

# 접촉저항 측정 시스템 및 안드로이드 운영체제 앱 설계 및 구현에 관한 연구

부라운<sup>1</sup>, 최정훈<sup>1</sup>, 안병호<sup>1</sup>, 이명의<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 전기·전자·통신공학부  
qnfkdbs0222@koreatech.ac.kr, hun6948@koreatech.ac.kr,  
tiger8225@koreatech.ac.kr, melee@koreatech.ac.kr

## A Study on the Design and Implementation of Contact Resistance Measurement System and Andoroid OS App.

Ra-Yun Boo<sup>1</sup>, Jung-Hun Choi<sup>1</sup>, Byung-Ho An<sup>1</sup>, Myung-Eui Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Electric, Electronic and Communication Engineering,  
Korea University of Technology and Education

### 요 약

본 연구에서는 정전류(Constant Current) 방식에 전압강하법을 이용하여 접촉저항 측정 시스템을 구현하고 측정값을 블루투스 통신을 통해 안드로이드 운영체제에서 확인할 수 있도록 앱을 개발한다. 측정가능한 범위로 0 Ω에서 10.24 Ω 사이의 접촉 저항을 MCP3424 18 bit 분해능 ADC를 사용하여 측정할 수 있도록 설계하였다. 기존에는 반고정 저항과 별도의 전류계를 이용하여 정전류를 설정하였으나, 본 연구에서는 측정의 정밀도 및 편리성 개선을 위해 0.1% 고정밀 고정저항을 병렬로 4개 연결하여 구현하였으며, 또한 1:1 Unity Gain Buffer를 구성하고 Ultra High Precision Z-Foil 방식으로 오차 0.01%, 온도 계수 0.05 ppm/°C 저항을 사용하여 실제로 측정한 샘플 저항 값의 결과를 확인하였다.

### 1. 서론

접촉저항이란 기계적 접촉이 있는 2개의 도체 사이에서 접촉면으로 지나가는 전류를 흘릴 때, 접촉면에서 다른 면보다 높게 생성되는 저항을 의미한다. 접촉면이 평면 접촉이 아니라 요철 등과 같은 접촉이 있는 경우 실제 접촉 단면적이 겉보기 접촉 단면적보다 작거나 도체의 표면이 전류의 흐름을 방해할 때 생성된다. 이러한 상황에서 2개의 도체를 접촉시킨 후 전류를 흘리면 그 접촉부의 저항은 접촉저항에 의해 상승하기 때문에 전압은 강하하고 온도는 상승하게 된다. 본 연구에서는 전압강하법을 이용하여 컷아웃 스위치(COS) 구조의 피뢰기 접점 사이의 접촉저항을 측정하기 위한 시스템을 개발하며, 정전류 회로는 LM317 레귤레이터를 이용하여 구현하였으며, 그리고 LM6132 OP Amp를 이용한 1:1 Unity Gain Input Buffer에서 입력 Gain을 결정하는 4개의 저항도 0.01%급 고정밀 저항을 사용하여 정밀도를 개선하였다. 본 연구의 결과는 AC 22.9 kV 배전선로의 차단기 및 피뢰기의 접촉저항 측정

을 위해 사용될 예정으로 높은 접촉저항에 따라 스위치 개폐 시 발생하는 아크에 의해 제품 손상, 화재 발생, 전력 단전 등을 예방하기 위해 정확한 접촉저항 측정은 필수적이며, 여타 전기분야 특성 분석 및 각종 저항의 오차율 개선을 위한 고도화로 관련 제품 생산 품질 향상에 기여할 것으로 예상된다.

### 2. 접촉저항 측정 시스템

접촉저항 측정 시스템은 접촉저항을 측정할 회로와 이를 읽고 계산할 MCU로 구성된다. 정전류 회로를 이용하여 측정대상에 일정한 전류를 부가하면 전압차가 발생하고 이에 따라 전압차와 전류를 이용하여 옴의 법칙을 통해 접촉저항을 계산할 수 있다. 전위차를 OP Amp를 이용하여 고 입력 저항 그리고 저 출력 저항으로 신호를 조정하고 ADC(Analog to Digital Converter)에 의해 디지털 값으로 변환된다. (그림 1)은 접촉저항을 측정하는 회로의 아날로그 부분의 개념 블록도이다.[1]



(그림 1) 접촉저항 측정 회로의 개념 블록도

본 시스템은 동작을 위한 ADC는 18 bit의 데이터를 처리하는데 부호가 음수인 부분을 제외하면 부호 비트 MSB를 제외한 나머지 17 bit의 분해능으로 0 V부터 2.048 V까지의 범위를 측정한다. 따라서 0 V에서는 ADC 카운트 값이 0, 2.048 V에서는 ADC 카운트 값이 131071이 된다.[2]

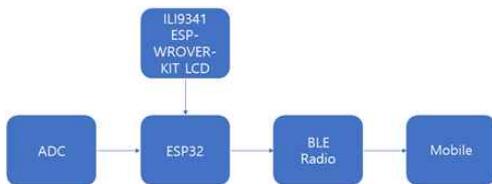
임피던스 측정 대역을 0 Ω부터 10.24 Ω로 설정하면 전압차가 0 V일 때 0 Ω, 2.048 V일 때 10.24 Ω가 된다. 전위차와 저항값의 중간값은 각각 1.024 V와 5.12 Ω이고, 정전류 회로의 바이어스 전류는 식(1)에 의해 결정된다.

$$I_{bias} = \frac{V_{mid}}{R_{mid}} = \frac{1.024 V}{5.12 \Omega} = 0.2A \quad (1)$$

바이어스 전류가 측정대상에 인가하여 발생한 전압차를  $V_x$ 라고 하면 MCU는 식(2)에 의해 접촉저항  $R_x$ 를 알 수 있다.

$$R_x = \frac{V_x}{I_{bias}} \quad (2)$$

이와 같이 접촉저항  $R_x$  값이 결정되면 MCU는 LCD에 값을 출력하고, 동시에 블루투스 통신을 통해 안드로이드 태블릿이나 터치스크린과 연결된 라즈베리파이 보드와 같은 기기로 전송한다. 이 과정을 간단한 블록도로 표현하면 다음의 (그림 2)와 같다.



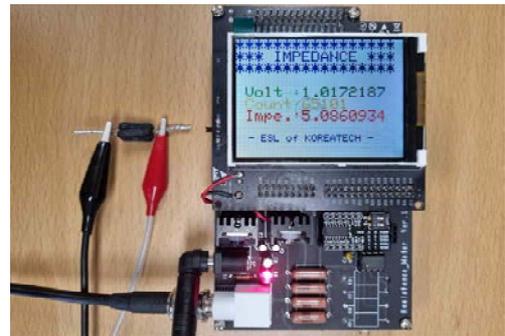
(그림 2) 접촉저항 측정 시스템의 디지털 시스템 블록도

### 3. 접촉저항 측정 시스템의 하드웨어 구성

측정된 전위차의 디지털 값을 저항 값으로 환산한 후 블루투스로 전송하고, 이 값을 LCD에서도 확인하기에 용이한 MCU가 필요하다. 본 연구에서는 Espressif사의 ESP32[3] 기반 ESP-WROVER-KIT 개발보드[4]를 사용해 저항 측정 시스템을 구축했다.

회로는 5 V 정전압 레귤레이터(LM7805[5]) 1개,

Adjustable 전압 레귤레이터(LM317[6]) 1개, 18bit ADC(MCP3424) 1개, OP-Amp(LM6132[7]) 1개, 100 μF 커패시터 1개, 병렬 연결하여 6.25 Ω을 만들기 위한 25 Ω 저항[8] 4개, 허용오차 0.01%의 10 kΩ 저항[9] 4개, 추가적으로 LED 1개와 330 Ω 저항 1개로 구성된다. DUT로 표시된 것은 접촉저항을 측정할 양단이고, OP-Amp의 출력단에서 DUT의 전위차가 출력되고 아날로그 전압으로써 MCP3424의 채널 1번으로 입력된다. 다음의 (그림 3)은 회로도를 설계한 후 PCB 기판을 제작하여 만든 장치이다.



(그림 3) PCB기판을 이용해 제작한 접촉저항 측정 시스템

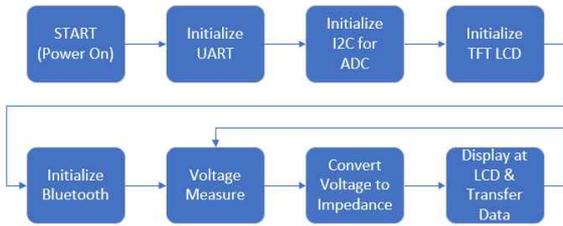
바이어스 저항은 식(3)을 통해 산출되었으며, 6.25 Ω은 표준저항에 속하지 않아 구매가 불가능하다. 따라서 Vishay사의 25 Ω 저항을 4개 병렬 연결하여 6.25 Ω을 구현하였다.

$$R_{bias} = \frac{1.25 V}{I_{LIMIT}} = \frac{1.25 V}{0.2 A} = 6.25 \Omega \quad (3)$$

### 4. 접촉저항 측정 시스템 및 안드로이드 운영체제 앱

아래 (그림 4)에 나타난 흐름도와 같이 전원이 인가되면 UART(Hardware Serial), TFT LCD, I2C 통신 및 블루투스 통신을 위한 객체 초기화를 진행한다. 이후 루프에 진입하면 ADC를 통해 전압 값을 측정하고, 전압 값을 통해 임피던스를 계산하여 LCD 상에 출력하고 블루투스를 통해 안드로이드 모바일 장치로 전송된다. 안드로이드 모바일 장치로 전송된 데이터는 아래 (그림 5)와 같이 터치스크린 상에 출력되고 저항 측정이 완료된다.

본 연구에서는 Raspberry Pi 4 보드에 안드로이드 운영체제를 이식하여 안드로이드 앱을 개발하였다. 개발환경은 Android Studio를 사용하였으며, 깃허브의 kai-morch/SimpleBluetoothTerminal 리포지토리 [10]를 기반으로 TerminalFragment 클래스의 onSerialRead 메소드 및 GUI를 수정하여 개발하였다.



(그림 4) 접촉저항 측정 시스템의 동작 흐름도

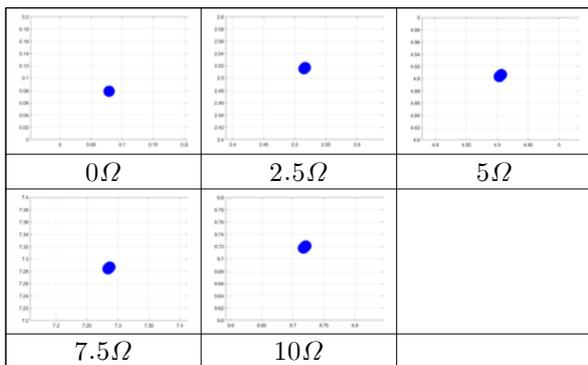


(그림 5) 안드로이드 운영체제 앱

5. 측정시스템 측정 결과

0 Ω ~ 10Ω 저항을 측정하였다. 아무 저항을 연결하지 않고 프로브끼리 연결한 0 Ω, 3 W 0.1% 15 Ω 권선저항기를 각각 3개, 2개를 병렬로 연결하여 구현한 5 Ω, 7.5 Ω 저항, 1 W 0.1% 10 Ω 탄소피막 저항기를 4개 병렬 연결한 2.5 Ω 저항과 10 Ω 저항을 100번 측정한 뒤 결과를 plotting하여 아래 <표 1> 에 나타냈다.

<표 1> 시스템 측정 결과



아래 <표 2>에는 PCB 기판으로 제작한 측정회로와 만능기판으로 제작한 측정회로의 정확도 비교를 위하여 위에서 측정한 샘플 저항들의 평균과 표준편차의 값을 각각 나타내었다. PCB 기판으로 제작한 측정회로가 만능기판으로 제작한 측정회로에 비해 표준편차가 크지 않고 일정하게 측정되는 것을 확인할 수 있다.

<표 2> PCB 기판으로 제작한 측정회로와 만능기판으로 제작한 측정회로의 저항 측정 결과

저항기		만능기판	PCB기판	비고
0Ω	평균	0.1081458326	0.0790850709	쇼트
	표준편차	0.0007802658	0.0000356105	
2.5Ω	평균	2.5303445960	2.5160885180	탄소피막 10Ω±0.1% 4개 병렬 연결
	표준편차	0.0007262954	0.0004682928	
5Ω	평균	4.9994523373	4.9055599639	권선저항 15Ω±0.1% 3개 병렬 연결
	표준편차	0.0007587167	0.0008427120	
7.5Ω	평균	7.4367059447	7.2859745773	권선저항 15Ω±0.1% 2개 병렬 연결
	표준편차	0.0007415662	0.0006467066	
10Ω	평균	9.7802464168	9.7197014181	탄소피막 10Ω±0.1% 1개
	표준편차	0.0009505024	0.0008429949	

감사의 글

본 연구는 2021년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S3099955]

참고문헌

- [1] J. C. Ryu and M. E. Lee. Development of High Precision Impedance Measurement Systems between Specific Ranges Using a Microprocessor. Journal of Advanced Navigation Technology, vol.23, no.4, pp.316-321, 2013.
- [2] Microchip Technology Inc, "18-Bit, Multi-Channel ΔΣ Analog-to-Digital Converter with I2CTM Interface and On-Board Reference," MCP3424 datash eet.
- [3] Espressif Systems, "ESP32-WROVER-E & ES P32-WROVER-IE," datasheet.
- [4] Espressif Systems, "ESP-WROVER-KIT V4.1 Getting Started Guide," [https://docs.espressif.com/p rojects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-wrover-kit.html](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-wrover-kit.html).
- [5] Texas Instruments Inc, "LM340, LM340A and LM7805 Family Wide VIN 1.5-A Fixed Voltage R egulators," LM7805 datasheet.
- [6] Texas Instruments Inc, "LM317 3-Terminal A djustable Regulator," LM317 datasheet.
- [7] Texas Instruments Inc, "LM6132/LM6134 Dual and Quad Low Power 10 MHz Rail-to-Rail I/O O perational Amplifiers," LM6132 datasheet.
- [8] Vishay Intertechnology Inc, "CMF (Military R N and RL)," CMF series datasheet.
- [9] Johanson Dielectrics, "RESISTOR WIREWOU ND PRECISION," RWP series datasheet.
- [10] Kai Morich, SimpleBluetoothTerminal, Github repository.