존재한다면 출력 전압은

$$V_{out} = -\frac{\Delta Q}{C}$$

로 나타난다. 커패시터는 전하를 저장하므로 출력 전압은 유지되지만, 초기화가 되지 않아 드리프트가 발생한다.

## 3 저항만 있을 경우

저항만 존재한다면 센서가 만든 전류는 곧바로 방전되어 순간적인 펄스만 남고, 출력 전압을 유지하지 못한다.

## 4 병렬 RC 구조

실제 전하 증폭기에서는  $R$ 과  $C$ 를 병렬로 연결한다.

- $C$ : 센서 전하를 전압으로 변환하고 저장한다.
- $R$ : 저장된 전하를 서서히 방전시켜 회로를 초기화한다.

따라서 순간적인 신호는  $C$ 를 통해 기록되고, 장기적인 DC 성분은  $R$ 을 통해 제거된다.

## 5 전류 흐름

입력(-) 노드는 가상접지 상태로 유지된다. 센서에서 들어온 전류는 입력(-) 노드에 머무르지 않고 출력 노드로 나가며, 출력과 입력(-) 사이에 병렬 연결된  $R$ 과  $C$ 를 통해 흐른다.

- 충전 시: 센서 전류가  $C$ 에 저장되어 출력 전압을 형성한다.
- 방전 시: 커패시터 전하가 출력 노드로 흘러나와  $R$ 을 통해 입력(-) 노드로 돌아간다.

## 6 방전 과정

방전 시 저항을 통한 전류는

$$i_R(t) = \frac{V_{out}(t)}{R}$$

로 표현된다. 출력 전압은 지수적으로 감소하며,

$$V_{out}(t) = V_{out}(0) \cdot e^{-t/(RC)}$$

로 나타난다. 따라서  $RC$  시정수가 클수록 방전은 느리고, 작을수록 빠르다.

## 7 결론

- $C$ 는 전하를 전압으로 변환하고 기억한다.
- $R$ 은 그 기억을 서서히 지워 초기화를 가능하게 한다.
- 전류는 센서에서 입력(-)으로 들어와 출력 노드로 나가며, 병렬  $R$ 과  $C$ 를 통해 흐른다.
- 방전 시 출력 전압은 지수적으로 감소하여 회로가 다시 준비 상태로 돌아간다.