

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.3.185>

IIBC 2018-3-24

노튼 증폭기의 전류검출성능 개선에 관한 연구

A Study on Performance Improvement of Detecting Current of the Norton Amplifier

권성렬*, 이현창**, 이규대***

Sung-Yeol Kwon*, Hyun-Chang Lee**, Kyu-Tae Lee***

요약 본 논문에서는 센서 신호를 전류형태로 수신할 때 유리한 노튼 증폭기에서 전류 입력 시 발생하는 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 회로를 제시하였다. 출력전압이 일정하게 유지되는 특성을 지닌 연산 증폭기로 구성된 버퍼회로의 출력을 전류의 입력단으로 활용하고, 이 때 버퍼회로에 흐르는 전류전류를 감지해 전류 입력단에서 유입되는 전류를 추출하도록 구성하였다. 제시한 회로의 성능을 확인하기 위해 회로를 구성하고 실험용 전류를 입력했을 때 나타나는 결과를 확인하였으며, 동일한 조건을 노튼 증폭기에 적용했을 때의 결과와 비교하였다. 비교 결과 기존의 노튼 증폭기에서 문제가 되었던 입력 오프셋 전압이 제시한 회로에서는 0V로서 제거되었고, 입력전류에 대한 출력전압의 평균오차는 무려 4.75%로 크게 줄어드는 등 전체적인 특성이 크게 향상되었음을 확인하였다.

Abstract In this paper, an improved Norton amplifier is proposed and the problems caused by the current input in the Norton amplifier, which has advantages in current transmission, are analyzed. The output of the voltage follower consisting of an operational-amplifier with constant output voltage characteristics is used as an input terminal of the proposed circuit. It is configured to detect the power supply current passing through the voltage follower and extract the current from the input terminal. The performance of the improved Norton amplifier is verified at experiment according to the input current. The results are compared with conventional Norton amplifier. Consequently, the input offset voltage, which is a problem in the conventional Norton amplifier, was removed in the proposed circuit. In addition, the average error of the output voltage with respect to the input current was reduced to 4.75%. It is verified that the characteristics of the proposed circuit are improved.

Key Words : Norton-Amp., Current, Detect, Sensor, OP-Amp.

1. 서 론

최근의 컴퓨터 기술과 인터넷 기술의 발달에 힘입어 이들의 융합체인 IoT(Internet of Things) 기술이 큰 이슈로 부각되고 있다.^[1-4] IoT는 인터넷과 임베디드 기술

을 기본 골격으로 각종 사물들의 상태를 감지하는 센서 기술, 제어를 위한 전력제어 기술 등 각종 기술들이 총망라되어 있으며, 모든 데이터의 시작점은 사물의 상태를 감지하는 센서로부터이다.^[5-8] 센서는 각종 사물들의 상태, 예를 들어 사물의 온도나 밝기, 전류량, 위치, 기율

*정회원, 국립 부경대학교 전기공학부

**정회원, 국립 공주대학교 정보통신공학부 (교신저자)

***정회원, 국립 공주대학교 정보통신공학부

접수일자: 2018년 5월 23일, 수정완료: 2018년 6월 8일

게재확정일자: 2018년 6월 8일

Received: 23 May, 2018 / Revised: 8 June, 2018

Accepted: 8 June, 2018

**Corresponding Author: hclee@kongju.ac.kr

Division of Information & Telecommunication Engineering,
Kongju National University, Korea

어짐 등을 감지하며, 마이크로컨트롤러는 이 데이터를 기초로 사물을 제어한다.

한편 센서로부터 출력된 신호는 마이크로컨트롤러나 마이크로프로세서가 처리할 수 있을 만큼의 크기로 증폭한 후 이를 아날로그-디지털 변환회로를 이용해 디지털 데이터화 하는 과정을 거치는데, 일반적으로 센서로부터 출력되는 신호는 매우 미약하고, 특히 센서는 사물의 상태를 검출해야 하므로 사물과 물리적으로 밀착되어 설치되며, 이 때문에 마이크로컨트롤러가 설치된 주 회로와 물리적으로 떨어져 있는 경우가 많다. 따라서 센서신호는 잡음에 강인한 상태로 주 회로까지 전송되어야 하며, 센서라인이 통과하는 주변에 전력제어회로가 위치한 경우 잡음에 더욱 취약해진다.

Lim^[9]은 장거리 신호 전송 시 어떤 방식의 회로가 잡음에 강인한지 비교분석하기 위해 전압전송방식, 전류루프 방식, 노튼 증폭기를 이용하는 방식 등을 대상으로 잡음 성능 실험을 진행하였다. 실험 결과에 따르면 잡음 강인성 및 신호의 충실도 등에서 노튼 증폭기가 가장 우수하고, 다음으로 전류 루프 방식이 우수함을 확인하였다.

Kong 등^[10]은 로봇의 각도를 검출하는 센서가 위치한 곳까지 전원을 함께 공급해 센서 신호를 곧바로 증폭한 후 전류신호로 변환해 전송하고, 수신부에서는 노튼 증폭기를 이용함으로써 잡음에 강인하도록 구성하는 방법을 이용하였다. 이는 잡음의 강인성이 매우 우수한 장점이 있지만, 신호뿐만 아니라 전원을 공급하는 다수의 전선이 설치되어야 하고 센서 유닛 부분이 크고 복잡해지므로 소형화를 지향하는 경우 불리한 측면이 있다.

Kang 등^[11]은 2가닥의 전선을 이용하고 센서신호를 잡음에 강인하도록 전류신호로 전송하며, 이를 노튼 증폭기로 수신할 때 검출비율이 가장 우수한 회로 상수를 결정하는 연구를 진행하였다. 이는 전선 수와 잡음의 강인성 측면에서 모두 유리하지만 노튼 증폭기의 특성에 의해 검출신호에 다소 오차가 발생하는 문제점이 있으며, 잡음에 더욱 강인하도록 하기 위해 큰 전류를 사용하면 노튼 증폭기의 오차가 더욱 심해져 미약한 전류범위에서만 사용해야 하는 제약점이 존재한다.

본 논문에서는 최소의 전선을 이용하면서도 큰 잡음 강인성을 가지는 전류에 의한 센서신호전송에서 사용할 전류검출회로를 개선해 노튼 증폭기의 전류검출 과정에서 발생하는 오차 문제를 극복할 수 있는 방안에 대해 살펴보고자 한다.

II. 전류 입력회로의 개선

1. 노튼 증폭기

그림 1은 노튼 증폭기(Norton amplifier)의 구성을 나타낸 것으로서, 2개의 입력전류와 1개의 출력전류 또는 출력전압으로 이루어진 전류형 연산 증폭기이다.^[11] 그림 2는 노튼 증폭기의 전류입력부분 등가회로로서, 입력전류 I_1 은 트랜지스터 Q_2 에 인가되어 Q_3 와 함께 증폭되어 출력 I_o 로 나타난다.

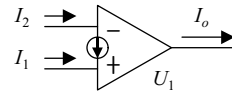


그림 1. 노튼 증폭기의 기능

Fig. 1. Function of the Norton amplifier.

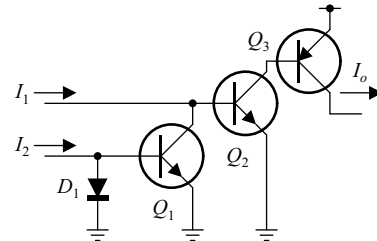


그림 2. 노튼 증폭기의 간략화된 등가회로

Fig. 2. Simplified equivalent circuit of Norton-Amp..

다이오드 D_1 과 Q_1 은 전류 미러(Current mirror)^[12]로 구성되어 있으므로 입력전류 I_2 와 동일한 전류가 Q_1 의 컬렉터를 통해 흐르며, 따라서 I_1 의 전류에서 I_2 가 뺄셈되어 회로는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$(I_1 - I_2) \cdot A_i = I_o \quad (1)$$

이상적으로 전류입력회로는 완전한 0V의 전위를 유지해야 입력되는 전류에 방해가 되지 않으나, 노튼 증폭기의 입력회로는 그림 2와 같이 다이오드를 이용하거나 트랜지스터를 이용해 입력받기 때문에 반드시 오프셋 전압이 존재한다. 따라서 이 전압으로 인해 전류가 흐를 때 오차의 요소로 작용하며, 특히 다이오드 응용회로이므로 흐르는 전류의 량에 따라 오프셋 전압이 비선형적이면서 크게 변화한다.^[12] 따라서 이 증폭기를 활용할 때는 직선성과 오프셋 전압에 의한 영향을 덜 받도록 입력전류의

변위를 마이크로-암페어 단위로 매우 작게 사용해야 하는 제한점이 있다.

2. 연산 증폭기 버퍼회로의 특성

그림 3에 연산 증폭기(Operational Amplifier)를 이용한 버퍼회로를 나타내었다.^[13]

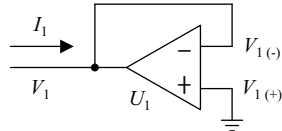


그림 3. 연산 증폭기를 이용한 버퍼 회로
 Fig. 3. Voltage follower using operational amplifier.

그림 3에서 연산 증폭기 U_1 의 소자 방정식은 식 (2)과 같고, 여기서 A_v 는 연산 증폭기의 전압이득이다.

$$(V_{1(+)} - V_{1(-)}) \cdot A_v = V_1 \quad (2)$$

회로에서 두 입력은 각각 식 (3)과 같다.

$$\begin{cases} V_{1(-)} = V_1 \\ V_{1(+)} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하고 V_1 에 대해 정리하면,

$$V_1 = \frac{0}{1 + A_v} \quad (4)$$

$A_v \gg 1$ 이므로 식 (4)는 식 (5)와 같다.

$$V_1 = 0 \quad (5)$$

즉 그림 3 회로의 V_1 은 전류 I_1 에 무관하게 항상 0V를 유지하며, 이는 비록 증폭기의 출력지점이지만 거꾸로 1절에서 고찰한 전류입력용 회로로 적합한 조건임을 알 수 있다.

3. 회로 네트워크 전류

그림 4와 같은 형태의 회로 네트워크 N 에서, 회로 동작을 위한 전류 I_2 가 유입되면 이는 I_3 으로 유출된다. 이때 입력전류 I_1 이 유입되고, 네트워크 내부에서 0V를 유지해 전류의 흐름에 영향이 없다면 유입된 I_1 또한 I_3 으로 유출된다. 따라서 네트워크 전류는 KCL (Kirchhoff's Current Law)에 의해 식 (6)과 같다.

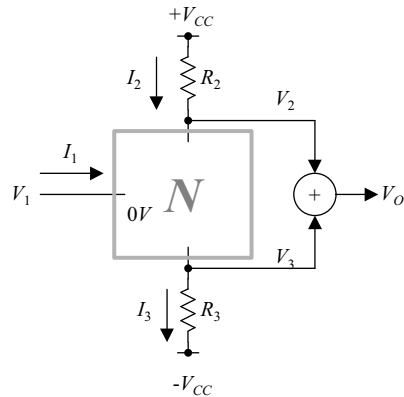


그림 4. 회로 네트워크의 전류
 Fig. 4. Current flow of circuit network.

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (6)$$

네트워크 상/하단 저항 R_2, R_3 에 의해 발생하는 전압 V_2 와 V_3 은 각각 식 (7), (8)과 같다.

$$V_2 = +V_{CC} - R_2 \cdot I_2 \quad (7)$$

$$V_3 = -V_{CC} + R_3 \cdot I_3 \quad (8)$$

식 (7)과 (8)의 전압을 덧셈하면 식 (9)와 같다.

$$V_O = V_1 + V_2 = R_3 \cdot I_3 - R_2 \cdot I_2 \quad (9)$$

식 (9)에 식 (6)을 대입하면,

$$V_O = R_3 \cdot I_1 + R_3 \cdot I_2 - R_2 \cdot I_2 \quad (10)$$

회로의 두 저항 R_2, R_3 을 식 (11)과 같이 동일하게 설정한다면 식 (10)은 식 (12)와 같다.

$$R_2 = R_3 \quad (11)$$

$$V_O = R_3 \cdot I_1 \quad (12)$$

즉 최종 출력 V_O 는 입력전류 I_1 에 비례하고 네트워크 동작전류 I_2 와 무관하다.

4. 개선된 전류 검출회로

이상에서 고찰한 버퍼 회로와 네트워크 특성을 결합한 회로를 그림 5에 나타내었다.

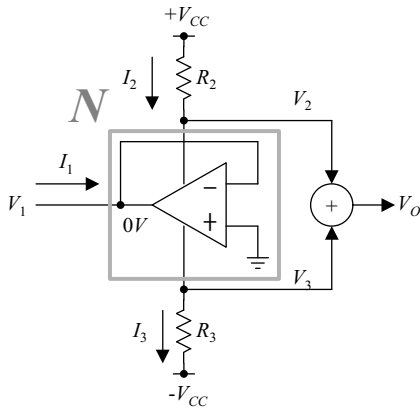


그림 5. 노튼 증폭기와 버퍼가 결합된 제시 회로
 Fig. 5. Proposed circuit by integrated Norton amplifier and voltage follower.

그림 5에서 V_1 은 2절에서 논한 바와 같이 항상 0V가 되도록 동작하고, 이는 3절에서 고찰한 네트워크 회로의 특성에 의해 출력전압 V_O 는 연산 증폭기 동작전류 I_2, I_3 과 관계없이 입력전류 I_1 에 비례한다. 따라서 이 회로를 노튼 증폭기의 전류입력용으로 적용할 경우 더 우수한 전류검출 특성을 나타낼 수 있다.

III. 실험 및 고찰

1. 실험회로의 구성

이상에서 고찰한 전류 검출회로의 성능을 확인하기 위해 그림 5의 버퍼회로는 일반적인 연산 증폭기 LM741C^[14] 소자를 이용해 구성하고, 이 회로의 동작특성과 노튼 증폭기 LM3900^[15]의 동작특성을 비교하는 실험을 진행하였다. LM741C 연산 증폭기는 최대 허용 출력 전류가 25mA이지만, LM3900이 다룰 수 있는 최대전류가 10mA(Typ. 5mA)이므로 10mA가 입력되었을 때 출력전압이 약 +5V 정도 나타나는 구성을 목표로 식 (11), (12)로부터 식 (13)과 같이 저항값을 결정한다.

$$R_2 = R_3 = \frac{+5V}{10mA} = 500[\Omega] \quad (13)$$

따라서 회로의 저항 R_2, R_3 은 각각 510Ω을 사용해 그림 6과 같이 실험회로를 구성하였다.

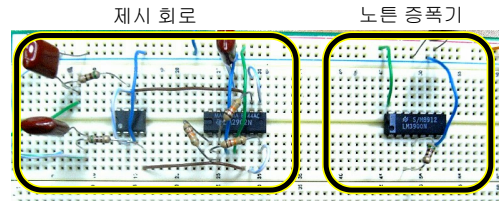


그림 6. 구성된 실험 회로
 Fig. 6. Experimental setup for verification of improved Norton amplifier.

2. 실험 결과

입력 전류에 대한 출력전압과 입력 오프셋 전압 특성을 관찰하기 위해 그림 7과 같은 회로를 구성하고, 임의의 저항 R 을 통과하는 전류가 목표하는 전류가 되도록 가변전원 V_s 를 조절했을 때 나타나는 오프셋 전압 V_{ofs} 와 출력전압 V_O 를 제시한 회로와 노튼 증폭기에 대해 각각 실험하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1에서, 이론값은 식 (12)에 의해 계산된 값이며, 본 논문에서 제시한 회로는 "OP"라 표기하였고, 이 회로로부터 발생하는 오프셋 전압 V_{ofs} 는 모두 0으로 측정되어 표에는 나타나지 않았다.

표 1. 입력 전류에 대한 오프셋 전압과 출력전압.

Table 1. Offset voltage and output voltage by input current.

I_m [mA]	Theory	OP		Norton		
	V_O [V]	V_O [V]	V_{Err} [V]	V_{ofs} [V]	V_O [V]	V_{Err} [V]
0.0	0.000	0.018	0.018	0.000	0.550	0.550
0.5	0.255	0.279	0.024	0.693	0.819	0.564
1.0	0.510	0.527	0.017	0.731	1.073	0.563
1.5	0.765	0.785	0.020	0.774	1.332	0.567
2.0	1.020	1.050	0.030	0.803	1.598	0.578
2.5	1.275	1.306	0.031	0.826	1.858	0.583
3.0	1.530	1.563	0.033	0.850	2.116	0.586
3.5	1.785	1.819	0.034	0.868	2.378	0.593
4.0	2.040	2.079	0.039	0.893	2.630	0.590
4.5	2.295	2.333	0.038	0.913	2.866	0.571
5.0	2.550	2.593	0.043	0.925	3.071	0.521
5.5	2.805	2.843	0.038	0.937	3.234	0.429
6.0	3.060	3.110	0.050	0.958	3.366	0.306
6.5	3.315	3.364	0.049	0.978	3.475	0.160
7.0	3.570	3.621	0.051	0.996	3.573	0.003
7.5	3.825	3.880	0.055	1.015	3.662	-0.163
8.0	4.080	4.140	0.060	1.028	3.739	-0.341
8.5	4.335	4.400	0.065	1.042	3.810	-0.525
9.0	4.590	4.650	0.060	1.054	3.871	-0.719
9.5	4.845	4.910	0.065	1.065	3.927	-0.918
10.0	5.100	5.170	0.070	1.079	3.979	-1.121

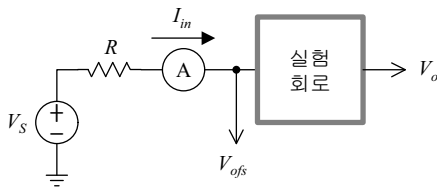


그림 7. 입력 전류 인가회로
 Fig. 7. Equivalent circuit of experimental setup.

표 1의 결과를 그림 8에 그래프로 각각 나타내었다.

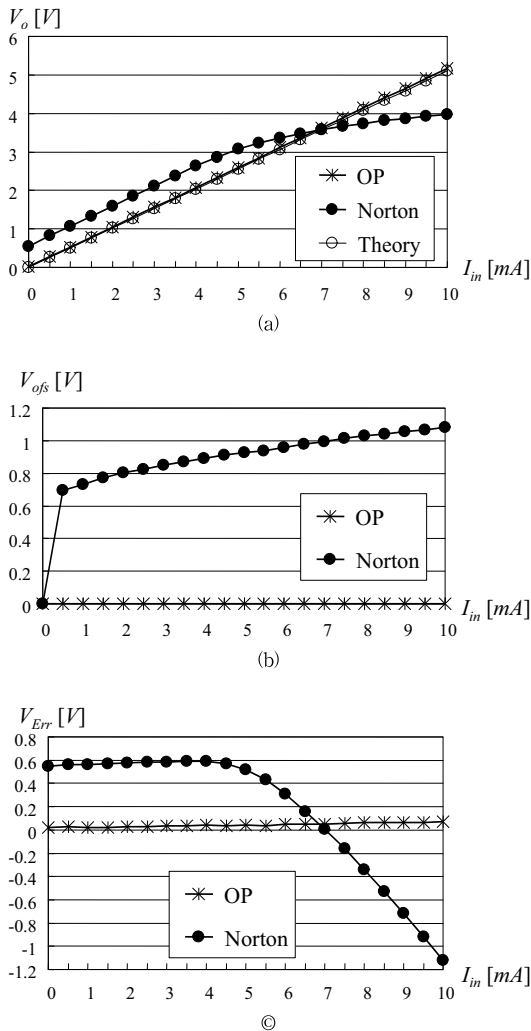


그림 8. 입력 전류에 대한 특성 그래프 (a) 출력전압 (b) 입력 오프셋 전압 (c) 오차 전압
 Fig. 8. Graph of characteristics by input current. (a) Output voltage (b) Input offset voltage (c) Error voltage

그림 8(a)에 따르면 출력전압의 경우 노튼 증폭기의 출력은 약 $5mA$ 이하의 영역에서는 이론값보다 더 큰 출력이 나타나는데, 이는 그림 8(b)에 나타난 입력 오프셋 전압에 의한 영향의 결과로 보인다. $5mA$ 이상의 영역에서는 노튼 증폭기의 출력이 한계에 점차 도달해 구동능력이 부족함에 따른 전압 저하에 의해 비선형 특성이 나타난다. 이와 같은 노튼 증폭기의 출력특성에 비해 제시한 회로의 출력특성은 이론값과 거의 유사한 특성을 나타낸다.

그림 8(b)는 전류 입력단에서 나타나는 오프셋 전압으로서, 노튼 증폭기의 경우 입력 전류가 커질수록 오프셋 전압이 점차 커지며, 따라서 입력 전류가 클수록 오차가 점차 커지는 결과로 이어진다. 이에 비해 제시한 회로의 경우 오프셋 전압은 나타나지 않았으며, 더구나 노튼 증폭기는 실험이 진행되는 동안 소자의 온도가 변화함에 따라 오프셋 전압이 지속적으로 변화하는데 비해 제시한 회로의 경우 이러한 변화가 없으므로 출력의 안정성이 뛰어난 특성을 나타낸다.

그림 8(c)는 두 회로에서 발생된 이론값과 실험값의 차를 나타낸 것으로서, 노튼 증폭기의 경우 입력전류가 약 $5mA$ 이후부터 오차가 감소하는 것으로 나타나는데, 이는 실제로 오차가 감소하는 것이 아니라 그림 8(a)의 증폭기 출력저하에 의한 것이다. 따라서 이러한 비정상 상태가 아닌 입력전류 $4mA$ 이하의 영역에서 오차의 평균을 계산하면, 노튼 증폭기는 $0.575V$, 제시한 회로는 $0.027V$ 로서, 노튼 증폭기 오차의 4.755%로 크게 줄어든 결과를 얻었다.

노튼 증폭기의 경우 최대 구동전류가 $10mA$ 이므로 이 이상의 전류에 대해서는 실험이 불가하였으나, 제시한 회로의 경우 최대 구동전류가 $20mA$ 이므로 측정할 수 있는 범위가 더욱 크다. 따라서 이 영역까지 모두 실험한 결과를 그림 9에 참고로 나타내었다.

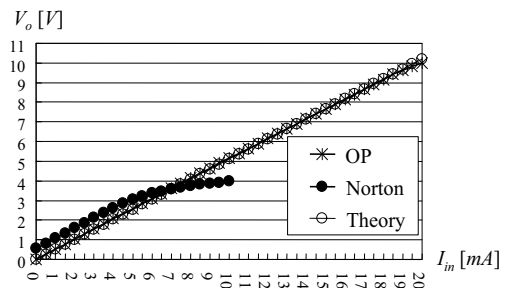


그림 9. $20mA$ 범위까지의 출력전압
 Fig. 9. Output voltage range up to $20mA$.

IV. 결론

본 논문에서는 센서 신호를 전류형태로 수신할 때 유리한 노튼 증폭기에서 전류 입력 시 발생하는 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 회로를 제시하였다. 출력 전압이 일정하게 유지되는 특성을 지닌 연산 증폭기로 구성된 버퍼회로의 출력을 전류의 입력단으로 활용하고, 이 때 버퍼회로에 흐르는 전원전류를 감지해 전류 입력 단에서 유입되는 전류를 추출하도록 구성하였다. 제시한 회로의 성능을 확인하기 위해 회로를 구성하고 실험용 전류를 입력했을 때 나타나는 결과를 확인하였으며, 동일한 조건을 노튼 증폭기에 적용했을 때의 결과와 비교하였다. 비교 결과 기존의 노튼 증폭기에서 문제가 되었던 입력 오프셋 전압이 제시한 회로에서는 0V로서 제거되었고, 입력전류에 대한 출력전압의 평균오차는 무려 4.755%로 크게 줄어들었으며, 검출 전류의 범위도 크게 확장되는 등 전체적인 특성이 크게 향상되었음을 확인하였다.

향후 본 논문에서 제시한 회로가 노튼 증폭기의 입력단에 IC형태로 내장해 제작된다면 더욱 우수한 성능의 노튼 증폭기가 구성될 수 있으며, 이에 따라 그 활용범위가 더욱 확장될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Sung-Yoon Chae and Jinhee Park, "A Design and Implementation of Testing and Management System for IoT Sensors," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol.16, No.5, pp.151-156, Oct. 2016.
<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.5.151>
- [2] Sunhwa A. Nam and Hyokyung Bahn, "Real-time Task Scheduling Methods to Incorporate Low-power Techniques of Processors and Memory in IoT Environments," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol.17, No.2, pp.1-6, Apr. 2017.
<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.1>
- [3] Mi-Rye Kim and In-Ho Cho, "Design of Congestion Standardization System Based on IoT," Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society (JKAIS), Vol.17, No.5, pp.74-79, May 2016.
<http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.5.74>
- [4] Seon-Keun Lee, "A Study on Lightweight Block Cryptographic Algorithm Applicable to IoT Environment," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), Vol.19, No.3, pp.1-7, Mar. 2018.
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.3.1>
- [5] Su-Yeol Choi and Chang-Hee Lee, "A Study on Multi-function Implementation using Single Sensor," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol.16, No.4, pp.133-137, Aug. 2016.
<https://doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.4.133>
- [6] Byoung-Chan Jean and Gyoo-Seok Choi, "Automatic Control System in Room using Zigbee Sensor and Microcontroller Chip," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol.9, No.5, pp.147-154, Dec. 2009.
- [7] Jin-Su Kim, "An Energy Consumption Model using Two-Tier Clustering in Mobile Sensor Networks," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), Vol.17, No.12, pp.9-16, Dec. 2016.
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.12.9>
- [8] Eun-Ju Kim, Jong-Woong Park and Sung-Han Sim, "Development of Wireless Smart Sensing Framework for Structural Health Monitoring of High-speed Railway Bridges," Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society (JKAIS), Vol.17, No.5, pp.1-9, May 2016.
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.5.1>
- [9] JungHun Lim, A Study on the Efficiency and Noise Reduction According to the Remote Signal Transmission Method of the Industrial Air Conditioner, Master's thesis of Kongju National University, Jan. 2017.

- [10] Myoungseok Lee and Kyoungchul Kong, "Design of a potentiometer Circuit to Enhance Resolution and Signal Robustness Using Current Transmission Method," in Proc. of KSME Conf. on Dynamics and Control, pp. 153-154, Korea, May 2014.
- [11] Seolk Kang and HyunChang Lee, "A Study on the Low-cost Method of Detecting the Mechanical Angle using Norton-Amplifier and Rheostat," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers(IEIE), Vol.54, No.12, Dec. 2017.
<https://doi.org/10.5573/ieie.2017.54.12.111>
- [12] Thomas. M. Frederiksen, William F. Davis and D. W. Zobel, "A New Current- Differencing Single-Supply Operational Amplifier," IEEE Journal of solid-state circuits, Vol.SC-6, No.6, pp.340-347, Dec. 1971.
- [13] Albert Malvino and David J. Bates, Electronic Principles - 7th Edition, McGraw-Hill, 2006.
- [14] Texas Instruments, "LM741 Operational Amplifier," <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/>, Oct. 2015.
- [15] Texas Instruments, "LM3900 Quadruple Operational Amplifiers datasheet," <http://www.ti.com/product/LM3900>, Sep. 1990.

저자 소개

권 성 렬(정회원)



- 1990 수원대 전자재료공학과 학사
- 1993 경북대 전자재료전공 석사
- 2000 경북대 센서공학과 박사
- 1994 ~ 1998 안동과대학학 전자계산과 조교수
- 2000 ~ 현재 국립 부경대학교 공과대학 전기과 교수

<주 관심분야 : MEMS sensor, 전자재료, 전기제어계측, 신재생에너지 >

이 현 창(정회원)



- 1986 단국대 전자공학과 학사
- 1989 단국대 전자공학과 석사
- 1996 단국대 전자공학과 박사
- 1996 ~ 2004 국립 천안공업대학 정보통신과 부교수
- 2005 ~ 현재 국립 공주대학교 공과대학 정보통신공학부 교수

<주 관심분야 : 멀티미디어 회로, 전동기제어회로, 마이크로프로세서, 임베디드 소프트웨어 >

이 규 대(정회원)



- 1984 고려대 전자공학과 졸업
- 1986 고려대 전자공학과 석사
- 1991 고려대 전자공학과 박사
- 2001 미 조지아텍 교환 교수
- 2006 미 일리노이주립대 교환 교수
- 2007 ~ 2009 : 한국전자통신연구원 이동통신연구소 초빙연구원

• 1992 ~ 현재 국립 공주대학교 공과대학 정보통신공학부 교수
 <주 관심분야 : 회로 및 시스템, 신호처리, VLC, 저작권보호>

※ 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016)에 의하여 연구되었음.
 ※ This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University (2016 year).