

논문 2023-2-7 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2023.06.07>

기구물 작업점 검출의 지터 현상 감소에 관한 연구

권성열*, 이현창**†, 강서익***

A Study on Reducing Jitter Phenomenon of Detecting Working point at Mechanical device

Sung-Yeol Kwon*, Hyun-Chang Lee**†, Seo-Ik Kang***

요 약

본 논문에서는 기계적 기구물의 작업점 검출, 특히 포텐쇼-미터를 이용해 검출할 때 발생하는 지터 현상을 감소하기 위한 방법을 제시하였다. 이를 위해 현재 사용되고 있는 마이크로컨트롤러를 이용한 위치 검출의 원리와 발생하는 문제점을 분석하였으며, 상당한 크기의 지터 현상이 존재함을 확인하였다. 이에 따라 지터 현상을 최소화할 수 있는 새로운 각도 검출 방법을 제시하였으며, 제시한 방법의 효과를 입증하기 위해 마이크로컨트롤러를 이용해 검출회로를 구성하고 실험을 진행한 결과 아날로그-디지털 변환 방법에서 발생하던 지터의 크기가 4.35%로 크게 감소함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a method for reducing the jitter phenomenon that occurs when detecting the working point of a mechanical device, especially using a potentiometer, is presented. To do this, the principle of position detection using the currently used micro-controller and the problems that occur were analyzed, and it was confirmed that a significant jitter phenomenon exists. Accordingly, a new angle detection method capable of minimizing the jitter phenomenon was proposed, and in order to prove the effectiveness of the proposed method, a detection circuit was configured using a micro-controller and an experiment was conducted. According to the experimental results, it was confirmed that the magnitude of jitter generated in the analog-to-digital conversion method was greatly reduced to 4.35%.

한글키워드 : 아날로그-디지털 변환, 목표치 선 설정, 지터, 마이크로컨트롤러, 포트입력

keywords : Analog-to-Digital Convert, target preset, jitter, micro-controller, port input

1. 서론

최근의 기계 제어장치 및 공정제어 장치는 마

* 부경대학교 전기공학과

** 공주대학교 정보통신공학과

*** 공주대학교 기계.자동차공학부

† 교신저자: 이현창(email: hclee@kongju.ac.kr)

접수일자: 2023.06.03. 심사완료: 2023.06.07.

게재확정: 2023.06.20.

이크로컨트롤러를 적용해 기구물의 위치 정보, 각도 정보를 획득해 이를 바탕으로 제어를 진행 한다. 기구물의 위치나 각도를 검출하기 위해 다양한 센서들이 사용되고 있으며, 특히 각도를 검출하는 것은 로봇 팔의 각도 제어나 공작 기계의 위치 제어 등에 필수적이다. 정확한 검출을 위해 옵티컬 인코더(optical encoder), 그 중 기구물의

절대적 위치를 검출하기 위해서는 absolute type 옵티컬 인코더[1]를 사용해야 하지만, absolute type의 경우 매우 고가이므로 상대적인 위치를 검출하는 incremental type 옵티컬 인코더[2]와 0 점 검출용 센서를 결합해 비교적 저렴한 가격으로 위치를 검출하는 방법이 자주 사용된다. 그러나 옵티컬 인코더라는 기기 자체의 정밀도로 인해 incremental type이 저렴하다 할지라도 매우 비싸고 기기의 부피도 크기 때문에 고가격, 대형 기기에서만 제한적으로 사용된다.

이에 비해 휴머노이드(humanoid)나 전자 악기의 서스테인(sustain) 페달, 컴퓨터의 조이스틱(joy-stick)과 같은 저가격, 소형기기 등에서는 포텐쇼-미터(potential-meter)에 의한 각도검출 방법을 주로 사용하는데, 포텐쇼-미터는 기본적으로 전자 소자 중 가변저항과 동일한 원리이지만, 일반적인 가변저항과 달리 회전이 원활하도록 볼-베어링 등을 사용하고, 가스나 습기가 많은 산업현장에서도 사용 가능하도록 밀폐형으로 견고하게 구성된다[3]. 이 소자의 경우 전자 소자의 가변저항기에 비하면 고가품이지만 옵티컬 인코더에 비하면 매우 저렴하며(약 100분의 1 가격), 부피도 작고, 특히 절대적 위치를 쉽게 검출할 수 있다는 장점을 지닌다.

포텐쇼-미터를 활용함에 있어 Lee[4] 등은 포텐쇼-미터와 제어시스템 사이의 잡음문제를 해결하기 위해 센서 측에서 연산증폭기를 이용해 버퍼를 구성하고 시스템 측에서 노턴 증폭기를 이용해 전류 신호를 수신하는 방법을 제안하였고, Kang[5] 등은 포텐쇼-미터를 이용해 각도를 검출할 때 발생하는 잡음문제를 효과적으로 해결하기 위해 전류형 연산증폭기를 활용한 방법을 제시하였으며, Kwon[6] 등은 전류형 연산증폭기의 특성을 개선하는 방법을 제시하여 측정범위를 크게 확장하였다.

포텐쇼-미터를 이용해 기구물의 각도를 검출

할 때, 특히 고속의 왕복 동작에 의해 제품을 자동으로 생산하는 자동화기기의 경우, 실제 작업 각도와 검출되는 각도 사이에 시간차가 존재하는데, 이러한 시간차가 일정하다면 보정해 사용할 수 있지만 실제로는 지터(jitter) 현상이 존재하므로 지연시간을 미리 예측할 수 없다는 것이다. 이러한 지터 현상은 매우 느린 속도의 기구물 운동에서는 큰 문제가 되지 않을 수 있지만, 어느 정도 빠른 속도로 진행되는 기구물에서는 정확한 작업점이 검출되지 않는 부정확성이 존재한다.

본 논문에서는 포텐쇼-미터를 이용한 각도 검출 시 발생하는 지터 현상의 원인을 분석하고, 이를 최소화하기 위한 다른 검출방법을 제시하며, 실험을 진행하여 제시한 방법의 효과를 입증하고자 한다.

2. 기존 검출방법의 문제점 분석

2.1 옵티컬 인코더(Optical encoder)

각도를 검출하기 위한 센서 중 그림 1(a)에 나타난 바와 같은 옵티컬 인코더(Optical encoder)를 사용할 수 있으며[1], 이는 검출 정밀도가 매우 뛰어나고, 검출값이 디지털로 출력되는 특징으로 제어용 마이크로컨트롤러와의 인터페이스가 간편하다는 장점이 있지만 비싼 가격과 큰 부피에 의해 소형 기기에는 적합하지 않다.



(a) Optical encoder (b) Potentio-meter

그림 1. 옵티컬 인코더와 포텐쇼-미터
Fig. 1. Optical encoder and potentio-meter

특히 최근의 옵티컬 인코더는 인터페이스 계통을 간소화하기 위해 위치 코드를 직렬로 출력하는 것이 대부분이며, 이 때 직렬전송 시간이 지연 요인이 된다. 즉 작업위치가 검출되어 이를 직렬로 전송하면, 마이크로컨트롤러에서는 전송된 직렬 데이터를 다시 병렬로 수신해 이 데이터를 판단하고 작업위치에 이르렀음을 인식하는데, 이 사이에 기구물이 계속 이동하므로 정확한 위치를 검출하는데 오차가 발생한다. 따라서 오차를 최소화하기 위해 RS-422과 같은 차동 방식의 고속 직렬통신을 이용하고, 수신하는 프로세서 또한 매우 고속의 것이 필요하다.

2.2 포텐쇼-미터(Potential-meter)

포텐쇼-미터는 기본적으로 가변저항과 동일한 원리이므로 회전각도에 비례하는 전압이 출력된다. 이러한 아날로그 전압을 디지털로 변환할 때 주로 사용되는 축차비교형(SA; Successive Approximation)[7]의 경우 변환하는 과정에 일정한 시간이 소요되며, 예를 들어 10비트로 변환하기 위해서는 샘플/홀드 및 축차변환 시간 등으로 인해 최소 11클럭 이상의 지연이 발생한다[8]. 축차비교형의 지연시간 자체는 거의 일정하므로 시스템에서 이를 보정해 적용하면 큰 문제는 없지만, 이러한 지연시간에 의해 발생하는 지터 현상은 매우 불규칙하므로 예측은 물론 보상도 불가능하다.

그림 2(a)와 같이 작업점과 정확히 일치할 때 샘플링이 이루어진 경우 검출되는 시점은 식 (1)과 같이 $ADC(n)$ 변환시간인 N_{ADC} 클럭 후가 되며, 이 시간이 최소의 지연시간이다.

$$N_{min} = N_{ADC} \text{ [CLK]} \quad (1)$$

그림 2(b)와 같이 작업지점 바로 직전에 샘플링이 이루어진 경우 이 때 검출되는 $ADC(n)$ 은

아직 검출점에 도달하지 않은 것이므로 $ADC(n)$ 이후 샘플링 되어 $ADC(n+1)$ 지점에서 작업점에 도달한 것으로 판단되어 식 (2)와 같은 최대의 오차가 발생할 수 있다.

$$N_{max} = 2 \cdot N_{ADC} - 1 \text{ [CLK]} \quad (2)$$

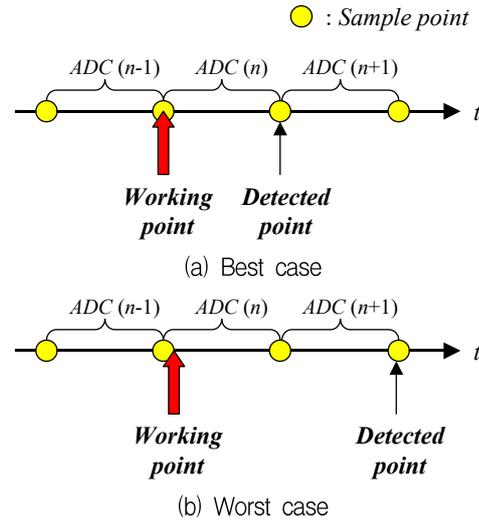


그림 2. ADC에 의한 검출 위치의 변위
Fig. 2. Variance of detection position by ADC

따라서 식 (3)과 같은 변화폭을 가질 수 있으며, 이는 그림 3에 나타낸 바와 같은 변위를 가지는 지터(jitter) 현상으로 나타난다.

$$\begin{aligned} N_{jitter} &= N_{max} - N_{min} \\ &= N_{ADC} - 1 \end{aligned} \quad (3)$$

특히 마이크로컨트롤러에 내장된 ADC 회로의 경우 단순히 높은 주파수의 마이크로컨트롤러를 사용한다 할지라도, ADC 회로의 샘플링 시간에 의해 주파수에 제약을 받으며, 예를 들어 AVR 마이크로컨트롤러의 경우 마이크로컨트롤러 주파수에 관계없이 ADC 회로의 클럭 주파수는 최대 200KHz로 제한된다[8].

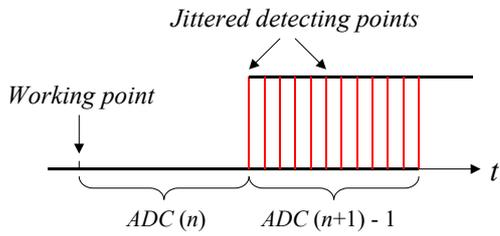


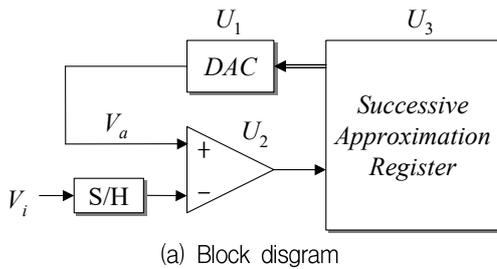
그림 3. ADC 검출 위치의 지터 현상
Fig. 3. Jitter phenomenon of ADC detection position

이러한 지연시간과 지터 시간을 최소화시키기 위해 플래시(flash)형 아날로그-디지털 변환회로 [9]를 고려할 수 있으나, 이는 4-비트 이상 급부터는 가격이 크게 상승하므로 적용하는데 큰 제약이 따른다.

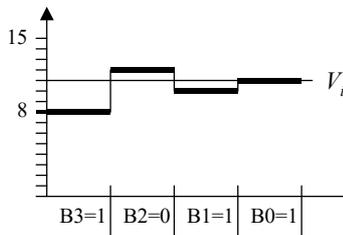
3. 검출 방법의 개선

3.1 축차비교(Successive approximation)

그림 4에 축차비교형 아날로그-디지털 변환회로의 블록도와 동작 예를 나타내었다.



(a) Block diagram



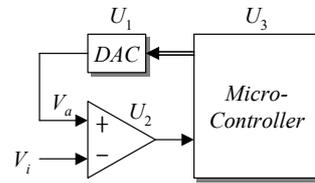
(b) Example of conversion
그림 4. 축차비교형 ADC

Fig. 4. Successive approximation type ADC

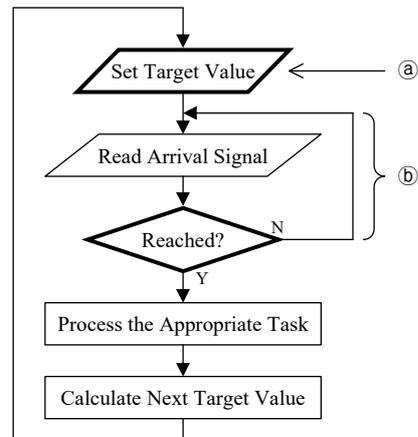
그림 4(a)에서, 입력되는 전압 V_i 는 디지털-아날로그 변환회로(DAC)의 출력 V_a 와 U_2 비교기에서 비교되며, 그림 4(b)와 같이 디지털-아날로그 출력을 조절해 입력전압 V_i 와 가장 근사한 V_a 를 찾아내는 방법으로 변환이 진행된다. 이 때 가장 빠른 시간에 근사한 V_a 를 찾아내는 알고리즘을 적용한 것이 축차비교형 변환기이다[7].

3.2 목표치 선 설정(target preset) 방법

본 논문에서 제시하는 방법은 그림 4의 축차비교형 ADC와 유사한 원리를 이용한 것으로서, 그림 5(a)에 하드웨어 블록도를, 그림 5(b)에 이의 소프트웨어 플로-차트를 나타내었다.



(a) Block diagram



(b) Flow-chart

그림 5. 제시하는 위치 검출 방법

Fig. 5. Proposed position detection method

U_3 마이크로컨트롤러에서 검출할 목표 전압(작업위치 V_a)을 미리 설정하고(그림 5(b)의 ①), 기기가 운행되면서 검출되는 포텐쇼-미터의 전

압이 목표 전압에 도달하면 이 때의 비교기 출력을 마이크로컨트롤러에서 검출한다(그림 5(b)의 ㉔). 이 때 검출 과정은 아날로그-디지털 변환에 의한 것이 아니라 비교기의 디지털 출력을 검출하는 것이므로 검출시간이 빨라진다.

이러한 방법을 이용한 경우 기구물이 목표지점에 도달했음을 검출하는데 걸리는 시간은 비교기의 비교시간과 마이크로컨트롤러의 입력포트 지연시간인 수 nS 수준의 지연만 발생하므로 무시할 수 있고, 단지 마이크로컨트롤러의 소프트웨어에서 발생하는 검출 지연시간만이 존재한다. 특히 제시한 방법의 경우 디지털 입력을 감지하는 것이므로 주파수 제약이 없어 마이크로컨트롤러의 속도가 빨라지면 그만큼 지터 기간도 짧아질 수 있으며, 이 신호를 마이크로컨트롤러의 인터럽트 신호로 입력하면 비록 인터럽트 접수 절차에서 약간의 지연이 발생할 수 있지만, 마이크로컨트롤러는 다른 작업을 진행하면서 신호를 검출할 수 있는 병렬성(concurrency)이 확보될 수 있어 더욱 효율적인 컨트롤러의 활용이 가능하다.

그림 6은 제시한 방법을 연속으로 시행한 경우의 예로서, 그림의 직선 부분(V_a)은 검출전압, 계단형 파형(V_b)은 마이크로컨트롤러에서 설정하는 목표전압의 변화이다.

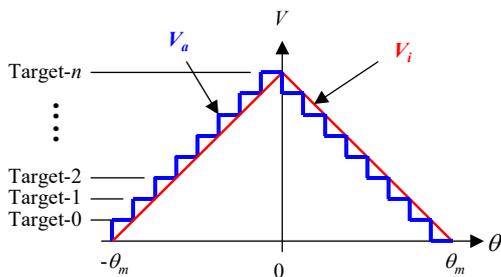


그림 6. 연속 동작의 예
Fig. 6. Example of continuous tasking

제시한 방법은 기구물의 절대 위치검출이 필요한 경우, 예를 들어 기구물의 기동 초기 시에는

소프트웨어에 의한 축차비교 방식으로 값을 검출할 수 있으므로, 목표값의 도달 검출은 물론 절대적인 위치의 검출도 가능한 특징을 나타낸다.

4. 실험 및 고찰

제시한 방법의 효과를 입증하기 위해 AVR ATtiny13A[10]를 이용해 그림 7(a)와 같은 마이크로컨트롤러 회로를 구성하고, 정확한 작업지점부터의 지연성분을 검출하기 위해 그림 7(b)와 같이 급격히 변화하는 펄스신호를 입력하고 이 시점을 작업점에 도달한 신호로 사용하였다.

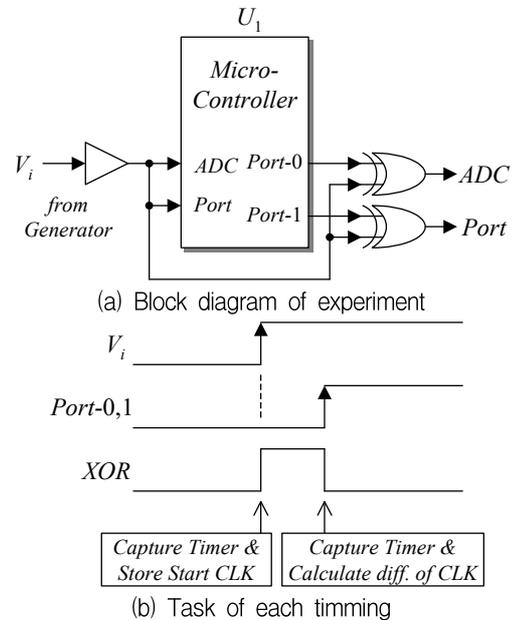
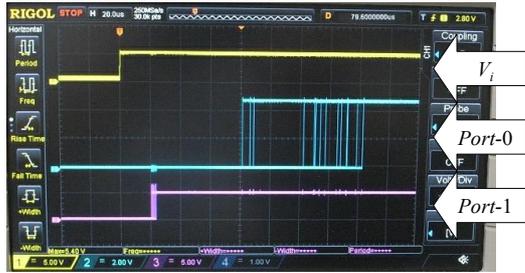


그림 7. 실험회로와 측정 방법
Fig. 7. Experiment circuit and measurement method

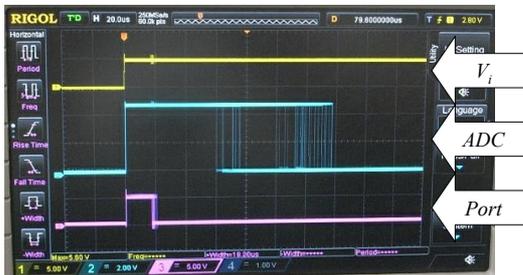
그림 7(b)에서 입력신호 V_i 는 각 검출신호와 XOR 처리해 입력신호와 출력신호 사이의 간격을 추출하고, 이 신호의 상승과 하강 시점을 또 다른 관찰용 마이크로컨트롤러 ATmega168의 IC(Input Capture) 기능[11]을 이용해 타이밍을

측정하였다. 이 때 정확한 측정을 위해 실험에 사용한 마이크로컨트롤러는 500KHz로 동작시키고, 측정용 마이크로컨트롤러는 이보다 40배가량 고속인 20MHz로 동작시켜 실험을 진행하였다.

그림 8에 출력 파형을, 표 1에 측정된 타이밍 결과를 나타내었다.



(a) Waveform of Port-0, 1 output



(b) Waveform of XOR output

그림 8. 실험결과 파형

Fig. 8. Waveform of experimental result

그림 8(a)는 입력신호 V_i 를 검출한 결과를 나타낸 것으로서, ADC에 의한 검출 출력인 Port-0 신호는 예상대로 매우 불규칙하여 지터 현상이 심하게 발생함을 알 수 있고, 이에 비해 포트 검출을 통한 출력인 Port-1의 파형은 지터 크기가 매우 작음을 알 수 있다.

그림 8(b)는 지터의 크기를 정확히 측정하기 위한 XOR 출력으로서, 입력신호가 입력된 순간부터 출력신호가 나타난 시점까지의 신호만 추출되며, 이 신호의 상승 시점부터 하강 시점까지를 256회 측정된 결과를 표 1에 나타내었고, 그림 9

에 이를 그래프로 나타내었다. 단, 이들 측정값은 측정용 마이크로컨트롤러의 클록 수이다.

표 1에 의하면 ADC에 의한 검출값은 최소 2,553, 최대 6187로서 차이가 3,634로 나타난 것에 비해 포트 검출을 통한 지터 폭은 158로서, ADC의 지터 폭에 비해 포트 검출에 의한 지터 폭이 4.35%에 불과한 것으로 나타났다.

표 1. 측정 결과

Table 1. Measured results

#	ADC	Port	#	ADC	Port	#	ADC	Port
1	3,363	902	11	2,935	764	:	:	:
2	5,240	818	12	4,824	769	251	2,579	852
3	5,680	798	13	5,517	782	252	4,550	783
4	2,959	799	14	5,965	900	253	5,489	828
5	4,771	795	15	3,229	790	254	6,029	829
6	5,455	885	16	5,078	774	255	3,325	759
7	6,078	815	17	5,574	769	256	5,196	800
8	3,365	897	18	2,858	823	Min	2,553	754
9	5,244	905	19	4,753	851	Max	6,187	912
10	5,709	821	:	:	:	Diff	3,634	158

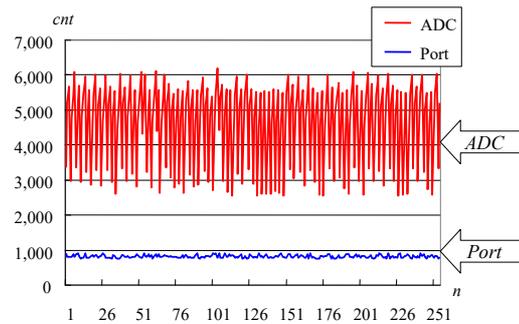


그림 9. 측정 결과의 그래프

Fig. 9. Graph of measured results

5. 결론

본 논문에서는 기구물의 각도검출 시 저렴한 가격으로 절대적 위치를 검출할 수 있는 포텐쇼-

미터를 사용함에 있어 값을 변환할 때 발생하는 위치검출 값의 지터 발생 요인을 분석하였고, 이를 최소화할 수 있는 방법과 그에 따른 효과를 분석하였다. 분석 결과에 따르면 포텐쇼-미터의 아날로그 전압을 디지털 값으로 변환하기 위한 샘플/홀드 위치와 변환시간에 의해 지터 현상이 발생함을 이론적으로, 그리고 실험적으로 확인하였다. 이에 따라 마이크로컨트롤러에서 작업점을 미리 설정하고 포텐쇼-미터가 이 값에 도달함을 검출하는 방법으로 위치를 검출하는 방법을 제시하였으며, 제시한 방법을 적용할 경우 지터 폭이 4.35%로 크게 감소하고, 필요한 경우 소프트웨어를 이용해 측차비교에 의한 절대위치 검출도 가능하며, 또한 작업 처리 프로세서에서 인터럽트 입력으로 활용할 경우 작업의 병렬화 가능성도 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] omch, Absolute Rotary Encoder, (Oct. 2012). <https://www.omch.co/absolute-rotary-encoder/>
- [2] Nidac, Nidac Optical Encoders RE30E, <https://www.farnell.com/datasheets/2736086.pdf>
- [3] Bourns, Sensors / Position Sensors / Contacting Single-turn, <https://www.bourns.com/products/sensors/position-sensors/contacting-single-turn/product/6657>
- [4] Myoung-Seok Lee, Kyoung-Chul 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, (May 2014).
- [5] Seo-Ik Kang, Hyun-Chang 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, pp.111 - 118, Vol.54, No.12, (Dec. 2017). DOI : /10.5573/ieie.2017.54.12.111
- [6] Sung-Yeol Kwon, Hyun-Chang Lee, Kyu-Tae Lee, "A Study on the Improving performance of Detecting Current of the Norton Amplifier", pp.185 - 191, Vol.18, No.3, (June, 2018). DOI : /10.7236/JIIBC.2018.18.3.185
- [7] Fettah Kodlak, Metin U. Salamci, "Successive Approximations of Model Reference Adaptive Control Design for Nonlinear Systems", IFAC-PapersOnLine, pp.248 - 253, Vol.48, No.25, (Nov. 2015). DOI : /10.1016/j.ifacol.2015.11.095
- [8] Microchip, 8-bit AVR Microcontroller ATmega128A Datasheet Complete. pp.313-333, (2015). ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-8151-8-bit-avr-atmega128a_datasheet.pdf
- [9] Dan Bu, Liangyu Li, Chengjun Qiu, "Design of 8 Bit Interpolating Flash ADC Based on CMOS Technology", DEStech Transactions on Materials Science and Engineering, (Apr. 2017). DOI : /10.12783/dtmse/icmsme2016/7515
- [10] Microchip, 8-bit AVR Microcontroller ATtiny13A tinyAVR Datasheet, (2021). ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/DataSheets/ATtiny13A-Data-Sheet-DS40002307A.pdf
- [11] Microchip, High Temperature Automotive Microcontroller ATmega88/ATmega168 Datasheet pp.92 - 116, (2016). ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-9365-Automotive-Microcontrollers-ATmega88-ATmega168_Datasheet.pdf

저 자 소 개



권성열(Sung-Yeol Kwon)

1990.2 수원대 전자재료공학과 학사
1993.2 경북대 전자재료전공 석사
2000.2 경북대 센서공학과 박사
1994.3~1998 안동과학대학
전자계산과 조교수
2000.3~현재 국립 부경대학교 공과대학
전기과 교수
<주관심분야> MEMS sensor, 전자재료, 전
기제어계측, 신재생에너지



이현창(Hyun-Chang Lee)

1986.2 단국대 전자공학과 학사
1989.8 단국대 전자공학과 석사
1996.2 단국대 전자공학과 박사
1996.3~2004 국립 천안공업대학 정보통신과
부교수
2005.3~현재 국립 공주대학교 공과대학 정보
통신공학과 교수
<주관심분야> 멀티미디어 회로, 모터제어,
마이크로프로세서, 임베디드 소프트웨어



강서익(Seo-Ik Kang)

1985.2 한양대학교 기계공학과 학사
1987.2 한양대학교 정밀기계공학과 석사
1997.2 한양대학교 정밀기계공학과 박사
1995.3~2004 국립 천안공업대학 자동차과
부교수
2005.3~현재 국립 공주대학교 공과대학
기계자동차공학부 교수
<주관심분야> 자동차동력장치 제어, 센서
및 신호 처리, 유공압 제어