

# 결 과 보 고 서

## 압력감지 피아노

팀명	굽신굽신
팀원	강찬
	조성륜
	최민서

전남대학교 IDEC 2025 스마트 전자회로설계 챌린지

# 목차

1. 설계 개요 .....	3
2. 설계 과정 .....	4
1) 알고리즘 구성 .....	4
2) 설계 회로 구성 .....	8
3) 설계 회로 검증 .....	12
3. 구현 결과 .....	17
4. 결론 .....	19

## 1. 설계 개요

기존의 시각장애인용 악기는 점자 표기나 음성 안내처럼 간접적인 방식에 의존하는 경우가 많아 실제 연주 과정에서 직관성이 떨어지고 접근이 어렵다는 한계가 있습니다. 이에 본 프로젝트는 손가락의 감각과 움직임만으로 음을 연주할 수 있는 '구부림 감지 피아노'를 개발하고자 합니다. 손가락 관절에 부착된 구부림 센서를 통해 움직임을 감지하고, 해당 손가락에 대응하는 음계를 출력하며, 양 엄지손가락의 구부림 정도에 따라 옥타브를 전환할 수 있도록 설계하여 시각 정보 없이도 감각적인 연주가 가능하도록 구현합니다.

과제의 핵심 목표는 직관적이고 실용적인 회로 기반 인터페이스를 통해 시각장애인의 음악 접근성을 높이는 것입니다. 주요 기능으로는 비교기, 주파수 발생기(NE555), 오디오 믹서(LM358) 등의 아날로그 회로 요소를 활용하여, 손가락의 구부림 정도에 따라 대응되는 음을 실시간으로 출력하는 시스템을 구축하였습니다. 특히 양 엄지손가락의 움직임을 통해 옥타브를 전환하는 구조를 적용하여, 감각 중심의 연주 경험을 더욱 구체적으로 구현하고자 하였습니다.

목표 성능으로는 손가락을 구부릴 때 해당 음이 실시간으로 정확하게 출력되도록 구현하는 것입니다. 각 손가락의 구부림은 비교기를 통해 감지되고, 주파수 발생기(NE555)에서 음계별 주파수로 변환된 뒤, 오디오 믹서(LM358)를 통해 하나의 합성 신호로 출력됩니다.

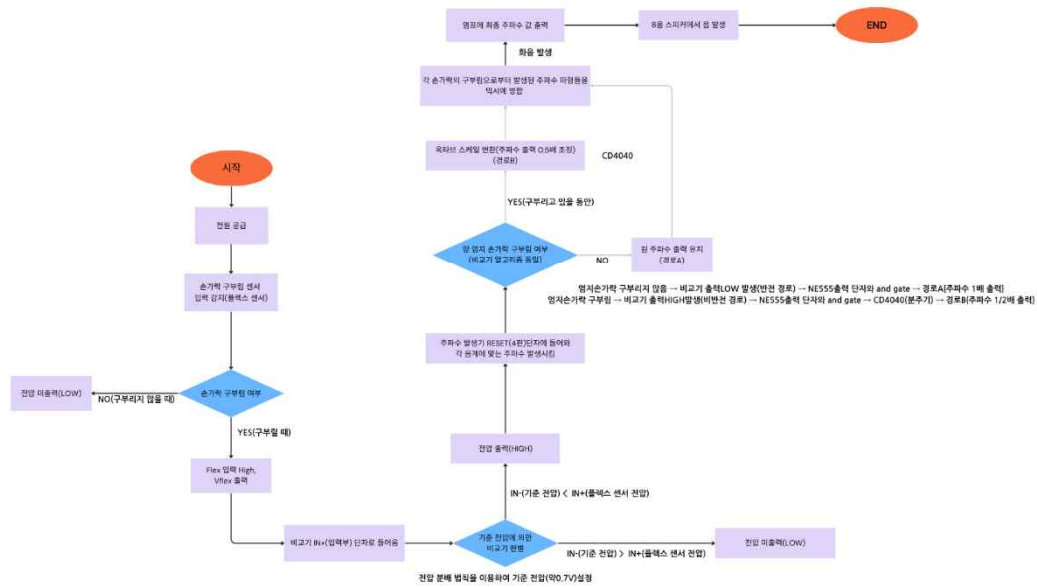
초기 설계에서는 두 옥타브 전환(상·하) 기능을 모두 구현하고자 하였으나, 실제 제작 과정에서 주파수 배가(2배) 회로는 파형 안정성 문제로 제외되었고, 분주(1/2)회로만 성공적으로 작동하여 기본 옥타브와 낮은 옥타브를 선택적으로 구현하였습니다. 또한, 주파수 발생기 출력 신호를 믹서로 합성하는 과정에서 신호 감쇠로 인한 음량 저하 현상이 확인되었으나, 이를 통해 회로 내 임피던스 매칭과 증폭단의 중요성을 실험적으로 검증할 수 있었습니다.

최종적으로 본 회로는 손가락 움직임에 따른 화음 출력과 옥타브 하향 변환이 가능한 아날로그 기반 악기로 구현되었으며, 시각적 정보 없이도 감각적으로 연주가 가능한 새로운 형태의 전자 피아노를 실현하였습니다.

## 2. 설계 과정

### 1) 알고리즘 구성

<구부림감지 피아노 플로우차트 최종본>



### <전체 시스템 구성>

[8개 센서] → [8개 비교기] → [8개 555 타이머] → [오디오 믹서]

→ [옥타브 제어] → [앰프] → [스피커]

↑

[엄지 제어신호]

{손가락 배치도}

왼손:

검지 → 도(261Hz)

중지 → 레(294Hz)

약지 → 미(330Hz)

소지 → 파(349Hz)

오른손:

검지 → 솔(392Hz)

중지 → 라(440Hz)

약지 → 시(494Hz)

소지 → 높은도(523Hz)

<1단계: 센서 + LM393비교기 회로 (8개 독립 체인)>

플렉스 센서가 손가락 구부림에 따라 출력 전압  $V(\text{flex})$ 를 생성하면, 이 전압을 LM393(비교기)의 비반전 입력(IN+)에, 기준전압  $V(\text{ref})$ 를 반전 입력(IN-)에 인가한다. 비교기는 두 전압을 비교하여 다음과 같이 디지털 출력 신호를 만든다.

[조건]

$V(\text{flex}) > V(\text{ref}) \rightarrow$  출력 HIGH

$V(\text{flex}) \leq V(\text{ref}) \rightarrow$  출력 LOW

각 손가락마다 위 체인을 독립적으로 구성하여, 구부림이 감지된 채널만 HIGH를 출력하고 다음 단계(주파수 발생기)로 트리거 신호를 전달한다.

<2단계: NE555 타이머 회로 (각 음계마다)>

1단계 비교기에서 나온 트리거 신호를 NE555의 RESET 단자에 연결하여 발진의 on/off를 제어한다. 비교기 출력이 HIGH일 때만 발진이 허용되어 해당 음이 출력되고, LOW일 때는 리셋되어 무음 상태가 된다. 각 손가락에 대응되는 음계별 저항값을 달리하여, 주파수 발생기가 각기 다른 음을 내도록 설정하였다.

핀 연결 구성은 다음과 같다.

1번 핀(GND) 그라운드 연결

2번 핀(TRIG) 각 음계별 저항 설정 후 7번 핀과 연결

3번 핀(OUT) 1000 $\mu$ F 커패시터와 100k $\Omega$  저항을 직렬로 연결하여 출력, 이후 믹서로 전달

4번 핀(RESET) 비교기 출력 신호와 연결

5번 핀(CTRL) 100nF 커패시터 직렬 연결 후 그라운드로 연결

6번 핀(THR) 27nF 커패시터를 직렬 연결 후 그라운드로 연결

7번 핀(DISCH) 2번 핀과 연결 후 3.9k $\Omega$  저항을 직렬로 연결하여 +5V(전원레일)에 연결

8번 핀(VCC)  $\rightarrow$  VCC-GND 사이에 220  $\mu$ F 배치(전원 디커플링)

이 회로는  $R_A = 3.9\text{k}\Omega$ ,  $R_B =$  각 음계별 저항,  $C = 27\text{nF}$ 로 설정하여 다음 식을 통해 주파수를 결정한다.

$$f \approx 1.44 / ((R_A + 2R_B) \times C)$$

이를 통해 각 손가락이 대응하는 음계(도~높은 도)를 출력하도록 설계하였다.

<제어부(추가): 엄지 제어 논리회로, 옥타브 제어부>

각 손의 엄지손가락은 옥타브 전환을 위한 제어 신호 입력부로 동작한다.

엄지 플렉스 센서가 구부러질 때 전압이 상승하며, LM339 비교기에서 HIGH 신호가 출력된다. 이 신호는 인버터를 중심으로 두 갈래로 분기되어 각각 AND 게이트 두 개에 입력된다. 인버터 입력 전의 신호는 주파수 발생기(NE555)에서 생성된 기본 주파수  $f$ 와 AND 결합되고, 인버터 출력의 반전 신호는 동일한 주파수  $f$ 와 AND 결합되어 기본 경로를 형성한다. 이후, 인버터 입력 전 신호를 사용하는 AND 게이트의 출력은 분주기(CD4040)를 거쳐 주파수가  $1/2$ 로 나뉘어 저옥타브( $f/2$ ) 신호를 생성한다. 두 AND 게이트의 출력은 병합되어 하나의 음계 신호로 전달되며, 엄지가 펴져 있을 때(LOW)에는 기본 옥타브( $f$ )만, 구부러졌을 때(HIGH)에는 분주된 저옥타브( $f/2$ )만 통과한다. 이 구조를 통해 각 손의 옥타브를 독립적으로 제어할 수 있으며, 회로 내 신호 혼선을 방지하고 안정적인 전환이 가능하도록 설계하였다.

$$Y = \bar{T} \cdot f + T \cdot \frac{f}{2}$$

<3단계: 오디오 믹서>

(역할: 8개 음계 신호를 하나로 합성) (입력: 8개의 개별 음계 신호 (NE555 출력들))

- 도(261Hz) 신호 - 레(294Hz) 신호 - 미(330Hz) 신호 - 파(349Hz) 신호
- 솔(392Hz) 신호 - 라(440Hz) 신호 - 시(494Hz) 신호 - 높은도(523Hz) 신호

(처리: 활성화된 음계들만 합성)

- 손가락을 구부린 음계의 555만 동작 → 해당 주파수만 출력
- 예: 도+미+솔 손가락을 구부리면 → 261Hz + 330Hz + 392Hz가 화음으로 출력

(출력: 화음 신호)

- 여러 주파수가 동시에 포함된 복합 신호

또한 제어부에서 전달되는 분주( $1/2$ 배) 신호가 믹서 입력 단계에 반영되어, 해당 손(왼손 또는 오른손)의 음계가 저옥타브로 전환될 경우 주파수가 절반으로 낮아진 상태로 합성된다. 따라서 사용자는 각 손의 엄지손가락 동작만으로 옥타브를 제어하면서, 여러 음을 동시에 조합한 화음을 연주할 수 있다.

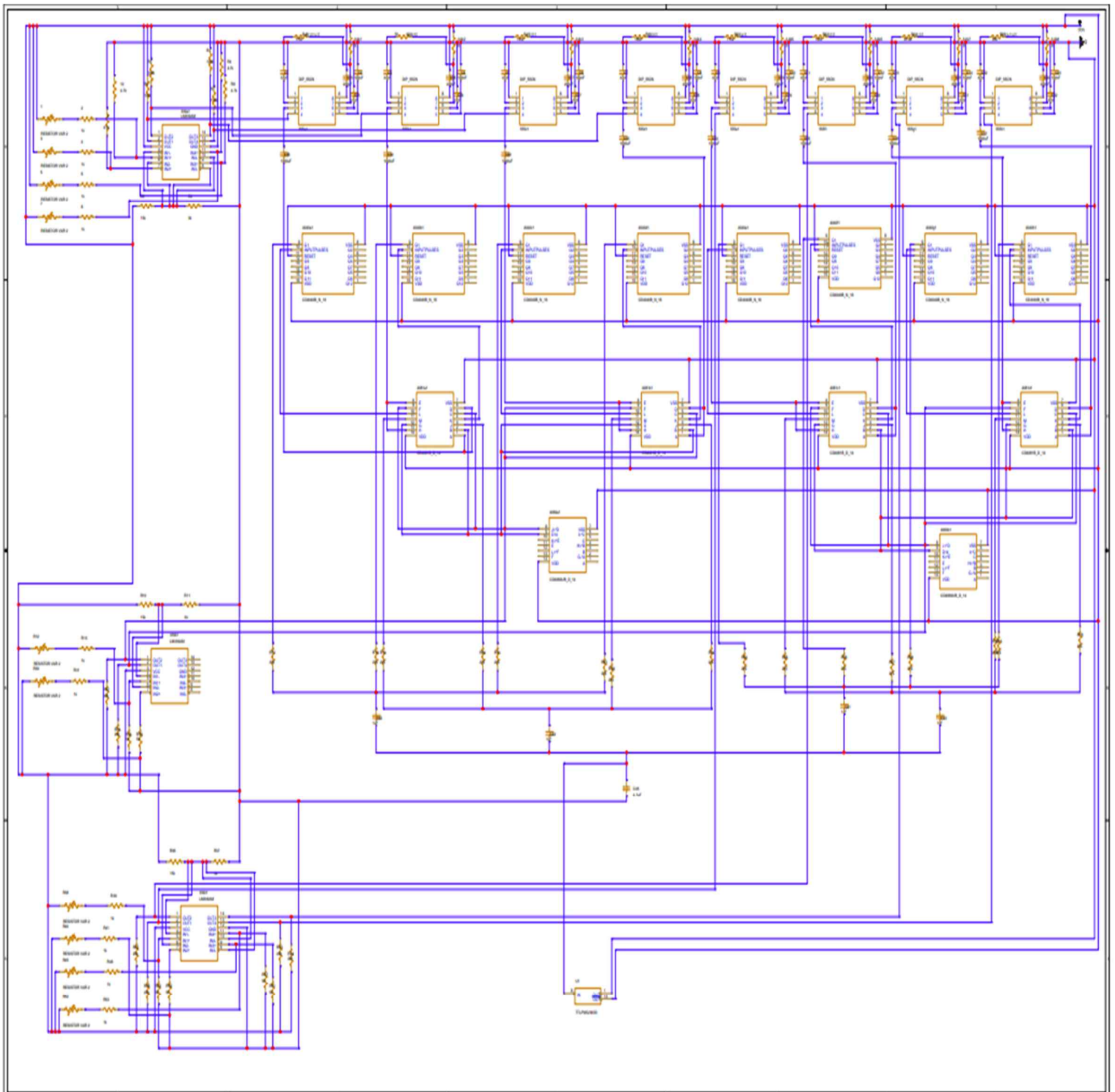
<4단계: 출력단 및 부저를 통한 소리 출력>

오디오 믹서에서 합성된 화음 신호는 앰프 회로를 거쳐 신호 세기를 증폭한 뒤, **8Ω 스피**

커로 전달되어 실제 음으로 출력된다. 이를 통해 손가락의 움직임에 따라 발생한 여러 주파수가 하나의 화음으로 청각적으로 확인 가능하며, 최종적으로 구부림 감지 피아노의 완성된 소리를 구현한다.

## 2) 설계 회로 구성

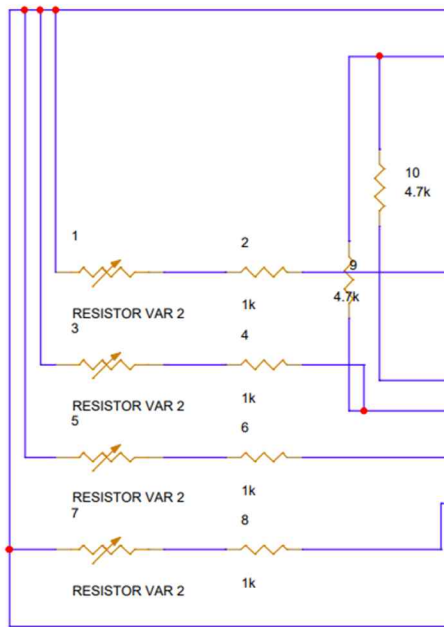
<전체 회로도>



### <플렉스 센서 부분>

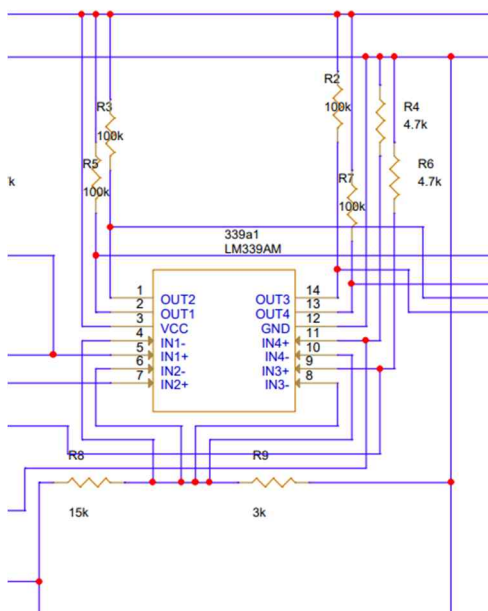
기능 설명: 센서를 구부릴 때 구부린만큼 전압을 출력시킴

- 센서를 구부린만큼 해당 입력전지값에 점점 도달해가며 최대로는 전지전압에 수렴함



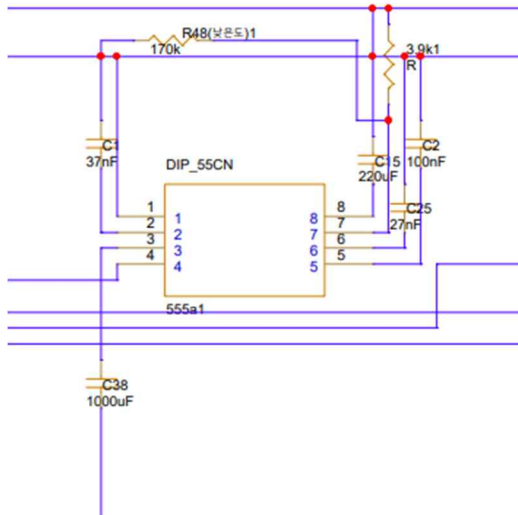
### <비교기 부분(LM339)>

기능 설명: 플렉스 센서로부터 나온 입력 전압(IN+)을 기준 전압(IN-)와 비교하여 입력전압이 기준 전압보다 더 높을 때 HIGH(전지 전압원수치)값, 입력전압이 기준전압보다 더 낮으면LOW(대략 0.02V)값을 나타냄



### <주파수 발생 부분(NE555)>

기능 설명: 비교기로부터 나온 HIGH출력을 신호로 받아들여 신호를 감지하면 해당 수동 소자에 걸맞는 주파수를 발생시키는 역할



### <AND(CD4081), 인버터(CD4069) 게이트 부분> => 엄지 손가락 제어 부분(1)

[CD4069UBE]

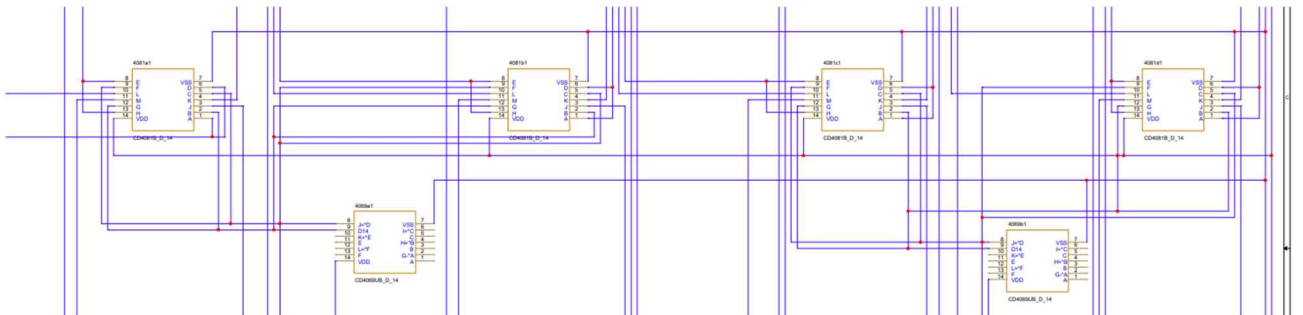
논리기능: 인버터

역할: 비교기 전압 반전

[CD4081BE]

논리기능: and

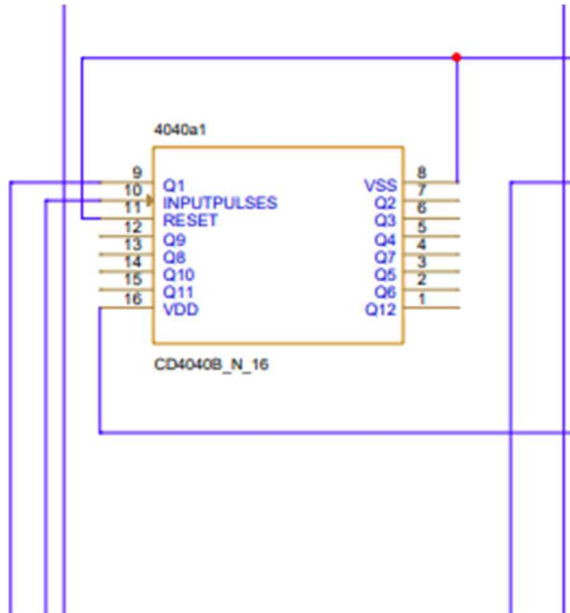
역할: CD4069UBE의 입력(반전과, 비반전)과 555타이머 하나의 출력을 각각 2개를 받아 경로 2개로 나눠 주파수 발생의 중복을 방지함[하나의 출력은 그대로(=1배)로 믹서로, 다른 하나의 출력은 CD4040BE로 전달]



<분주기 부분(CD4040)> => 엄지 손가락 제어 부분(2)

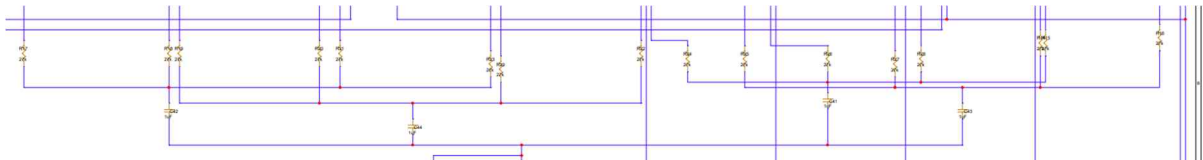
논리기능: 분주 카운터

역할: CD4081BE의 출력 중 하나를 받아 옥타브를 1/2배로 조절



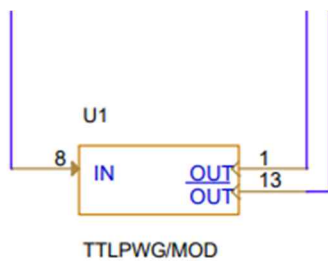
<믹서 부분>

기능 설명 : 8개 음계 신호를 합성하여 화음을 출력해내는 역할



<스피커 부분>

기능 설명 : 믹서를 통해 나온 화음신호를 소리로 듣게 해주는 역할



<회로 구상도 pdf>

SCHEMATIC1 \_  
PAGE1.pdf

### 3) 설계 회로 검증

설계된 전체 회로는 OrCAD X Platform 환경에서 단계별로 시뮬레이션을 진행하였다. 각 회로 블록(비교기-주파수발생기-믹서-제어부-출력단)을 독립적으로 검증한 뒤, 순차적으로 연결하여 전체 시스템의 신호 흐름을 확인하였다.

초기에는 LM339, NE555, LM358 등의 일부 IC가 PSPICE 라이브러리와 호환되지 않아 파형 검증이 정상적으로 이루어지지 않았으나, 이후 개별 블록의 내부 회로를 단순화해 멀티미터, 오실로스코프를 사용하여 검증을 수행하였다.

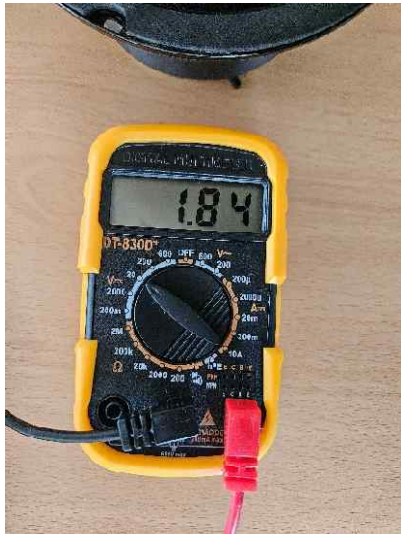
검증 절차는 다음과 같다.

#### -1- 멀티미터를 사용한 접압 측정

<비교기 기준 접압(IN-)>



<플렉스센서를 구부렸을 때 비교기 입력 전압(IN+)>



<비교기 OUT이 HIGH상태일 때 출력>



-> 비반전 출력 상태일 때



-> 반전 출력 상태일 때

<비교기 OUT이 LOW상태일 때 출력>



-> 비반전 출력 상태일 때

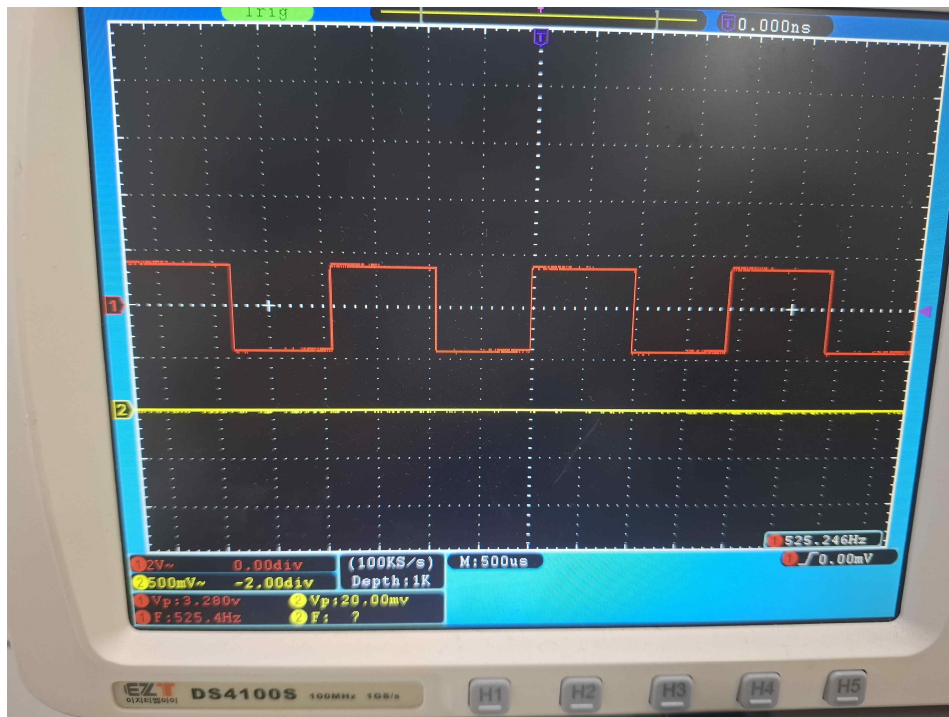


-> 반전 출력 상태일 때

접압 측정 결과, 플렉스 센서를 구부렸을 때 전압이 발생하여 센서가 정상적으로 동작함을 확인하였다. 이를 통해 비교기 입력 전압이 기준 전압을 초과할 경우 HIGH 신호가 출력되며, 해당 신호가 주파수 발생기로 전달되어 정상적으로 주파수를 발생시키는 것을 확인하였다.

-2- 오실로스코프를 사용한 주파수 측정

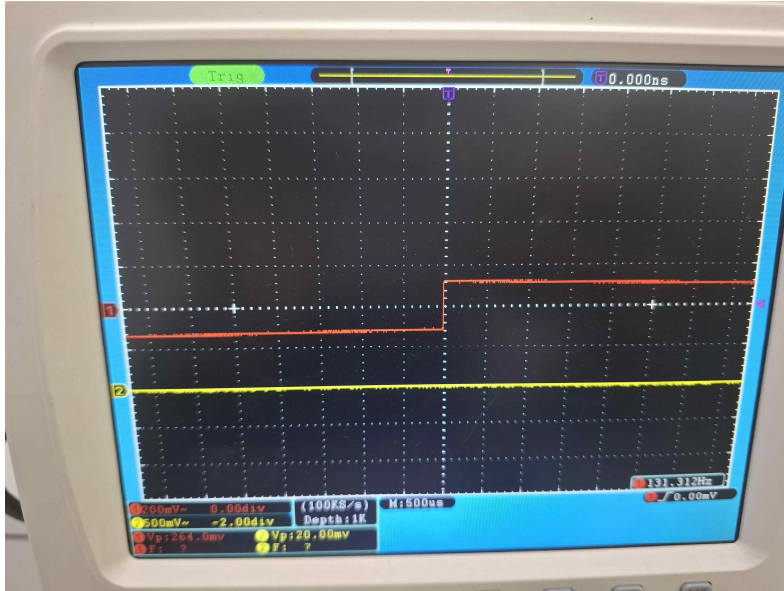
<높은 도>



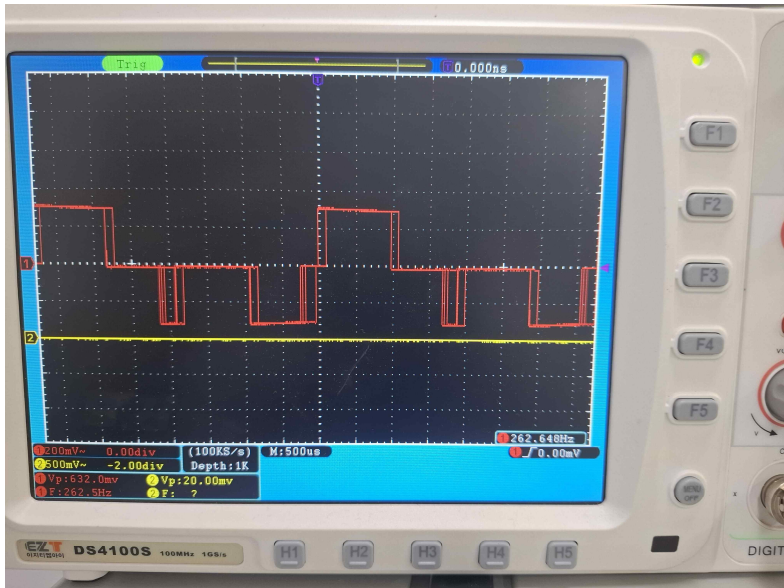
<낮은 도(높은 도 1/2옥타브조절)>



<낮은 도 1/2옥타브조절>



<높은 도와 낮은 도 믹서 결과>



음계의 '도'를 기준으로 각 단계별 회로의 동작을 검증한 결과, 정상적으로 수행됨을 확인하였다. 또한 다른 음계에 대해서도 추가 검증을 실시한 결과, 모두 정상적으로 작동함을 확인하였다.

### 3. 구현 결과

최종 회로는 손가락 움직임에 따라 음계가 실시간으로 출력되는 구조로 완성되었다. 왼손과 오른손 각각의 네 손가락이 독립적으로 음을 발생시키며, 엄지손가락을 통한 분주(1/2배) 회로 제어로 저옥타브 전환 기능이 구현되었다. 기본 음계 출력 및 저옥타브 전

환 기능에서 설계 목표를 충족하였으며, 실시간 반응성과 센서 감도 역시 기대 수준으로 구현되었다. 다만 고옥타브(2배 주파수) 회로의 파형 불안정과 믹서 출력 감쇠로 인해 일부 음역에서 출력 세기가 감소하였다. 이를 제외하면 회로의 전체 동작은 설계 의도에 부합하며, 핵심 기능이 정상적으로 수행됨을 확인하였다.

#### <기대 성능 대비 결과 요약>

- (1) 기본 옥타브 화음 출력: 성공
- (2) 저옥타브 전환(1/2배 회로): 정상 동작
- (3) 고옥타브 전환(2배 회로): 파형 불안정으로 제외
- (4) 믹서 출력 음량: 예상보다 낮음(감쇠 발생)
- (5) 실시간 반응 속도: 지연 미미, 정상

- (3),(4) 발생 문제 및 원인 -

##### -1- 믹서단계 출력 감쇠

입출력 구간에 커패시터, 저항 등 수동소자가 중복 연결되면서 전류가 분산되어 신호 세기가 감소하였다. 이에 따라 믹서 출력단의 음량이 예상보다 작게 측정되었으며, 이는 회로 내 수동소자 간 임피던스 매칭 조정이나, 버퍼 증폭기 추가를 통한 전류 보상으로 개선이 가능하다.

##### -2- 2배 옥타브 회로 파형 불안정(수정해야할 부분)

고옥타브를 구현하기 위해 주파수를 두 배로 높였을 때, 파형이 깨지거나 일정하지 않은 출력이 나타났다. 이는 높은 주파수로 인해 회로 내 커패시터가 충분히 충·방전되지 못하면서 신호가 왜곡된 것으로 보인다. 향후 저항과 커패시터 값을 조정하거나, 버퍼 증폭기를 추가하여 안정된 파형을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

#### <결과 해석>

비록 전체 목표였던 상·하 옥타브 전환을 모두 구현하지는 못했지만, 센서 기반 입력 신호가 아날로그 회로를 통해 화음으로 변환되는 과정을 성공적으로 검증하였으며, 저옥타브 제어와 실시간 출력을 성공시켰다. 이를 통해 센서-비교기-타이머-믹서-출력단

으로 이어지는 전체 알고리즘이 실제 회로 수준에서 유효함을 입증하였다.

## 4. 결론

본 프로젝트는 손가락의 움직임만으로 음을 연주할 수 있는 구부림 감지 피아노 회로를 구현하였으며, 비교기와 주파수 발생기, 믹서, 제어부, 출력단으로 구성된 순차적 구조를 통해 복잡한 마이크로컨트롤러 없이도 감각 기반의 음악 연주를 실현하였다.

실제 구현 결과,

(1) 기본 옥타브 및 저옥타브 출력은 정상적으로 구현되었다.

(2) 실시간 반응성 및 센서 입력 신뢰성 또한 양호한 수준으로 확인되었다.

다만, 고옥타브(2배 주파수) 회로는 파형 불안정으로 제외되었고, 믹서 출력 감쇠 문제는 향후 증폭단 추가를 통해 개선할 예정이다.

### <결과 성능>

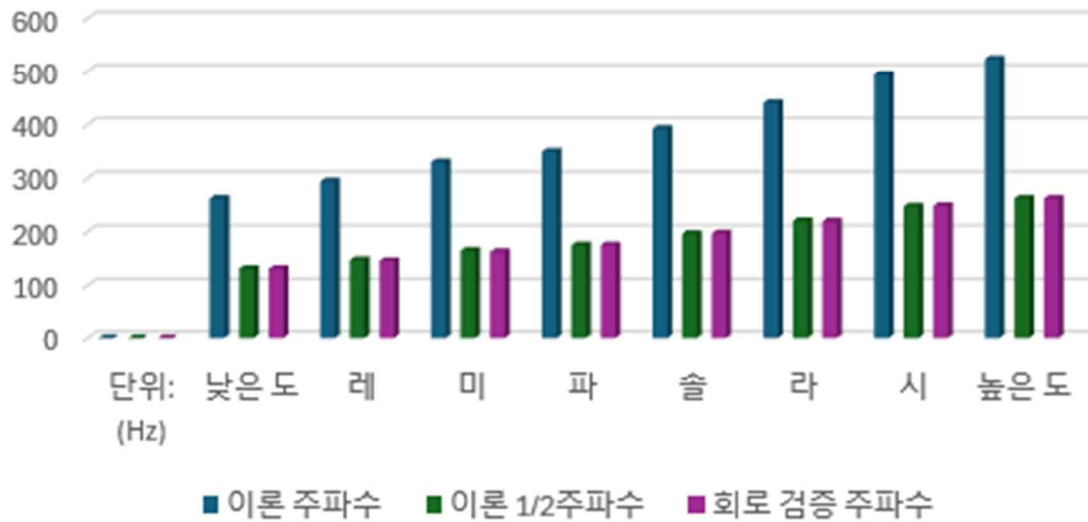
옥타브 전환을 실행시킨 회로에서 측정된 각 음의 주파수를 이론상 음계와 비교한 결과, 전반적으로 이론값 대비 약 0.5배 수준의 주파수가 관측되었다.

이는 회로 내 분주기(CD4040)의 1/2 분주 동작에 따른 것으로, 저옥타브 전환 회로가 정상적으로 작동했음을 확인할 수 있다.

## 결과 분석

단위: (Hz)	이론 주파수	이론 1/2주파수	회로 검증 주파수
낮은 도	261.63	130.82	130.75
레	293.66	146.83	145.39
미	329.63	164.82	162.59
파	349.23	174.62	174.94
솔	392	196	196.84
라	440	220	219.13
시	493.88	246.94	248.06
높은 도	523.25	261.63	261.71

## <회로 주파수 결과 비교분석>



측정 주파수와 이론 주파수, 이론 1/2주파수를 도표로 정리하여 비교하였으며, 이를 통해 각 음 간의 비율이 일정하게 유지됨을 확인함으로써 회로가 의도한 음계 구조를 거의 유사하게 구현했음을 검증하였다.

### <활용방안 및 기대효과>

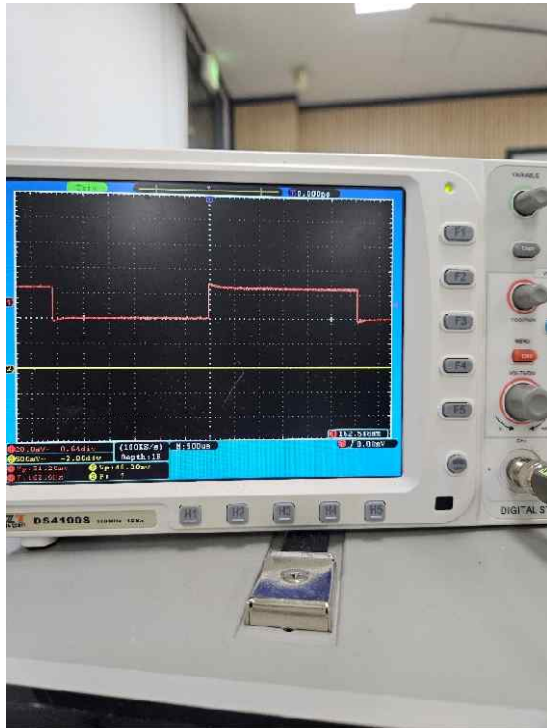
해당 구부림 감지 피아노는 회로 설계, 센서 기반 아날로그 신호 처리, 주파수 제어 등 전자회로 설계의 핵심 기술을 통합적으로 구현하며, 교육용, 재활치료용, 예술 창작용 등 다양한 분야에 활용될 수 있는 응용 가능성을 보여준다.

향후에는 회로의 소형화, 무선 통신 기능 탑재, AI 기반 제어 기능 등을 추가하여 웨어러블 악기 형태로 발전시킬 수 있으며, 이를 기반으로 교육기관, 복지기관, 예술단체 등과의 협업이나 기업체 대상 기술이전 및 시제품 양산을 통한 사업화도 가능하다. 본 과제는 단순한 하드웨어 제작을 넘어 창의적 기술 융합과 사회적 가치를 실현할 수 있는 기반이 되는 프로젝트로, 향후 기술 고도화와 시장 확장을 통해 교육·산업·복지 분야에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

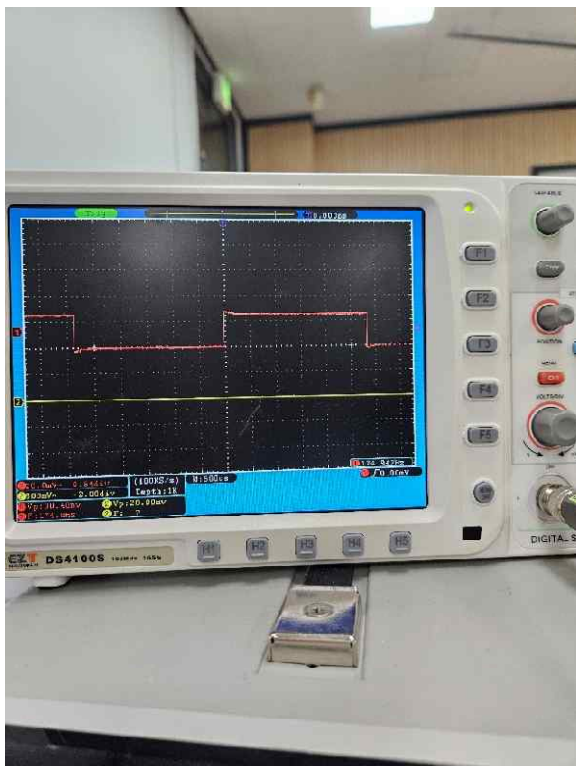
(결과 검증 부록) \*주파수 발생기에서 사용했던 각 음계별 필요 저항까지 정리하였음

[낮은 도] => 82키로옴 1/2배 결과

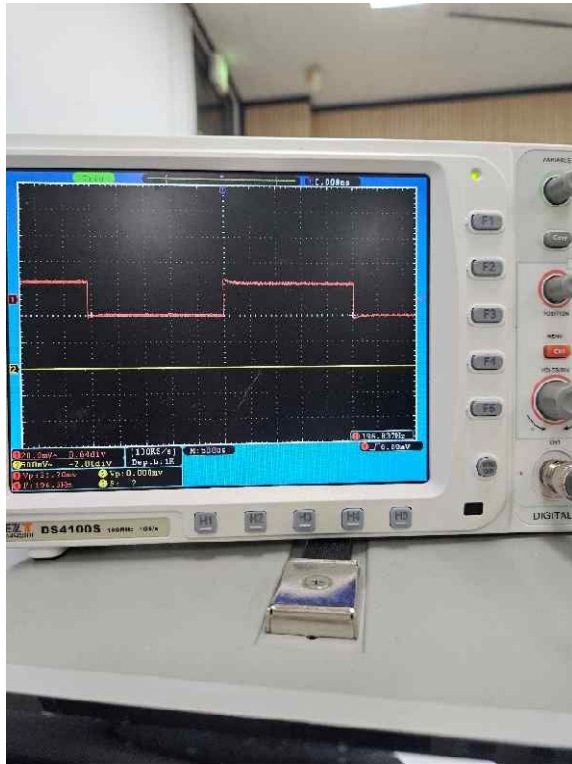




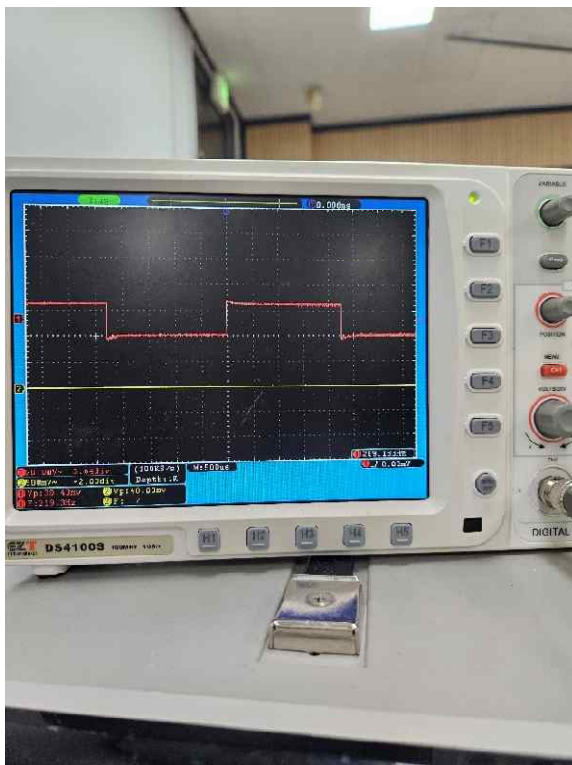
[파] => 62키로옴 1/2배 결과



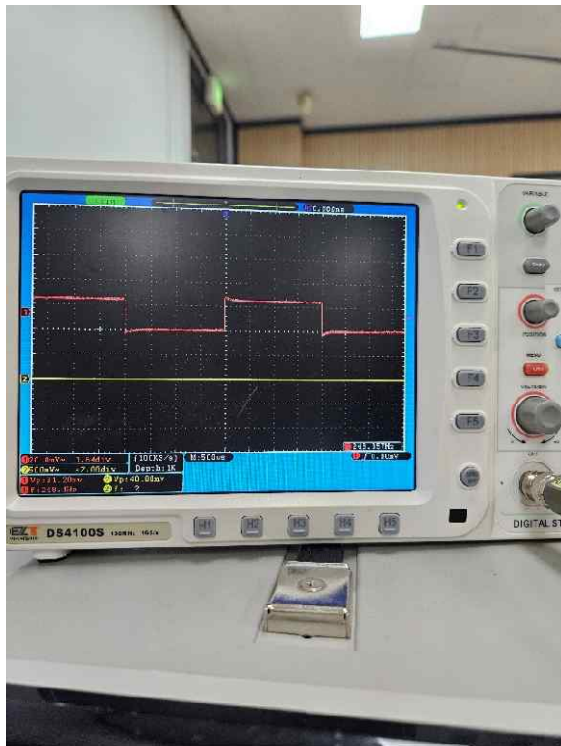
[솔] => 55키로옴 1/2배 결과



[라] => 48.5키로옴 1/2배 결과



[시] => 53.3키로옴 1/2배 결과



[높은 도] => 51.4키로옴 1/2배 결과

