

◆ 특집 ◆ FPD(Flat Panel Display) 제조 및 검사 공정 기술

온도에 따른 저항 변화를 보정한 전압 측정 방법

Compensation of Resistance Variation due to Temperature in Voltage Measurement System

민상준¹, 김진성^{1,✉}Sang-Jun Min¹ and Jin-Sung Kim^{1,✉}¹ 선문대학교 전자공학과 (Department of Electronic Engineering, Sun Moon Univ.)

✉ Corresponding author: jinsungk@sunmoon.ac.kr, Tel: 041-530-2232

Manuscript received: 2012.3.12 / Accepted: 2012.10.4

In voltage measurement by using voltage divider with series resistors, error is generated caused by the variation of resistance. In order to reduce these errors, the hardware cost tends to increase in the previous works. In the proposed method, three resistors are used for the voltage divider of which the organization is adjusted by using switches. Three voltages are measured and the ratio of resistance is calculated based on the measured voltages. Since the resistance ratio is calculated by measuring voltages and additional hardware cost is minimal, the voltage can be measured with high accuracy and low cost. Experimental results show that the mean absolute error is 12.1 mV when the input voltage ranges from 5 V to 50 V.

Key Words: Voltage Divider (전압 분배), Voltage Measurement (전압측정), LED, Forward Voltage (순방향 전압)

1. 서론

저항의 직렬 연결을 이용한 전압 분배 회로는 간단한 구조로 입력 전압을 낮은 전압으로 스케일링하는 데에 널리 사용되고 있다. 특히 친환경 조명용으로 널리 각광 받고 있는 LED 조명에서 직렬 연결된 LED 스트링의 순방향 전압을 측정하는 데에도 활용이 된다. LED의 순방향 전압 측정은 비닝 (binning) 등에 활용되는데, 이를 위한 저가형의 검사 장치 개발이 필요한 실정이다.^{1,2}

일반적인 저가형의 전압 측정 장치는 측정하고자 하는 노드에 저항을 이용한 전압 분배기를 설치하고, 저항의 비율에 의하여 스케일 다운된 전압을 검출하며 이를 analog-to-digital converter (ADC)를 이용하여 읽는 방식을 사용한다. 저항을 통한

누설 전류가 LED에 흐르는 전류에 큰 영향을 주지 않기 위하여 대체로 수 ~ 수십 Mohm의 저항을 사용하며, 전압 분배기에서 측정된 전압은 gain이 1인 op-amp를 지난 후 ADC로 입력된다. 그러나 이러한 측정은 전압 분배기의 정확한 저항비를 알고 있어야 하는데 저항 부품의 소자간 산포가 있고 또한 온도에 따른 저항 변화가 있어, 매우 정밀한 측정을 요하는 경우에는 큰 오차를 발생시킨다. 고저항을 정밀 측정하는 방법이 제안되었으나 전압 측정을 위해 저항을 다시 정밀 측정하는 것은 추가의 비용을 발생시킨다.⁴ 이를 해결하기 위해서는 고가의 초정밀 저항을 사용할 수 있으나 비용이 크게 상승하는 문제가 있으며, 이러한 저항 역시 작은 오차를 포함하고 있어 보정이 필요하다. Op-amp 역시 온도 혹은 시스템 구성에 따라

오프셋이 변동하는 문제가 있어 측정 오차의 원인이 될 수 있다. 온도 센서를 이용하여 온도를 측정하고 측정값을 보정하는 방법을 사용할 수 있으나, 비용의 증가 및 온도에 따른 저항 변화 예측 정확성에 문제가 있다. 이전 연구에서는 전류원을 이용하여 서로 다른 두 전류가 흐르는 조건에서 전압을 측정하고 이를 이용하여 diode 의 양단 전압을 측정하는 방법이 제안되었으나 전류원을 위한 비용 문제가 있다.³

본 논문에서는 저가의 저항을 사용하면서도 개별 부품 특성에 따른 저항 산포 및 온도에 의한 저항 변화, op-amp 의 오프셋 변화를 보상하여 비교적 정확한 전압을 측정할 수 있는 시스템을 제안한다. 제안 방법에서는 측정 시스템에 마이크로 프로세서와 같은 제어 및 연산 유닛이 포함되어 있다고 가정하였으며, op-amp 의 오프셋을 측정하고, 전압 분배기에 사용된 저항들의 비율을 간단한 측정 및 연산을 이용하여 예측하는 방법을 제시하였다. 제안된 전압 분배기 및 op-amp 를 이용하여 5~50 V 의 범위에서 전압을 측정하였으며, 이때 측정된 평균 오차는 12.1 mV 이고, 최대 오차는 47.5 mV 로 최대 오차가 0.1%를 넘지 않는다. 제안 방법에서는 3 종류의 전압을 측정하여 입력전압을 예측하는데, 각 측정 전압에 1 mV 의 측정 오차가 있다고 가정하면 예측 전압의 오차는 평균 23.5 mV, 최대 72.2 mV 로 최대 0.144%의 오차를 보인다.

2. 제안 방법 및 실험 결과

그림 1 은 제안하는 전압 분배 회로를 나타낸다. 실제 측정 회로는 node A 와 GND 사이에 current source 를 연결하여 LED 에 흐르는 전류를 정하도록 되어 있다. 3 개의 저항과 5 개의 스위치를 이용하여 3 가지의 전압 분배 회로를 동적으로 구성하고 전압을 측정한 후 이 전압들을 이용하여 node A 의 전압을 예측한다. 이러한 예측에서는 전압 분배 회로에 사용된 R₁, R₂ 및 R₃ 의 저항값을 필요로 하지 않기 때문에 저항값의 오차나 온도에 따른 변화가 예측 결과에 영향을 주지 않는다. 전압 측정은 그림 1 의 node D 에서 이루어지며 node D 의 전압은 voltage follower 를 통하여 ADC 로 입력된다. 제안 회로는 크게 3 개의 전압을 측정하는데, 스위치의 동작에 의하여 그림 2 와 같이 3 가지의 전압 분배 회로의 전압을 측정한다. 이러한 스위치는 릴레이를 이용하여 구현된다. 이를 각 mode 별로 설명한다.

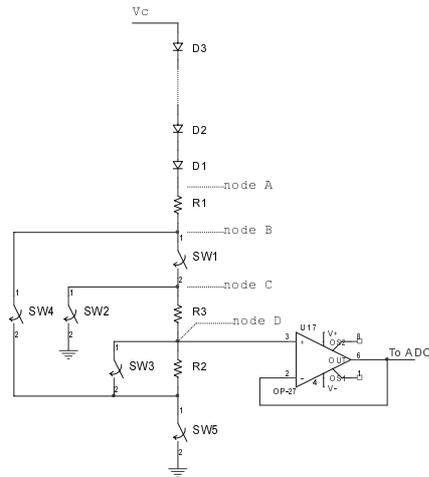


Fig. 1 Proposed circuit for measuring V_f of LED string

V₁ 측정 mode: 그림 1 에서 SW2, SW4 가 on 되며 나머지 스위치는 off 되어 전류를 차단한다. 이런 스위치 동작은 그림 2 (a)와 같은 회로를 구성하게 되며 이 때 node D 의 전압을 측정하여 V₁로 정의하는데, V₁은 다음 식 (1)과 같이 주어진다.

$$V_1 = \frac{R_3}{R_1+R_2+R_3} V_A \tag{1}$$

V₂ 측정 mode: SW2, SW3 및 SW4 가 on 되며 나머지 스위치는 모두 off 된다. 이러한 스위치 설정은 그림 2 (b)와 같은 전압 분배 회로를 구성하며 이 때 측정되는 V₂는 식 (2)로 주어진다.

$$V_2 = \frac{R_3}{R_1+R_3} V_A \tag{2}$$

V₃ 측정 mode: SW1 과 SW5 가 on 되며 나머지 스위치는 off 된다. 이 때 제안 회로는 그림 2 (c)와 같은 회로로 구성이 되며, 이 때 측정되는 전압 V₃는 식 (3)으로 주어진다.

$$V_3 = \frac{R_2}{R_1+R_2+R_3} V_A \tag{3}$$

위 식 (1)과 (2)에서 V_A 항을 제거하면 아래와 같은 관계식을 얻게 된다.

$$\frac{R_1+R_2+R_3}{R_2} = \frac{V_2}{V_2-V_1} \tag{4}$$

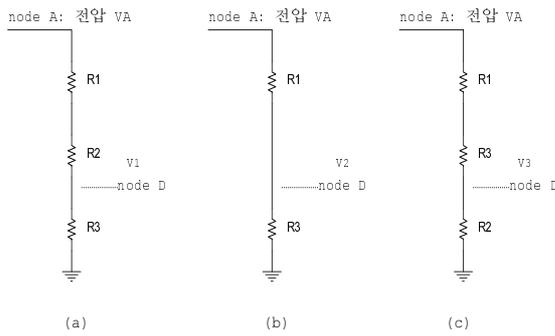


Fig. 2 Equivalent circuit for each measurement mode: (a) V_1 mode; (b) V_2 mode; (c) V_3 mode

식 (4)는 $R_2/(R_1+R_2+R_3)$ 는 측정 전압 V_1 과 V_2 로 계산할 수 있음을 보인다. 이렇게 얻은 저항비를 식 (3)에 대입하면 V_A 를 예측하는 식 (5)를 얻을 수 있다.

$$V_A = \frac{R_1+R_2+R_3}{R_2} V_3 = \frac{V_2 V_3}{V_2 - V_1} \quad (5)$$

제안 방법에서는 그림 2에서 보이는 V_1 , V_2 및 V_3 전압을 측정 후 식 (5)를 이용하여 node A의 전압인 V_A 를 계산한다. 이러한 계산 과정에서는 저항의 값이 아닌 측정 전압으로 node A의 전압을 계산하기 때문에 정확한 저항값을 필요로 하지 않으며, 온도에 의하여 저항비가 변화해도 정확한 node A의 전압을 측정할 수 있다. 그림 1에서 보인 회로에서 op-amp의 offset은 SW4를 on시키고 나머지 스위치를 모두 off시켜 측정할 수 있다. 이렇게 측정된 offset 전압인 V_{offset} 을 V_1 , V_2 및 V_3 의 측정된 값에서 빼서 offset 전압이 보정된 V_1 , V_2 및 V_3 를 얻을 수 있다. 이렇게 보정된 측정 전압들을 식 (5)에 대입하여 V_A 를 계산한다.

표 1의 측정값 열은 제안 방법을 적용하여 node A의 전압이 5 V, 10 V, 15 V, 20 V, 30 V, 40 V 및 50 V일 때 측정된 전압 오차들의 절대값 평균 (Mean absolute error: MAE)를 보인다. 저항값의 변동에 의한 영향을 보기 위해 3가지의 저항 조합을 사용하여 실험하였는데, 각 저항비 경우의 저항값은 다음과 같다.

- 저항비 A: $R_1 = 10.0 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 3.0 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 2.2 \text{ M}\Omega$
- 저항비 B: $R_1 = 10.0 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 2.2 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 2.2 \text{ M}\Omega$
- 저항비 C: $R_1 = 11.0 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 3.0 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 2.4 \text{ M}\Omega$

Table 1 Experimental results of the measurement circuit of Fig. 1 (UNIT: V)

저항조건	오차	측정값	V_1 error	V_2 error	V_3 error
저항비 A	MAE	0.0151	0.0174	0.0374	0.0110
	abs max	0.0440	0.0253	0.0663	0.0390
저항비 B	MAE	0.0100	0.0262	0.0405	0.0072
	abs max	0.0333	0.0366	0.0638	0.0267
저항비 C	MAE	0.0112	0.0285	0.0316	0.0118
	abs max	0.0475	0.0436	0.0722	0.0420
평균/	MAE	0.0121	0.0240	0.0365	0.0100
최대	abs max	0.0475	0.0436	0.0722	0.0420

저항값과 저항 비율이 변화해도 표 1에서 보이는 측정 전압의 MAE는 12.1 mV이고 최대 오차가 47.5 mV로 매우 작은 것을 볼 수 있다. 이는 제안 방법이 식 (5)에서 보인 것과 같이 측정된 전압을 이용하여 V_A 를 계산하기 때문에 전압 분배 회로에 사용된 저항들의 정확한 저항값이 없어도 전압을 정확히 측정할 수 있음을 보인다.

제안 방법의 잡음에 대한 강인성을 확인하기 위하여 제안 방법을 구현한 시스템에서 V_1 , V_2 및 V_3 의 측정 오차가 op-amp 혹은 ADC를 거치며 1 mV의 측정 오차가 발생한 경우를 가정하고, 이 때 얻어지는 V_A 의 오차를 계산하였다. 표 1의 4, 5 및 6 번째 열은 각각 V_1 , V_2 및 V_3 에서 1 mV의 측정 오차가 발생했을 때의 V_A 계산 결과를 보인다. 각 경우에 대하여 최대 MAE는 36.5 mV이고 최대 오차는 72.2 mV로 비교적 낮은 값을 보인다. 최대 오차는 40 V를 측정할 때에 발생한 것으로 최대 오차는 측정값 대비 0.18%로 매우 낮다.

제안 회로에서 측정 정밀도를 향상시키기 위하여 식 (4)의 저항비를 V_A 전압이 30 V일 때 측정하고, 이 값을 사용하는 방법을 확인하였다. 이는 전체 측정 실험에서 V_A 전압이 30 V일 때 가장 우수한 측정 성능을 보였기 때문이다. 그림 3은 이를 위한 회로를 보이는데, V_1 , V_2 및 V_3 를 측정할 때에는 V_c 전원을 끊고, SW6을 on시켜 node A에 30 V가 인가되도록 한다. 이 때 30 V는 정밀한 전압을 요구하지 않으며 단, 측정이 이루어지는 수 ms 정도의 시간 동안 전압이 변하지 않도록 한다. 전압 측정으로 식 (4)의 저항비가 계산이 되면 V_c 를 인가하고 SW6를 off시킨 뒤 V_3 전압을 재측정하여 식 (5)를 이용해 V_A 를 계산한다. 표 2는 30 V를

reference 전압으로 하여 저항비를 계산한 뒤 이를 이용하여 V_A 를 계산한 결과를 보인다. 모든 경우에 대한 MAE 는 그림 1 의 방법에서 20.7 mV 이고 그림 3 의 방법은 15.4 mV 이며, 그림 3 의 방법으로 약 25%의 정밀도 향상을 얻을 수 있다. 그러나 최대 오차는 72.2 mV 에서 76.6 mV 로 약간 증가하였으나 전체 평균 오차의 감소를 고려하면 최대 오차의 증가는 크지 않다고 판단할 수 있다.

Table 2 Experimental results of the circuit of Fig. 3 (UNIT: V)

저항조건	오차	측정값	V1 error	V2 error	V3 error
저항비 A	MAE	0.0147	0.0079	0.0328	0.0102
	abs max	0.0388	0.0209	0.0760	0.0337
저항비 B	MAE	0.0058	0.0235	0.0305	0.0046
	abs max	0.0140	0.0492	0.0619	0.0075
저항비 C	MAE	0.0065	0.0181	0.0265	0.0040
	abs max	0.0157	0.0349	0.0569	0.0102
평균/	MAE	0.0090	0.0165	0.0299	0.0063
최대	abs max	0.0388	0.0492	0.0760	0.0337

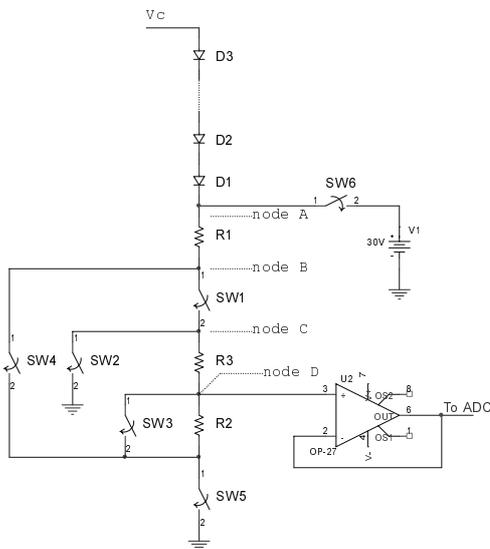


Fig. 3 Proposed circuit with improved accuracy

3. 결론

저항을 이용한 전압 분배기로 전압을 측정할 때 저항값의 산포 및 온도 변화에 의한 측정 오차

를 줄이기 위하여 3 개 저항의 3 가지 연결 구조의 전압을 측정하여 입력 전압을 예측하는 시스템을 제안하였다. 제안 회로는 실시간으로 전압을 측정하여 저항비를 계산하고 이를 이용하여 측정 전압을 예측하기 때문에 저항값의 변동에 영향을 받지 않는다. 따라서 저가의 저항을 사용하여 정밀한 전압 측정이 가능하다. 실험 결과로 5 V ~ 50 V 범위의 전압 측정에서 저항값을 다양하게 변경했을 때에도 평균 12.1 mV 의 낮은 오차를 보였다.

후 기

이 논문은 지식경제부 지역기술혁신개발사업 (No. RTI04-01-02)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Wyban, D. and Janesch, J., "Testing high brightness LEDs accurately and cost-effectively in a production environment," KEITHLEY Technical Article, pp. 1-4, 2010.
- Nguyen Hoang, V., Bancken, P., Surdeanu, R., Bataillou, B., and van Steenwinckel, D., "Self calibration circuit and method for junction temperature," US Patent, No. 20110150028 A1, 2011.
- Ji, C., "Circuit for driving an infrared transmitter LED with temperature compensation," US Patent, No. 20110062895 A1, 2011.
- Yu, K. M., Kang, J. H., Han, K. S., Lee, S. H., and Ryu, J. C., "Precision measurement system for high resistances using two dc voltage sources," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1039-1040, 2011.