Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2012) 26(6) : 87~93
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2012.26.6.087

I2C 슬레이브 칩의 주소 설정을 위한 RC회로를 이용한 효과적인 아날로그-디지털 변환기 설계

(A Design of Effective Analog-to-Digital Converter Using RC Circuit for Configuration of I2C Slave Chip Address)

이무진* · 성광수**
(Mu-Jin Lee · Kwang-Su Seong)

Abstract

In this paper, we propose an analog-to-digital converter to set the address of a I2C slave chip. The proposed scheme converts a fixed voltage between 0 and VDD to the digital value which can be used as the address of the slave chip. The rising time and the falling time are measured with digital counter in a serially connected RC circuit, while the circuit is being charged and discharged with the voltage to be measured. The ratio of the two measured values is used to get the corresponding digital value. This scheme gives a strong point which is to be implementable all the parts except comparator using digital logic. Although the method utilizes RC circuit, it has no relation with the RC value if the quantization error is disregarded. Experimental result shows that the proposed scheme gives 32-level resolution thus it can be used to configure the address of the I2C slave chip.

Key Words : I2C, Chip Configuration, ADC, LED BLU Drive Circuit

1. 서 론

디지털 TV와 같은 전자시스템은 컴퓨터 시스템과 유사하게 메인 마이크로프로세서를 중심으로 비디오, 오디오 디코더, 디스플레이 모듈 등 다양한 I/O 디바이스가 연결된 구조를 가진다[1-3]. LCD기반 디지털 TV에서 BLU(back light unit)역시 I/O 디바이스 중 하나이고, 시스템을 제어하는 메인 마이크로프로세서로부터 디밍(dimming) 정보를 받아 밝기를 조절한다. LED를 광원으로 하는 직하형 LED-BLU에서는 BLU에 배치된 LED를 여러 개의 영역으로 나눈 후 해당 영역별로 밝기를 제어하는 로컬디밍(local-dimming)기법을 이용하여 저전력을 구현하고, 화질을 개선한다[4].

로컬디밍을 지원하는 BLU는 그림 1과 같이 MCU와 LED 구동 chip들로 구성되어 있으며, MCU는 메인 마이크로프로세서와 통신하며 로컬디밍에 대한 정보를 받는다. 정보를 받은 MCU는 I2C 버스를 통해

* 주저자 : 영남대학교 전자공학과 박사과정
** 교신저자 : 영남대학교 전자공학과 부교수
Tel : 053-810-2481, Fax : 053-810-4770
E-mail : kssung@ynu.ac.kr
접수일자 : 2012년 4월 10일
1차심사 : 2012년 4월 13일
심사완료 : 2012년 5월 8일

LED 구동 칩을 제어한다. 42인치 직하형의 경우 8개의 LED 구동칩이 연결되며, 사이즈가 더 클 경우 더 많은 구동칩을 연결해야 한다.

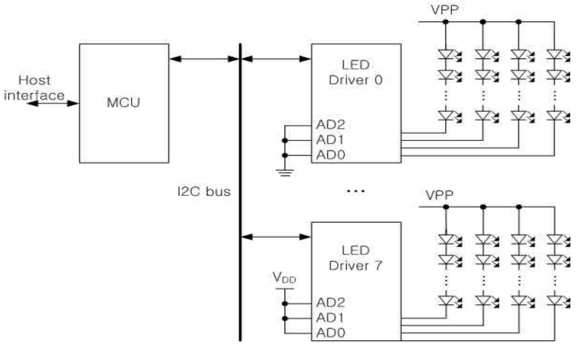

그림 1. 직하형 LED BLU 구동 회로 예
Fig. 1. A typical case of the drive circuit for a direct-lit LED BLU

I2C는 클럭과 데이터의 2비트 버스를 공유하는 구조로 저비용으로 시스템을 구성하는데 용의하여 마이크로 컨트롤러에서 널리 사용되고 있다[5]. I2C는 1개의 마스터에서 여러 개의 슬레이브 디바이스를 제어하는 구조가 일반적이며, 그림 1에서 MCU가 마스터가 되고, LED 드라이버 0에서 7은 슬레이브가 된다. 마스터는 7[bit]으로 구성된 주소(address)를 버스에 보내고 이 주소와 일치하는 주소를 가진 슬레이브와 서로 통신하게 된다.

그러나 여러 개의 슬레이브 디바이스를 연결하기 위해서는 각 슬레이브 디바이스마다 서로 다른 주소를 가지고 있어야 한다. 이를 위해 칩 내부에 EPROM이나 플래시메모리 등을 둘 수 있지만, ID 저장만을 위해 이를 적용하기에는 비용이 많이 들므로 그림 1과 같이 외부에 칩 설정을 위한 핀들을 두는 것이 일반적이다. 그러나 슬레이브 디바이스들이 저가의 칩일 경우 여러 개의 핀을 칩 설정을 위해 배치하는 것은 적절한 방법이 아니다. 그림 1의 경우 8개의 LED 구동칩이 사용되므로 AD2, AD1, AD0의 3비트 설정 핀이 필요하며 큰 사이즈의 BLU를 제어하기 위해서는 더 많은 핀을 할당해야 한다.

이 문제를 그림 2와 같이 각 칩에 ADC를 내장하여 이를 이용해 칩을 설정할 수 있다. 이 방법은 두 개의 저항을 이용해 전압을 분배한 후 한 개의 핀에 인가하고 이를 디지털 값으로 변경한 후 이 값을 이용해 칩을 설정하면 된다. 그러나 초기 1회 칩 설정을 위해 고가의 복잡한 ADC를 칩에 구현하는 것은 적절해 보이지 않는다.

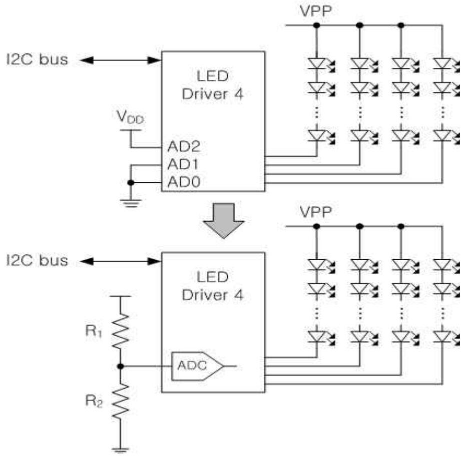

그림 2. ADC를 이용한 I2C 주소 설정
Fig. 2. I2C address configuration using ADC

본 논문에서는 DTV를 초기에 시작하는데 수초가 소요되므로[6] 빠른 ADC를 사용하지 않아도 되고, 해상도 역시 높지 않아도 되는 점을 활용하여 간단하지만 효과적인 RC회로를 이용한 ADC를 제안한다.

제안된 방법은 저항과 커패시터가 직렬로 연결된 1차 RC회로를 이용한다. 측정하고자 하는 입력전압을 저항에 인가하여 커패시터를 충전, 방전하면서 상승시간과 하강시간을 디지털 카운터로 측정한다. 이렇게 측정한 두 값의 비를 이용해 입력전압을 계산한다. 실험결과 제안된 ADC는 간단하지만 입력전압을 최대 32개의 레벨을 구분할 수 있는 해상도를 보여 I2C 슬레이브 칩의 주소 설정에 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 본 논문은 2장에서 제안된 ADC의 구조 및 동작원리에 대해 설명하고, 3장 실험에서는 실험결과를 보여준다.

2. 제안된 방법

2.1 1차 RC회로를 이용한 ADC

제안된 방법은 그림 3 (a)와 같이 2개의 저항을 직렬

로 연결해 $0 \sim V_{DD}$사이의 전압을 ADC에 인가한다. 등가 모델로 변환하면 그림 3 (b)와 같이 표현되며, $V_I = V_{DD}R_2/(R_1+R_2)$이고, $R = R_1 \| R_2$가 된다.

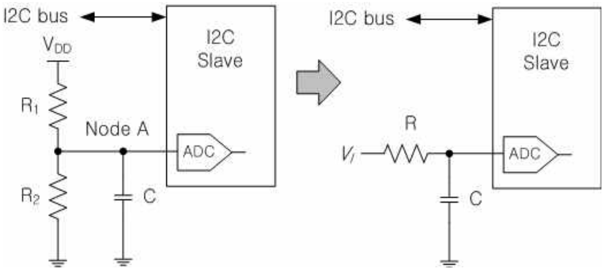

그림 3. 제안된 방법의 외부회로(a)와 그 등가회로(b)
Fig. 3. (a) External circuit of the proposed method, (b) the equivalent circuit of (a)

제안된 방법의 내부 회로는 그림 4와 같고, 상승하강시간 측정은 그림 5와 같다.

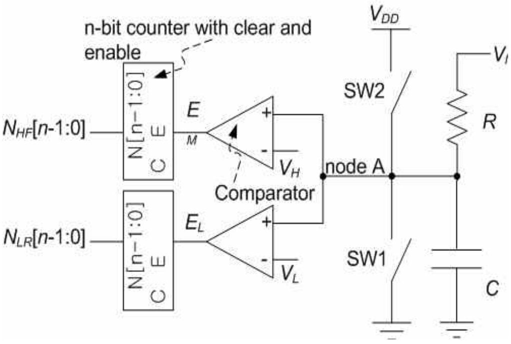

그림 4. 제안된 방법의 회로도
Fig. 4. The circuit diagram of the proposed scheme

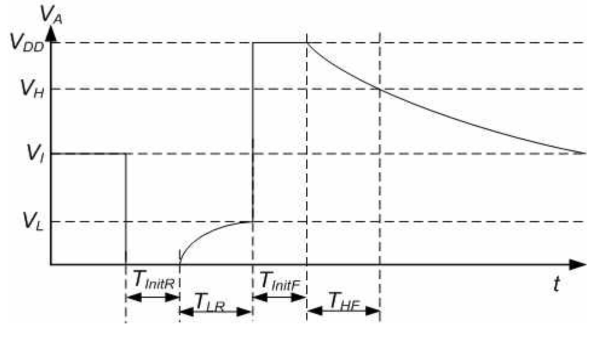

그림 5. 제안된 회로에서 상승시간 하강시간 측정
Fig. 5. The measurement of rising and falling time

여기서 $0 < V_L < V_{Imin} \le V_I \le V_{Imax} < V_H < V_{DD}$ 의 관계가 있다. V_L은 상승시간을 측정하는 임계전압이고, V_H는 하강시간을 측정하는 임계전압이다. 그리고 V_{Imin}은 측정하고자 하는 최저 전압이고, V_{Imax}는 측정하고자 하는 최대 전압이다.

제안된 방법은 그림 4의 SW1을 이용해 노드 A를 T_{InitR}시간동안 0[V]로 방전한 후 V_I를 통해 노드 A가 V_L까지 충전하는데 걸리는 시간 T_{LR}을 측정한 다음, SW2를 이용해 노드 A를 T_{InitF}시간동안 V_{DD}로 충전한 후 V_I를 통해 노드 A가 V_H까지 방전하는데 걸리는 시간 T_{HF}를 구한다. 여기서 이들 두 값을 주기가 T_{clock}인 디지털 카운터로 측정한 값이 각각 N_{LR}과 N_{HF}이다. 회로가 1차 RC회로이므로 1차 미분방정식을 이용해 T_{LR}과 T_{HF}를 구하면 각각 수식 (1), (2)와 같이 표현된다.

$$T_{LR} = RC \ln\left(\frac{V_I}{V_I - V_L}\right) \tag{1}$$

$$T_{HF} = RC \ln\left(\frac{V_{DD} - V_I}{V_H - V_I}\right) \tag{2}$$

수식 (2)와 (1)의 비를 구하면 수식 (3)과 같아진다.

$$\frac{T_{HF}}{T_{LR}} = \frac{\ln\frac{V_{DD} - V_I}{V_H - V_I}}{\ln\frac{V_I}{V_I - V_L}} \tag{3}$$

여기서 함수 $f(V_I)$를 수식 (4)와 같이 정의한다.

$$f(V_I) = \frac{\ln\frac{V_{DD} - V_I}{V_H - V_I}}{\ln\frac{V_I}{V_I - V_L}} \tag{4}$$

수식 (4)를 이용하면 수식 (3)은 $f(V_I) = T_{HF}/T_{LR}$이 되고, 역함수를 이용해 $V_I = f^{-1}(T_{HF}/T_{LR})$와 같이 입력전압 V_I를 구할 수 있다. 즉 T_{LR}과 T_{HF}를 측정하고 그 비를 구하면 역함수를 이용해 입력전압을 구할 수 있다.

여기서 $g(V_I)=1/f(V_I)$를 정의한다. V_L과 V_H가 0.5 V_{DD}를 중심으로 대칭이면 즉, $V_L+V_H=V_{DD}$이면, $g(V_I)=f(-(V_I-V_{DD}))$의 관계를 가지므로 함수 $f(V_I)$와 $g(V_I)$는 $V_I=0.5V_{DD}$인 축을 중심으로 대칭임을 알 수 있다. 입력전압이 $V_{Imin}\sim 0.5V_{DD}$일 경우 함수 $f(V_I)$를 이용하고, 입력전압이 $0.5V_{DD}\sim V_{Imax}$일 경우 함수 $g(V_I)$를 이용한다. 함수 $f(V_I)$와 $g(V_I)$는 $V_I=0.5V_{DD}$일 때 최대값 1을 가지고 해당 구간 내에서 양수 값을 갖는다.

두 함수에 대한 그래프는 그림 6과 같다. 여기서 $V_L=0.2V_{DD}$,$V_H=0.8V_{DD}$, $V_{Imin}=0.21V_{DD}$, $V_{Imax}=0.79V_{DD}$ 로 가정하여 그래프를 그렸다.

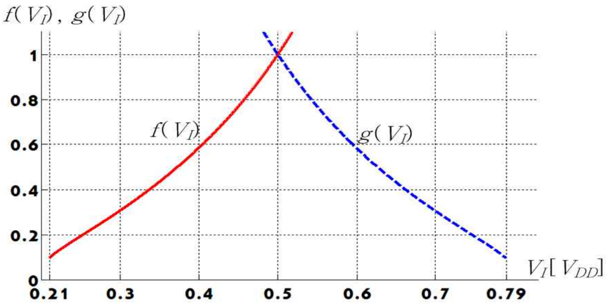

그림 6. 함수 $f(V_I)$와 함수 $g(V_I)$에 대한 그래프
Fig. 6. The graph of function $f(V_I)$ and $g(V_I)$

입력전압 V_I를 구하기 위해 $V_{Imin}\le V_I\le V_{Imax}$를 2N개의 구간으로 나눈다. 그러면 이 구간에서 $v_0=V_{Imin}$, $v_{j+1}=v_j+\frac{1}{2N}(V_{Imax}-V_{Imin})$ 를 정의할 수 있다. 여기서 $j=0,\ldots,2N-1$이다.

함수 $f(V_I)$를 이용하여 $v_0\sim v_N$, 즉 $V_{Imin}\sim 0.5V_{DD}$에 해당되는 입력 전압을 구하는 방법에 대해 설명한다. 이 영역의 임의의 구간 v_j와 v_{j+1}에 대해 $f_j=f(v_j)$, $f_{j+1}=f(v_{j+1})$이 라고 할 경우, 만일 T_{HF}/T_{LR}의 값이 f_j와 f_{j+1}사이에 있으면 입력전압 V_I는 v_j와 v_{j+1}사이에 있음을 알 수 있다.

입력전압이 $v_N\sim v_{2N}$일 경우, 즉 $0.5V_{DD}\sim V_{Imax}$일 경우 함수 $g(V_I)$를 이용한다. 이 영역 임의의 구간 v_k와 v_{k+1}에 대해 $g_k=g(v_k)$, $g_{k+1}=g(v_{k+1})$이라고 할 경우, 만일 T_{LR}/T_{HF}의 값이 g_k와 g_{k+1}사이에 있으면 입력전압 V_I는 v_k와 v_{k+1}사이에 있음을 알 수 있다.

함수 $f(V_I)$와 $g(V_I)$가 $V_I=0.5V_{DD}$축을 중심으로 대칭이므로, $f_j=g_{k+1}$일 경우 j와 k+1은 N을 중심으로 대칭이 된다. 따라서 N에서 j까지의 거리는 k+1에서 N까지의 거리와 같아지게 되며, k = 2N-1-j가 된다. 이를 이용하면 함수 $g(V_I)$를 이용하지 않고 함수 $f(V_I)$를 이용해서 입력전압을 구할 수 있다. 즉 T_{LR}/T_{HF}의 값이 f_j와 f_{j+1}사이에 있으면 입력전압은 v_{2N-1-j}와 v_{2N-j}사이에 있음을 알 수 있다.

T_{LR}과 T_{HF}를 측정한 후 $v_j\sim v_{j+1}$사이의 구간을 찾는 알고리즘은 그림 7과 같다. 이 함수는 구간 $v_j\sim v_{j+1}$을 알리는 j 값을 반환하며, j는 $0\sim 2N-1$ 사이의 값을 갖는다.

FindPosition( )	
1.	T_{LR}과 T_{HF}를 측정한다.
2.	if ($T_{HF}\le T_{LR}$) $K=T_{HF}/T_{LR}$ else $K=T_{LR}/T_{HF}$

3.	for (*j*=0; *j*<*N*; *j*=*j*+1)
	if ($f_j\le K\le f_{j+1}$) {
	if ($T_{HF}>T_{LR}$) return ($2N-1-j$)
	else return j
	}

그림 7. T_{LR}과 T_{HF}를 측정해 입력전압의 범위 $v_j\sim v_{j+1}$를 찾는 알고리즘
Fig. 7. Algorithm to find an input voltage range $v_j\sim v_{j+1}$ after measuring T_{LR} and T_{HF}

Proposed Algorithm ( )	
1.	array[0] ~ array[2*N*-1]을 0으로 초기화
2.	for (*i*=0; *i*<*M*; *i*++) array[*FindPosition*()]++;
3.	array[0] ~ array[2*N*-1]에서 가장 큰 값 array[*j*]를 찾는다.
4.	return *j*

그림 8. <그림 7>의 알고리즘을 *M*번 수행하여 최대 빈도의 위치를 찾는 알고리즘
Fig. 8. Algorithm to find a position with largest frequencies by executing the algorithm in fig. 7 *M* times

제안된 방법이 RC회로를 사용하므로 잡음에 의한 문제가 발생할 수 있으며, 보다 안정된 결과를 얻기 위해 $FindPosition(\ )$ 함수를 M번 수행하여 빈도가 가장 높은 값을 최종 값으로 선택한다. 이에 대한 알고리즘은 그림 8과 같다.

지금까지 아날로그 값인 T_{LR}과 T_{HF}를 이용하여 설명하였으며, 제안된 방법에서는 이 값을 디지털 카운터를 이용해 측정한다. 디지털 카운터 동작 클럭의 주기가 T_{clock}일 경우 $N_{LR}=\left\lfloor \frac{T_{LR}}{T_{clock}} \right\rfloor$와 $N_{HF}=\left\lfloor \frac{T_{HF}}{T_{clock}} \right\rfloor$로 표현된다. 양자화 오차를 무시하여 근사화할 경우 $\frac{T_{HF}}{T_{LR}} \approx \frac{N_{HF}}{N_{LR}}$로 표현할 수 있으므로 $\frac{T_{HF}}{T_{LR}}$ 대신 $\frac{N_{HF}}{N_{LR}}$를 이용하여 입력전압을 구한다.

2.2 성능평가지표

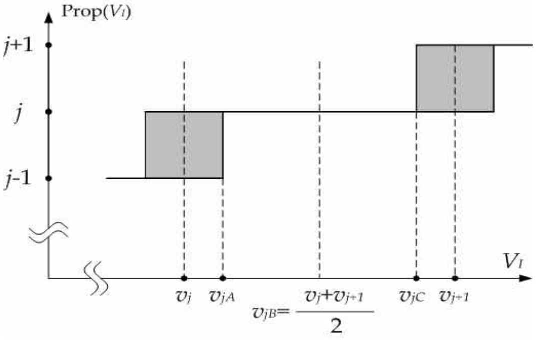

그림 9. $v_j \sim v_{j+1}$구간 입력전압 변환의 전형적인 경우
Fig. 9. A typical case for converting the range of $v_j \sim v_{j+1}$

그림 9에서와 같이 구간 $v_j \sim v_{j+1}$사이의 전압을 제안된 방법에 인가하면 j값이 출력되어야 하지만, 잡음 등에 의해 v_j와 v_{j+1}경계에서는 정확한 값이 측정되지 않을 수 있다. 그림 9에서 $v_{jA} \sim v_{jC}$는 올바르게 변환된 구간이고 나머지는 올바르게 변환되지 않은 경우를 타나낸다.

여기서 입력구간 $v_j \sim v_{j+1}$의 중심 v_{jB}로부터 어느 정도까지 올바르게 변환되는지를 판단하기 위해 수식 (5)와 같이 평가도구 RER(Rate of Endurable Range)을 도입한다. 여기서 RER_j의 j는 구간 $v_j \sim v_{j+1}$을 나타낸다. 해당 구간의 모든 전압이 올바르게 변환되면, 즉 $v_{jA}=v_j$이고, $v_{jC}=v_{j+1}$일 경우 수식 (5)에서 RER 값이 0.5가 되며, 이는 입력전압이 해당 구간 중심전압에서 구간 값의 $\pm 50\%$오차까지 올바르게 변환할 수 있음을 나타낸다.

$$RER_j = \frac{\min(v_{jB}-v_{jA}, v_{jC}-v_{jB})}{v_{j+1}-v_j} \qquad (5)$$

다른 하나의 평가도구는 해당 구간에서 입력전압이 올바르게 변환된 구간의 비를 나타내는 것으로 수식 (6)과 같은 평가도구 RCR(Rate of Correctly Converted Range)를 도입한다. RCR_j의 j는 구간 $v_j \sim v_{j+1}$을 나타낸다. 만일 해당구간의 모든 전압이 올바르게 변환되면 수식 (6)에서 RCR값은 1이 된다. 이는 해당 영역이 100[%] 올바르게 변환되었음을 나타낸다.

$$RCR_j = \frac{v_{jC}-v_{jA}}{v_{j+1}-v_j} \qquad (6)$$

3. 실 험

실험을 위해 그림 10과 같이 회로를 설계하였으며, 이에 대한 사진은 그림 11에 있다.

본 실험에서 $V_L=0.2V_{DD}$, $V_H=0.8V_{DD}$, $V_{Imin}=0.21V_{DD}$, $V_{Imax}=0.79V_{DD}$로 두었고, $V_{DD}=3.3[V]$이다. $V_{Imin} \sim V_{Imax}$구간의 입력전압 V_I를 인가하기 위해 12bit DAC를 이용해 전압을 인가하였으며, ADC를 통해 인가된 전압을 확인하였다. 비교기를 제외한 디지털 카운터와 같은 디지털 회로는 FPGA로 구현하였고, MCU에서 I2C bus를 이용해 관련 값들을 읽을 수 있게 하였다. MCU에서 획득한 데이터는 분석을 위해 RS232를 통해 PC로 옮겨진다. 그림 10에서 삼상버퍼(tri-state buffer)는 노드 A를 0[V] 혹은 V_{DD}로 충전하는데 사용된다. 여기서 저항값은 100[$K\Omega$], 커패시터는 300[pF]으로 두었다.

본 실험에서는 파라미터 M을 변화시키면 성능을 측정하였으며 32보다 큰 수를 사용해도 성능에 큰 변화가 없어서 실험에서는 32를 사용하였다. 그림 12는

실제 측정한 결과를 그래프로 표현하였다. 이 그래프에서 x축은 입력전압 V_I를 나타내며, V_{Imin}에서 V_{Imax}까지 증가하면서 제안된 방법으로 레벨을 구하였다. 입력이 증가함에 따라 계단형태로 출력값이 증가함을 알 수 있다.

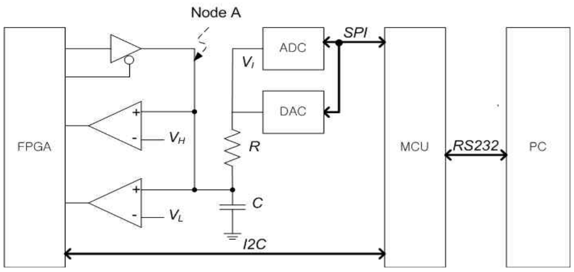

그림 10. 제안된 방법의 실험을 위한 블록 다이어그램
Fig. 10. Block diagram for the experiment of the proposed scheme

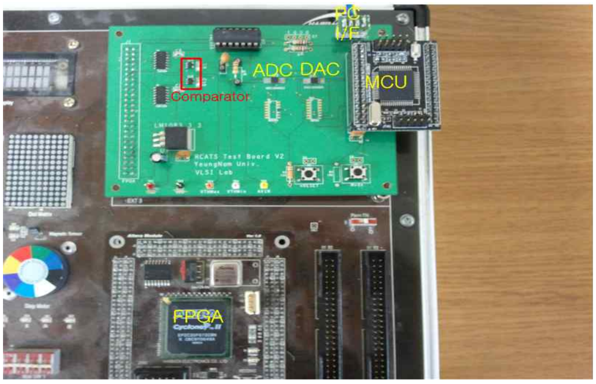

그림 11. 제안된 방법을 구현한 사진
Fig. 11. The photo of the implemented proposed scheme

그림 12에서 원으로 표시된 구간 $v_{10} \sim v_{11}$, 즉 $0.391\,V_{DD} \sim 0.409\,V_{DD}$에 대한 부분을 확대하여 그림 13에 표시하였다. 입력 구간을 32개로 나누었으므로 구간 $v_{10} \sim v_{11}$의 범위는 $(V_{Imax} - V_{Imin})/32 = 0.0181\,V_{DD}$가 된다. 이 구간 중앙에서 왼쪽으로 올바른 결과가 나온 범위가 $0.0091\,V_{DD}$이고, 오른쪽으로는 $0.0072\,V_{DD}$가 된다. 따라서 이 구간에서의 $RER_{10} = \frac{\min(0.0091, 0.0072)}{0.0181} = 0.40$이 되므로 입력전압이 이 구간의 중앙에서 구간전압의 $\pm 40\%$까지 올바르게 변환할 수 있음을 나타낸다. 또한 $RCR_{10} = \frac{0.0091 + 0.0072}{0.0181} = 0.9$로 전체 영역 중 90[%]가 올바르게 변환되었음을 알 수 있다.

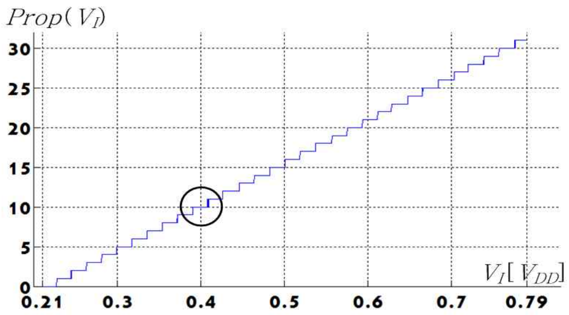

그림 12. 제안된 방법으로 입력전압을 측정한 그래프
Fig. 12. The graph produced by measuring input voltage using the proposed scheme

이와 같이 각 구간에서 구한 RER값을 그림 14에 표시하였다. 여기서 x축을 j로 표현하였는데 이는 구간 $v_j \sim v_{j+1}$을 표현한 것이며, y축은 x축에 대응하는 RER값을 나타낸다. 여기서 RER의 평균값은 0.4로 평균적으로 각 구간의 중앙값에서 구간전압의 $\pm 40\%$까지 정확하게 변환할 수 있음을 나타낸다. 구간 $v_{31} \sim v_{32}$일 경우 RER값이 가장 낮은 0.252이므로 최소한 모든 입력에 대해 각 구간의 중앙값에서 구간전압의 $\pm 25.2\%$까지 올바르게 처리할 수 있음을 알 수 있다. 이는 각 구간의 중앙값에서 구간전압의 $\pm 25.2\%$ 이내의 오차가 있더라도 제안된 방법으로 해당 레벨을 구할 수 있음을 의미한다.

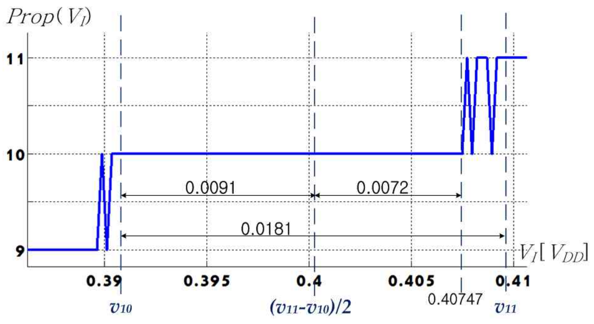

그림 13. 그림 10에서 구간 $v_{10} \sim v_{11}$을 확대한 그림
Fig. 13. Enlarged picture of range $v_{10} \sim v_{11}$ in fig. 10

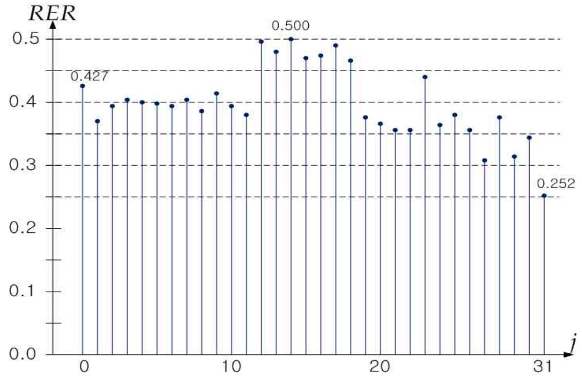

그림 14. 각 구간에 대한 RER값
Fig. 14. RER values corresponding to each range

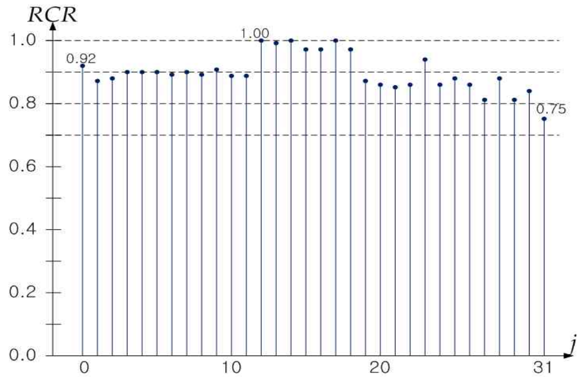

그림 15. 각 구간에 대한 RCR값
Fig. 15. RCR values corresponding to each range

다음은 각 구간에서 구한 RCR값을 그림 15에 표시하였다. 여기서 RCR의 평균값은 0.9로 전체 영역 중 90[%]가 올바르게 변환되었음을 나타낸다. $v_{31} \sim v_{32}$에서 역시 가장 낮은 0.75로 이 영역에서 75[%]의 영역이 올바르게 변환되었음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 I2C 슬래이브 칩 주소를 설정하는데 사용할 수 있는 RC회로를 이용한 전압-시간 변환형 ADC를 설계하였다. 제안된 방법은 직렬로 연결된 1차 RC회로로 구성되어 있으며 측정하고자 하는 입력 전압을 저항을 통해 인가하여 커패시터를 충전, 방전하면서 상승시간과 하강시간을 측정하고, 이들의 비를 이용해 입력전압을 계산한다. 실험에서 N=16일 경우 최소 RER값이 0.252이며, 이는 입력전압을 인가할 때 각 구간의 중앙값에서 구간전압의 ±25.2% 이내의 오차가 있어도 해당 레벨을 정확하게 변환할 수 있음을 보여 제안된 방법으로 32개 레벨을 분해할 수 있음을 보였다.

감사의 글
본 논문은 2011학년도 영남대학교 학술연구조성비 지원에 의한 것임.

References

〔1〕 Hee-Gook Lee, Strategic consideration for the design of digital TV system-on-chip products, in IEEE Asian Solid-state Circuit Conference, Jeju, Korea, pp.1-4, Nov. 2007.
〔2〕 Seong-Pil Moon, Min-Kyu Cho, Jae-Yeol Lee, Jun-Gil Jeon, Tae-Gyu Chang, Chang-Hwan Jang, A Mobile digital TV Platform with Power-saving Strategy, in IEEE International Conference on Consumer Electronics, Berlin, Germany, pp.315- 317, 2011.
〔3〕 Sung-Ryoul Cheon, Ik-Hwan Kim, Ho-Keun Lee, Yeong-Ho Ha, Digital Ready TV platform with synchronization shaping circuit, in IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.49, No. 1, pp.220-228 Feb. 2003.
〔4〕 Yu-Cheol Park, Hee-Jun Kim, Back-Haeng Lee, Dong-Hyun Shin, A Local-dimming LED BLU Driving Circuit for a 42-inch LCD TV, in Telecommunications Energy Conference, Incheon, Korea, Oct. 2009.
〔5〕 I2C Specification, Version 2.1 Jan. 2000.
〔6〕 Heeseung Jo, Hwanju Kim, Hyun-Gul Roh and Joonwon Lee, Improving the Startp Time of Digital TV, in IEEE Trans. on Consumer Electronics, pp 721-727, 2009.

◇ 저자소개 ◇

이무진 (李茂珍)
1982년 12월 26일생. 2006년 영남대학교 컴퓨터공학과 졸업. 2008년 영남대학교 전자공학과 대학원 졸업(석사). 현재 영남대학교 전자공학과 박사과정.

성광수 (成桄洙)
1966년 10월 2일생. 1990년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사). 1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사). 현재 영남대학교 전자공학과 부교수.