

디지털 신호처리를 이용한 고분해능 온도측정 시스템 설계

論 文
51D-7-6

A Design of High Resolution Temperature Measurement System Using Digital Signal Processor

金泰勳* · 林宙鉉* · 金德暎** · 高漢雨*** · 金成煥[§]
(Tae-Hoon Kim · Ju-Hyun Lim · Duck-Young Kim · Han-Woo Ko · Sung-Hwan Kim)

Abstract - This paper presents a linear temperature/voltage relation over a temperature range(0~100°C) with high-resolution, reasonably good response linearity, reliability, and overall improved performance. A notable feature of the proposed method is that the whole temperature span is divided by 16 subbands thus the variation span of measured voltage is narrowed. Therefore noise characteristic has been improved. The output voltage is amplified after the uniformed DC voltage component is eliminated by offset. We proposed circuit using median value and mean value of digital signal in order to reduce the noise effect. The proposed circuit offers linear temperature/voltage conversion over a wide dynamic range using DSP(TMS320C31) and steinhart equation.

Key Words : Steinhart, linearity, reliability

1. 서 론

서미스터(thermistor)는 저가이면서, 작은 크기, 강한 특성, 낮은 열 시정수, 높은 민감도와 안정성 등에서 전반적으로 향상된 성능을 갖기 때문에, 다른 온도 센서들보다 빠르고 정확한 온도측정에 널리 사용되고 있다. 또한 소자 자체의 전기 저항이 크므로, 리드선의 길이를 길게 할 수 있는 장점이 있다.

그러나 높은 민감도를 가지는 장점에도 불구하고 일반적으로 서미스터는 온도에 관해서 서미스터의 저항 변동이 비선형적인 특성을 갖는다. 그러므로 측정하고자 하는 온도범위에 관해서 선형입력과 비선형적인 출력의 관계를 계산할 수 없는 단점을 갖는다. 서미스터의 비선형적인 저항-온도특성은 식(1)과 같은 지수함수 형태(그림 1)를 가지기 때문에 온도측정 센서로서 완벽하게 이용되지 못하고 있는 실정이다 [1].

$$R_T = A \exp(B/T) \quad (1)$$

여기서, A, B는 서미스터 상수, T는 절대온도, R_T 는 온도 T에서 서미스터의 저항이다. 이러한 단점을 극복하고, NTC(negative temperature coefficient) 서미스터를 광범위하게 이용하기 위해서는 넓은 온도 범위에서 단순하고, 신뢰성 있

도록 서미스터를 선형화(linearization)하는 회로를 구현하여야만 한다. 지금까지 보고된 선형화 회로는 다섯 가지로 분류할 수 있다. 첫번째는 서미스터와 고정저항을 사용한 회로이고 두번째는 서미스터와 고정저항을 다중으로 사용한 회로, 세번째는 로그회로를 이용하여 서미스터의 지수특성을 보상한 회로, 네번째는 지연회로를 이용한 서미스터를 선형화하는 회로, 그리고 마지막으로 로그회로를 이용한 서미스터와 고정저항의 조합이다[2]. Khan[3]은 Transdiode logarithmic network를 이용한 회로를 제안하였다. 제안된 회로의 측정 온도범위는 -25~110°C이며, 9mV/°C의 감도를 갖는다. 그러나 온도변화에 대한 출력전압 폭이 작기 때문에 잡음에 약한 단점이 있다. 또한 Khan[2]은 RC 회로를 이용한 선형 온도-전압 변환기를 제안하였다. 서미스터의 온도-저항 특성을 두 개의 로그회로로 선형화하고 두 개의 출력 전압을 평균하여 광범위의 온도 범위에서 높은 선형화 응답을 구현하였다. 선형화 저항 R_{01} , R_{02} 의 결정은 시행착오(trial and error) 방법을 이용하여 최적의 값을 선정하지만, 다른 특성의 서미스터를 사용시 동일한 특성을 얻기 힘들고 높은 전압을 공급해야 하므로 전력 소모가 크다는 단점이 있다. Sengupta[4]는 펄스 발생기를 이용한 광대역 선형 온도-주파수 변환기를 제안하였다. 이 회로는 광대역의 측정 온도범위를 갖는다. 그러나 9.6Hz/°C의 감도를 가지므로 5°C미만의 온도측정이 어렵다는 단점이 있다. 이와 같이 서미스터의 비선형적인 온도 대 저항 특성을 선형화 하는 방법은 전적으로 회로 구현에만 의존하는 고전적인 방법이며 현대에는 비선형적인 서미스터의 특성을 디지털 신호로 바꾸어 디지털 신호처리를 통하여 선형화 하는 방법이 사용되고 있다.

본 논문에서는 서미스터를 이용하여 0~100°C사이를 고분해능으로 측정할 수 있는 온도측정 시스템을 구현하였다. 실제적으로 회로에 영향을 미치는 미세한 외부 잡음도 측정값

* 正 會 員 : 서울시立大學校 大學院 電子電氣컴퓨터工學部
** 正 會 員 : 富川大 電子科
*** 正 會 員 : 標準科學研究院
§ 正 會 員 : 서울시立大學校 電子電氣컴퓨터工學部 教授
接受日字 : 2001年 10月 7日
最終完了 : 2002年 4月 13日

의 신뢰성에 영향을 미칠 수 있으며, 특히 디지털 회로단에서 발생하는 충격 임펄스나 고주파 잡음이 아날로그 회로 단에 미치는 영향은 측정값의 신뢰성에 치명적인 영향을 주게 되므로 이것을 최소화해야만 한다. 따라서, 이러한 온도 센서의 측정에서 잡음의 영향을 최소화하여 측정의 신뢰성을 높이기 위한 방법으로써, 하드웨어적으로는 전체 온도측정 범위를 16개로 분할하였다. 즉, 온도 변화 당 출력전압의 변화를 전체 범위에서 온도 변화 당 출력전압의 변화보다 20배 이상 높여 잡음에 대한 측정 전압의 오차범위를 줄여 잡음특성을 향상시켰다. 소프트웨어적으로는 디지털화된 신호에서 중간값(median value)과 평균값(mean value)을 구하여 잡음을 제거하였다. 구현된 측정 시스템의 정확성은 실제 정밀 온도측정기와의 비교와 온도 당 저항에 대한 시스템의 응답 특성을 확인함으로써 그 성능을 입증하였다.

이와 같이 본 논문에서는 디지털 신호처리기인 TMS320C31을 이용하여 아날로그 신호인 서미스터의 출력전압을 디지털 신호로 변환하는 과정에서 오차를 줄일 수 있는 방법을 제안하였고, Steinhart 식을 이용하여 디지털 선형화된 온도측정기를 구현하였다.

2. 서미스터를 이용한 새로운 온도측정 시스템의 설계

2.1 아날로그 회로를 이용한 서미스터의 선형화 방법

서미스터는 망간(Mn), 니켈(Ni), 코발트(Co)등의 금속산화물을 소결하여 만들어진다. NTC 서미스터는 반도체의 저항이 온도에 의존한다는 것에 기초하며, 유효한 전자 캐리어의 수와 캐리어의 이동도 변화에 의존한다. 온도가 증가할 때 전자 캐리어의 수가 증가하고 저항은 감소하므로 부 온도 계수를 가지게 된다. 이러한 의존성은 혼합물에 따라 변한다. 그림 1은 재료상수에 따른 서미스터의 R_T 대 T 의 특성곡선이다.

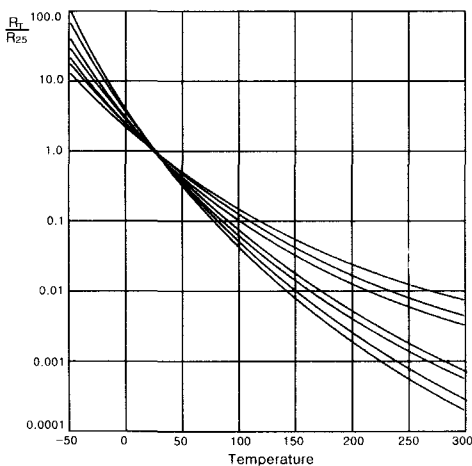


그림 1 NTC 서미스터에 대한 저항-온도 곡선 (R_{25} : 25°C에서의 저항)

Fig. 1 Resistance-temperature curve for NTC thermistor (R_{25} : resistance at 25°C)

식(1)과 같이 온도-저항 관계가 지수함수 특성을 가지는 서미스터의 응답특성을 선형화하기 위해서, 과거에는 서미스터의 일부 선형화된 온도 구간만을 사용하거나, 전압 분배기나 브리지 회로의 한 단에 서미스터를 달고 선형화 저항을 이용하여 출력전압을 근사적으로 선형화 하였으며, 서미스터의 지수적인 특성에 착안하여 지수 특성의 서미스터의 출력전압을 로그회로에 인가하여 선형화하는 방법들이 연구되었다.

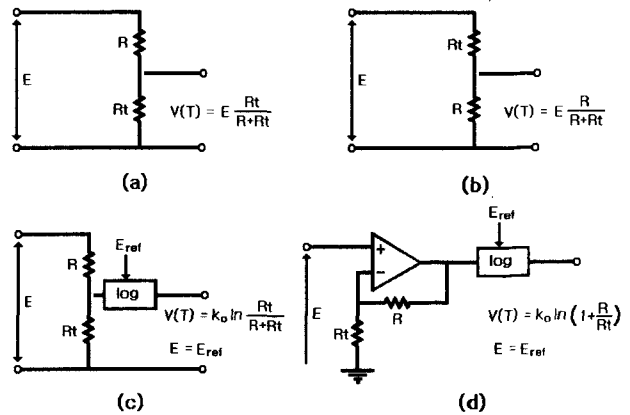


그림 2 (a),(b) 전형적인 선형화 회로 (c),(d) 로그회로에 기초한 선형화 회로 (R_T : 서미스터, R : 선형화 저항)

Fig. 2 (a),(b) conventional linearizing circuit (c), (d) linearizing circuit based on logarithmic network (R_T : thermistor, R : linearizing resistor)

서미스터와 선형화 저항으로 구성되는 기본적인 그림 2의 (a)와 (b)에서 볼 수 있고 로그회로에 기초한 선형화 방법은 그림 2의 (c)와 (d)와 같다. 출력전압 $V(T)$ 를 이용하여 서미스터를 선형화하는 선형화 저항을 구할 수 있다. 먼저 기준온도 T_0 에 대한 $V(T)$ 의 Taylor 급수는 다음과 같다.

$$V(T) = V(T_0) + V'(T_0) \cdot (T - T_0) + \frac{V''(T_0)}{2!} \cdot (T - T_0)^2 + \frac{V'''(T_0)}{3!} \cdot (T - T_0)^3 + \dots \quad (2)$$

여기서 $V'(T_0)$, $V''(T_0)$ 등은 $T = T_0$ 온도에 대한 $V(T)$ 의 일차, 이차 도함수이다.

서미스터 응답특성의 선형화의 방법은 주어진 온도범위의 중간점(mid point)에 대해, 식(2)에 $V(T)$ 의 이차 미분을 0으로 설정하여 풀면 선형화 저항을 구할 수 있다. 그러므로 그림 2의 (a)와 (b)의 전압 분배기를 이용한 회로에서, 선형화 저항 R 의 값은 다음 식(3)에 의하여 주어진다.

$$R = R_{T_0} \cdot \frac{B - 2T_0}{B + 2T_0} \quad (3)$$

여기서 R_{T_0} 는 $T = T_0$ 에서의 서미스터 저항이고 R_c 는 선형화 저항이다[2]. 유사한 방법으로 전개하면, 그림 2의 (c)와

(d)의 로그 회로에 대한 선형화 저항 R 은 다음 식(4)과 같이 얻을 수 있다.

$$R = R_{T_0} \cdot \frac{B - 2T_0}{2T_0} \quad (4)$$

2.2 디지털 연산을 통한 서미스터의 선형화 방법

디지털 연산에 의한 선형화 방법은 서미스터의 저항값을 디지털 값으로 환산하여 소프트웨어적인 연산을 통하여 선형화 하는 방법으로서 look-up 테이블을 이용하여 온도측정기를 구현한 것이다. 이 방법은 측정하고자 하는 모든 온도 데이터를 마이크로 프로세서의 ROM에 저장하여 A/D 변환되어 들어온 서미스터의 비선형 전압 특성을 받아 그에 맞는 온도값을 ROM에서 바로 출력하는 형태이다. 이 방법은 짧은 시간 안에 온도를 계산해 낼 수 있다는 장점이 있지만 측정하고자 하는 온도 범위나 분해능이 높을 경우 데이터의 양이 그에 비례하여 증가하기 때문에 메모리 소모가 매우 크게 된다.

디지털 연산을 이용한 선형화 방법은 식(1)을 이용하여 NTC 서미스터를 선형화하는 식(5)와 같은 두 파라미터(two parameter) 모델로부터 구할 수 있다.

$$B = \frac{\ln(R_2/R_1)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (5)$$

일반적인 서미스터에서, 두 파라미터 모델은 50℃범위에서 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 의 정확성을 가진다[5]. Steinhart는 서미스터를 선형화하는 세 파라미터(three parameter) 모델을 제안했다. 이 모델은 경험적인 식으로 식(6)과 같이 표현한다. 세 개의 알려진 온도에서 측정된 R_T 값을 Steinhart 식에 대입하여 풀면 a, b, c값을 구할 수 있다[6].

$$\frac{1}{T} = a + b \ln R_T + c (\ln R_T)^3 \quad (6)$$

2.3 고분해능의 온도측정 시스템의 제안

본 논문에서는 디지털 선형화 방식의 온도측정 시스템을 구현하는 과정에서 발생하는 잡음의 영향을 최소화하여 온도 측정 오차를 줄일 수 있는 회로를 제안하였고, 이 회로와 디지털 신호처리기인 TMS320C31을 이용하여 온도측정 시스템을 구현하였다. Steinhart 식을 이용하여 디지털방식의 선형화를 하여 온도를 측정하였다.

잡음 문제를 해결하기 위해 전체 온도범위를 일정 대역별로 분할하여 측정 전압 범위를 좁히고 일정하게 들어오는 DC전압 성분을 오프셋을 통하여 제거한 후 증폭하는 방법을 고안하였다. 각 온도 대역은 0.23V 정도의 범위를 가지도록 분할하였고 이렇게 분할된 온도 대역에서 발생하는 전압의 최소값을 오프셋 전압으로 설정하였으며, 증폭률은 20배로 하였다. 제안된 온도측정 시스템의 블록선도는 그림 3과 같고, 온도 대역별 오프셋 전압과 출력전압은 표1과 같다.

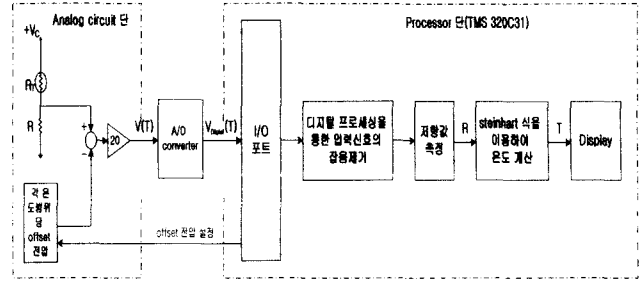


그림 3 제안된 온도측정 시스템의 블록선도(R_T : 서미스터, R : 선형화저항)

Fig. 3 Block diagram of proposed temperature measurement system (R_T : thermistor, R : linearizing resistor)

표 1의 최종 출력 전압에서 볼수 있듯이 각 온도 대역 당 전압 범위가 수백 mV에서 4.9V정도로 0.01℃당 전압의 변화 크기는 최소 3.4mV에서 최고 9.1mV정도의 크기로 증가하게 되어 표 2에서 보였던 0.01℃의 온도 변화 당 수백 μV 의 전압 변화를 수 mV의 전압 변화로 온도 변화 당 전압 변화 크기를 측정이 용이한 정도까지 늘리게 되었다.

표 1 온도 대역별 전압분배기의 출력과 오프셋 전압, 증폭된 출력전압

Table 1 Voltage divider output, offset voltage, and amplified output voltage for temperature substitute

채널	온도범위	전압출력 (V_o) [mV]	offset 전압 (V_{offset}) [mV]	최종출력전압 ($V_o - V_{offset}$) [mV]
1	0.00 ~ 9.91	381.65 ~ 586.56	-0.35	633.06 ~ 4731.24
2	9.92 ~ 18.40	586.80 ~ 818.49	-0.58	136.07 ~ 4769.84
3	18.41 ~ 25.41	818.80 ~ 1050.44	-0.81	175.94 ~ 4808.88
4	25.42 ~ 31.56	1050.80 ~ 1282.03	-1.04	216.00 ~ 4840.60
5	31.57 ~ 37.19	1282.43 ~ 1513.64	-1.27	248.52 ~ 4872.77
6	37.20 ~ 42.50	1514.06 ~ 1745.26	-1.50	281.28 ~ 4905.17
7	42.51 ~ 47.62	1745.70 ~ 1976.49	-1.73	314.08 ~ 4929.79
8	47.63 ~ 52.66	1976.95 ~ 2207.43	-1.96	338.93 ~ 4948.51
9	52.67 ~ 57.72	2207.89 ~ 2436.57	-2.19	357.70 ~ 4967.70
10	57.73 ~ 62.88	2438.84 ~ 2668.92	-2.42	376.76 ~ 4978.43
11	62.89 ~ 68.24	2669.36 ~ 2899.21	-2.65	387.22 ~ 4984.23
12	68.25 ~ 73.91	2899.63 ~ 3129.12	2.88	392.63 ~ 4982.43
13	73.92 ~ 80.04	3129.51 ~ 3358.83	-3.11	390.26 ~ 4976.65
14	80.05 ~ 86.83	3359.19 ~ 3588.22	-3.34	383.78 ~ 4964.45
15	86.84 ~ 94.59	3588.54 ~ 3817.38	-3.57	370.82 ~ 4947.68
16	94.60 ~ 100.00	3817.66 ~ 3956.95	-3.80	353.11 ~ 3138.94

제안한 회로에 사용된 소자는 디지털 신호처리기, 12bit A/D 변환기, 연산 증폭기, 16ch Multiplexer 등이고, 측정용 서미스터의 재료상수 B는 3896이고 25℃에서 30k Ω 이다. 서미스터와 선형저항이 전압분배기에 연결되어 서미스터가 온

도에 따른 저항 변화를 전압으로 출력해 주고 차동 증폭기에서 오프셋 전압만큼 출력전압 크기를 낮추어 준 후에 증폭 회로에서 20배 증폭을 하여 A/D 변환기에 입력되게 된다. 이때 오프셋 전압은 저항을 직렬로 연결하여 각 저항 연결점에서 0.35V, 0.58V, ..., 3.80V의 16개의 전압을 발생시켜 Multiplexer단의 1~16채널까지 연결되고 디지털 신호처리의 제어에 따라 온도범위에 맞게 오프셋 전압을 출력하게 된다. 오프셋 전압의 제어는 디지털 신호처리기에서 소프트웨어적으로 제어된다. 초기 하드웨어 구동시 디지털 신호처리기에서는 첫번째 온도 대역에 해당하는 Multiplexer의 채널 1을 선택하게 하고 채널 1에 해당하는 오프셋 전압인 0.35V가 차동 증폭기에 입력되어 서미스터 전압 분배기단에서 출력되는 신호에서 0.35V만큼의 전압 크기를 감소시키게 된다. 그 출력 신호가 20배 증폭하여 A/D 변환기에 입력된다.

디지털 신호처리기에서 이 신호의 전압에 따른 온도 크기를 환산하고 그 온도가 9.91℃를 넘으면 두 번째 온도 범위에 해당하는 채널 2의 오프셋 전압을 출력하라는 제어 신호를 Multiplexer로 보낸다. 이러한 처리 과정을 계속 반복하여 서미스터가 가지는 온도에 해당하는 온도범위로 온도대역을 찾아간다. 그리고 선택된 온도대역에서 측정된 온도를 프로세서에서 LCD 출력장치를 통하여 출력한다. 온도측정기는 1초 간격으로 온도의 변화를 측정하여 그 변화를 출력하고 설정된 온도 대역을 벗어나면 다른 대역으로 온도 대역을 바꾸어 가며 측정을 하게 된다. 다음으로 그림 4와 같은 소프트웨어를 사용하여 충격잡음(impulse noise)과 백색잡음(white noise)을 제거하였다.

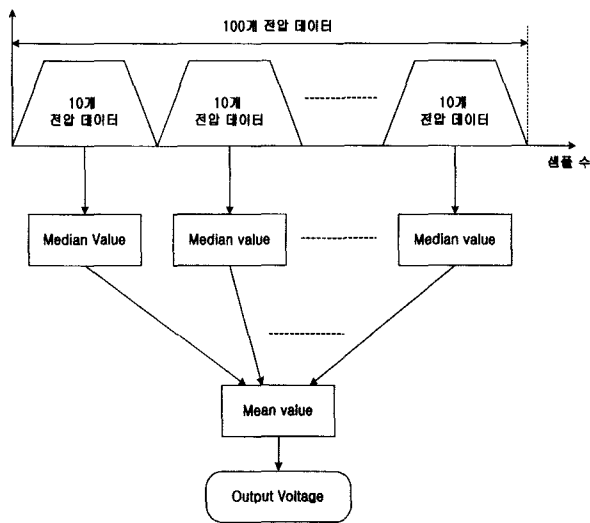


그림 4 소프트웨어에 이용한 서미스터 신호의 잡음제거
Fig. 4 Noise reduction of thermistor signal using software

전압으로 변환된 서미스터 신호를 100개씩 순차적으로 A/D 변환한다. 입력된 전압 데이터를 10개 단위로 중간값을 구하여 충격 잡음의 영향을 줄인 다음 그 중간값들로부터 평균값을 구하여 백색 잡음의 영향을 줄인다.

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 시스템 구성과 실험방법

(1) 시스템 구성

온도측정 시스템은 서미스터와 선형화 저항을 전압 분배기로 연결하여 서미스터의 온도 특성을 전압 형태로 바꾸어 주는 아날로그 회로단과 입력된 전압을 디지털 신호로 바꾸어 주는 A/D 변환기, 그리고 서미스터의 전압 특성을 선형화하여 온도로 변환하고 출력하는 디지털 신호처리기단으로 구성된다. 0~100℃의 온도범위를 고 분해능으로 측정하기 위해서 25℃에서 30kΩ이고 B = 3896인 서미스터(YSI 44008)를 사용하였다. 이 서미스터의 시정수는 1초이고 전력 손실률은 1mW/℃이며 온도-저항값은 그림 5와 같다. 선형화 저항은 식(3)에 의하여 7846Ω으로 결정하였다.

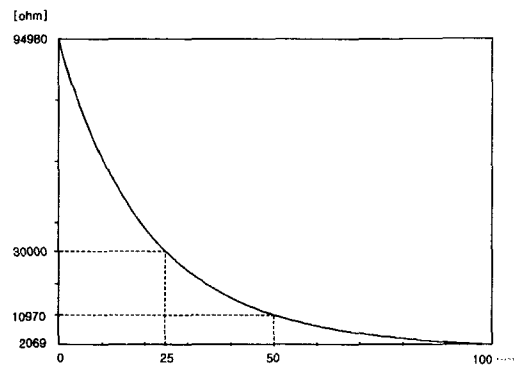


그림 5 서미스터의 온도-저항 곡선(YSI 서미스터 44008)
Fig. 5 Temperature-resistance curve of thermistor (YSI thermistor 44008)

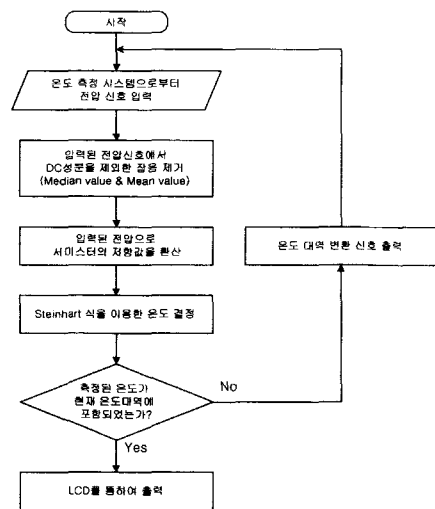


그림 6 온도측정 시스템의 소프트웨어 흐름도
Fig. 6 Flow chart of software for temperature measurement system

온도측정 시스템은 디지털 신호처리기에서 동작하는 소프트웨어에 의해 측정회로의 제어와 입력된 서미스터의 온도 변화

특성을 선형화하고 출력을 제어한다. 디지털 신호처리로 입력된 서미스터의 온도 변화 특성의 선형화는 Steinhart 식을 통하여 이루어지게 된다. 측정시스템의 소프트웨어의 흐름은 그림 6과 같다.

(2) 실험방법

온도측정 시스템의 분해능은 정밀하게 온도를 가해줄 장비 대신 서미스터를 제조한 회사에서 제공하는 온도 대 저항 데이터를 이용하여 서미스터 대신 가변저항으로 온도에 해당하는 저항값을 측정 시스템에 가하여 정확한 온도를 출력하는지를 확인하는 방식으로 검증하였다. 그러나 회사에서 제공하는 온도 대 저항 데이터는 1℃단위의 데이터 값으로 0~100℃사이에서 1℃미만의 분해능을 갖는지를 확인하기 위해서 회사에서 제공하는 데이터 외에 1℃단위미만의 온도 대 저항 값을 Steinhart 식을 통하여 구했다. Steinhart 식은 0~100℃에서 ±0.01℃로 오차를 가지는 온도대 저항값을 계산해 낼 수 있으므로 이 식을 통하여 고 분해능 온도 대 저항 데이터를 구할 수 있다. 이 온도에 대한 저항값을 가변저항으로 설정하여 구현된 온도측정기의 센서 입력단에 연결하여 그에 해당하는 온도가 출력되는지를 확인한다. 이때 가변저항의 저항값은 6자리의 유효자리까지 측정 가능한 고정밀도 멀티미터(HP 34401A)를 이용하여 측정하였다.

YSI사의 온도계(4820LC)를 이용하여 구현된 온도 측정 시스템과 측정치를 동시에 비교 평가하였다. 구현된 온도계와 YSI 온도계의 서미스터를 공기의 흐름이나 복사열 등의 외부 영향으로부터 차단하기 위하여 흑구(Globe)에 두 온도계의 서미스터를 넣고 흑구 내부의 온도만으로 두 온도계의 온도를 비교 측정하였다

3.2 성능평가

온도측정 시스템의 성능 평가를 위해 서미스터 단에 가변저항을 연결하고 측정하고자 하는 온도를 선택한 후 온도 대 저항 데이터를 이용하여 서미스터의 저항값을 알아낸다. 다음으로 가변저항을 그 저항값으로 설정한다. 이 측정 결과는 표 2에서 보이고 있다.

실제 서미스터를 사용한 측정을 위하여 구현된 온도계와 정밀 온도계의 센서를 동일한 위치에 넣고 그 위치에서의 주변 온도를 측정하여 두 온도계 사이에 온도 편차를 구하였다. 먼저 얼음물과 끓는 물에 두 측정기의 서미스터 센서를 동일한 위치에 넣고 온도를 측정하여 편차를 구하였다. 그리고 기온이 떨어지는 밤 시간에 실외에서 그리고 낮에 실내에서 동일한 위치에 두 측정기의 센서를 놓고 온도를 측정하여 편차를 구하였다. 실내와 실외에서 측정할 때는 외부의 전등 햇빛 등의 복사열이나 공기 흐름의 영향을 최소화하기 위해 흑구내에 두 측정기의 서미스터 센서를 넣고 온도를 측정하였다. 측정은 1분 간격으로 10분 동안 측정하였다. 이 측정 결과는 표 3과 표 4에서 나타내었다. 표 2, 표 3 그리고 표 4에 의하여 구현된 온도 측정시스템은 약 0.1℃의 분해능을 가짐을 알 수 있다.

표 2 구현된 온도측정 시스템의 분해능 측정

Table 2 Measurement of the resolution of the proposed thermometer

1채널			8채널			16채널		
온도 (°C)	저항값 (Ω)	측정 온도 (°C)	온도 (°C)	저항값 (Ω)	측정 온도 (°C)	온도 (°C)	저항값 (Ω)	측정 온도 (°C)
2.1	85696.95	2.13	48.1	11789.12	48.08	95.1	2394.44	95.12
2.2	85280.78	2.27	48.2	11744.32	48.17	95.2	2387.23	95.17
2.3	84866.86	2.35	48.3	11699.71	48.31	95.3	2380.05	95.31
2.4	84455.17	2.38	48.4	11655.29	48.37	95.4	2372.89	95.41
2.5	84045.71	2.54	48.5	11611.06	48.52	95.5	2365.76	95.56
2.6	83638.45	2.62	48.6	11567.02	48.64	95.6	2358.65	95.58
2.7	83233.38	2.77	48.7	11523.17	48.69	95.7	2351.56	95.73
2.8	82830.50	2.89	48.8	11479.51	48.82	95.8	2344.50	95.77
2.9	82429.79	2.93	48.9	11436.04	48.91	95.9	2337.47	95.89
3.0	82031.23	3.04	49.1	11392.76	49.07	96.0	2330.45	96.05
7.1	67399.96	7.17	51.1	10525.43	51.13	98.1	2188.70	98.12
7.2	67081.45	7.26	51.2	10486.04	51.22	98.2	2182.21	98.19
7.3	66764.62	7.29	51.3	10446.81	51.34	98.3	2175.73	98.31
7.4	66449.46	7.44	51.4	10407.76	51.43	98.4	2169.28	98.36
7.5	66135.95	7.58	51.5	10368.87	51.49	98.5	2162.85	98.46
7.6	65824.10	7.67	51.6	10330.15	51.57	98.6	2156.44	98.58
7.7	65513.88	7.72	51.7	10291.59	51.69	98.7	2150.05	98.71
7.8	65205.29	7.89	51.8	10253.19	51.84	98.8	2143.69	98.79
7.9	64898.33	7.95	51.9	10214.96	51.93	98.9	2137.35	98.94
8.0	64592.97	8.04	52.0	10176.89	52.04	99.0	2131.03	99.07

표 3 구현한 온도측정 시스템과 YSI 온도계에서 측정치 비교 (얼음물, 끓는 물)

Table 3 Comparison with the proposed thermometer's measure and YSI thermometer's measure (ice water, boiled water)

측정 환경	얼음물			끓는 물		
	구현된 온도계 (°C)	YSI 온도계 (°C)	오차(°C)	구현된 온도계 (°C)	YSI 온도계 (°C)	오차(°C)
1	-0.80	-0.84	+0.04	98.84	98.76	+0.08
2	-0.42	-0.46	+0.04	94.26	94.23	+0.03
3	0.07	0.02	+0.05	89.74	89.71	+0.03
4	0.53	0.50	+0.03	91.59	91.55	+0.04
5	0.88	0.80	+0.08	96.00	95.98	+0.02
6	1.22	1.20	+0.02	99.19	99.15	+0.04
7	1.62	1.61	+0.01	95.05	95.02	+0.03
8	1.86	1.82	+0.04	90.72	90.67	+0.05
9	2.12	2.06	+0.06	85.95	85.85	+0.10
10	2.20	2.11	+0.09	81.11	81.05	+0.06

표 4 구현한 온도측정 시스템과 YSI 온도계에서 측정치 비교 (실외, 실내)

Table 4 Comparison with the proposed thermometer's measure and YSI thermometer's measure (outdoor, indoor)

측정 환경 분	실외			실내		
	구현된 온도계 (°C)	YSI 온도계 (°C)	오차(°C)	구현된 온도계 (°C)	YSI 온도계 (°C)	오차(°C)
1	12.09	12.04	+0.05	21.69	21.60	+0.09
2	12.71	12.64	+0.07	21.57	21.55	+0.02
3	12.46	12.39	+0.07	21.61	21.57	+0.04
4	12.14	12.08	+0.06	21.63	21.54	+0.09
5	12.71	12.63	+0.08	21.55	21.47	+0.08
6	12.16	12.10	+0.06	21.62	21.53	+0.09
7	11.91	11.82	+0.09	21.58	21.50	+0.08
8	11.75	11.68	+0.07	21.52	21.48	+0.04
9	12.03	11.95	+0.08	21.52	21.46	+0.06
10	12.33	12.27	+0.06	21.44	21.38	+0.06

4. 결 론

본 논문에서는 서미스터를 이용한 고 분해능 온도측정 시스템의 구현 방법을 제안하였다. 아날로그 회로로부터 안정적인 센서 입력을 받기 위하여 서미스터 온도 대역을 16개로 분할하여 온도 변화당 출력전압의 변화를 수백 μV 에서 수 mV로 높이는 방법을 제시하였다. 그리고 제안된 회로를 디지털 신호처리기(TMS320C31)를 이용하여 설계하고 디지털 신호처리를 통하여 입력된 신호가 안정적으로 측정되어 온도로 변환됨을 확인하였다.

온도 측정 시스템의 성능 평가를 위해 기존제품인 YSI 온도계를 이용하여 비교하였으며 구현된 온도 측정 시스템이 0.1°C의 분해능을 가지고 있음을 확인하였다. 측정회로 기관 설계에 최적성을 가져올 수 있다면 0.01°C분해능 이상의 고 분해능 정확도를 가져올 수 있으리라 사료된다. 본 논문에서 제안된 방법은 잡음영향에 강건하고 고분해능의 온도를 측정할 수 있는 장점을 가지고 있으므로 향후 정밀 온도측정 분야나 제어시스템 설계에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 감성공학 기반기술의 온열쾌적성 평가를 위한 다채널 온습도 분포 측정시스템 개발사업의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] Anwar A. Khan, "linearization of thermistor thermometer," Int. J. Electron., vol, 59, no. 2, pp. 129-139, 1985.
 [2] Anwar A. Khan and Mohammed A. AL-Turaigi, "A Novel Wide Range Linearization Approach for Thermistor Thermometer," IEEE Trans. Instrum.

Meas., vol. IM-36, pp. 763-769. 1987.
 [3] Anwar A. Khan and R. Sengupta, "A linear temperature/voltage converter using thermistor in logarithmic network," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-33, No. 1, pp. 2-4, 1984.
 [4] R. N. Sengupta, "A widely linear temperature to frequency converter using a thermistor in pulse generator," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-37, No. 1, pp. 85-86, 1988.
 [5] Ramon Pallas-Areny and John G. Webster Sensors and Signal conditioning, Wiley Inter-Science, pp. 94-109, 2001.
 [6] Ernest O. Doebelin, Measurement System Application and Design, McGraw-Hill, pp. 648-652, 1990.

저 자 소 개



김 태 훈 (金 泰 勳)

1970년 4월 23일생. 1997년 2월 : 충남대학교 물리학과. 2000년 8월 : 서울시립대학교 산업대학원(공학석사). 2001년 3월~현재 : 서울시립대학교 전자 전기컴퓨터 공학부 박사과정
 Tel : 02-2210-2942, Fax : 2249-6802
 E-mail : kth20000@shinbiro.com



임 주 현 (林 宙 鉉)

1977년 2월 13일생. 1995년 3월 : 서울시립대학교 전자공학과. 2002년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 공학석사



김 덕 영 (金 德 暎)

1970년 9월 11일 생. 1994년 2월 연세대의용전자공학과 1996년 2월 서울시립대 전자공학과(석사). 2000년 8월 서울시립대 전자공학과(공박). 2001년 3월~현재 부천대 전자과 전임강사
 Tel : 032-610-3347, Fax : 032-610-3226
 E-mail : dykim@bc.ac.kr

고 한 우 (高 漢 雨)

표준과학연구원

김 성 환 (金 成 煥)

현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
 참조논문: 전기학회지 48A권 12호