

논문 2009-46SD-6-5

LTFS TFT LCD 패널의 광 센서를 위한 dual slope 보정 회로

(Design of Readout Circuit with Dual Slope Correction for photo sensor
of LTFS TFT-LCD)

우 두 형*

(Doo Hyung Woo)

요 약

휴대용 기기의 소비 전력을 낮추고 영상의 질을 개선하기 위해, 주변 밝기에 따라서 LCD 모듈의 백라이트를 조정하는 방법을 사용할 수 있다. 이를 효과적으로 구현하기 위해서 LCD 패널에 광 센서와 신호취득 회로를 집적하고자 했으며, LTFS TFT 공정을 이용하여 설계했다. 서로 다른 LCD 패널의 광 센서에 대한 특성 편차를 보정하기 위해 새로운 개념의 start-up 보정 방식을 제안하였다. 이와 더불어 광 전류 정보를 디지털 형태로 전달하기 위해 time-to-digital 방식을 사용하였으며, 이를 start-up 보정 방식과 효과적으로 결합하는 dual slope 보정 방법을 제안하였다. LTFS TFT 공정을 이용하여 최종적인 신호취득 회로를 구현하고자, 간단하고 안정적인 회로 구조와 타이밍을 제안하고 설계 및 검증을 진행했다. 설계한 신호취득 회로는 별도의 검사 설비 없이 광 센서 편차의 보정이 가능하며, 60dB 범위의 입력 광에 대해 10배수 구간 마다 4 단계의 디지털 데이터를 출력한다. 신호취득 속도는 100Hz이며, 디지털 변환의 선형 오차는 18% 미만이다.

Abstract

To improve the image quality and lower the power consumption of the mobile applications, it is the one of the best candidate to control the backlight unit of the LCD module with ambient light. Ambient light sensor and readout circuit were integrated in LCD panel for the mobile applications, and we designed them with LTFS TFT. We proposed noble start-up correction in order to correct the variation of the photo sensors in each panel. We used time-to-digital method for converting photo current to digital data. To effectively merge time-to-digital method with start-up correction, we proposed noble dual slope correction method. The entire readout circuit was designed and estimated with LTFS TFT process. The readout circuit has very simple and stable structure and timing, so it is suitable for LTFS TFT process. The readout circuit can correct the variation of the photo sensors without an additional equipment, and it outputs the 4-levels digital data per decade for input luminance that has a dynamic range of 60dB. The readout rate is 100 times/sec, and the linearity error for digital conversion is less than 18%.

Keywords : readout circuit, ambient light sensor, two point correction, LTFS TFT, LCD

I. 서 론

노트북, UMPC, PDA, 핸드폰 등의 휴대 기기 시장이

크게 성장함에 따라, 액정 디스플레이(LCD)의 성능에 대한 기대치도 함께 높아지게 되었다. 능동형 매트릭스 LCD(AMLCD) 패널을 구현하기 위해, 주로 비정질 실리콘(a-Si)을 기반으로 한 박막 트랜지스터(TFT)를 이용하였다. 그러나 뛰어난 이동도와 안정성을 보이는 저온 다결정 실리콘(LTFS) TFT를 이용하기 위해 많은 연구가 진행되고 있으며, a-Si TFT가 접근할 수 없는 영역을 중심으로 시장을 확대해가고 있다. LTFS TFT의 장점은 무엇보다 LCD 패널에 다양한 회로를 집적할

* 정회원, 가톨릭대학교 정보통신전자공학부
(School of Information, Communications &
Electronic Engineering, The Catholic University of
Korea)

※ 본 연구는 2009년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음

접수일자: 2009년2월17일, 수정완료일: 2009년3월18일

수 있다는 것이며, LCD 구동 회로, 메모리 및 광센서 등을 집적하는 다양한 노력이 진행되었다.^[1-2]

LCD는 백라이트의 빛을 이용하는 투과형 디스플레이이므로, 백라이트 시스템에 의한 전력소모가 매우 크다. Palm-size PC 나 PDA 같은 경우, 전체의 20~30%에 달하는 전력이 백라이트에서 소모되고 있으며,^[3] 이는 휴대폰 같이 제품의 크기가 작고 디스플레이의 비중이 클수록 더 심해진다. 백라이트에서 소모하는 전력을 줄이기 위해, 외부 밝기 조건에 따라 백라이트의 밝기를 자동으로 조정하고 영상의 질을 개선하는 연구가 진행되었다.^[3] 즉, 주변 환경이 밝을 때는 백라이트를 밝게 하고, 어두울 때는 백라이트의 밝기를 단계적으로 낮추어서, 영상에 대한 시인성은 높이고 백라이트의 전력소모는 낮추는 방법을 사용할 수 있다.

휴대용 기기에 적용하는 광센서는 별도의 장치를 이용하여 구현할 수도 있으나, 비용 및 복잡도 등을 고려하여 LCD 패널 위에 실장하려는 연구가 많이 진행되고 있다. 광센서와 더불어 신호취득 회로까지 LCD 패널위에 내장하려는 노력이 많이 있으며, 이를 위한 LTPS TFT 회로 기술이 많은 관심을 받고 있다.^[4-5] 궁극적으로 신호취득에 필요한 모든 기능을 LCD 패널에서 구현할 경우, 시스템의 비용과 복잡도를 크게 낮출 수 있으며, 간단한 LCD driver IC를 사용하는 것이 가능하므로 제품 개발 기간을 단축하고 개발 유연성을 확보할 수 있게 된다.

II. 외부 광 인식 시스템

1. 개요

그림 1은 외부 광 인식 시스템에 대한 개요를 나타낸다. Set에서 LCD 모듈로 영상 정보를 보내면, LCD 모듈의 소스 드라이버 IC는 이를 이용하여 영상 구현에 필요한 컨트롤 신호를 생성한다. 생성된 컨트롤 신호는 광 센서를 위한 신호취득 회로를 동작시키는 데 사용할 수 있으며, 신호취득 회로에서는 외부 광에 대한 정보를 디지털 형태로 출력한다. 주로 PWM 형태인 디지털 정보를 이용하여 LCD 모듈과 set의 LED 드라이버를 구동하며, 더 나아가 영상 데이터를 외부 환경에 맞는 최적의 상태로 변형하는 데 이용할 수도 있다. 휴대용 전화를 위한 LCD 모듈의 경우, 소스 드라이버 IC를 Chip on glass(COG) 형태로 실장하는 것이 보통이다. 이러한 LCD 모듈을 LTPS TFT로 구현할 경우, 소스

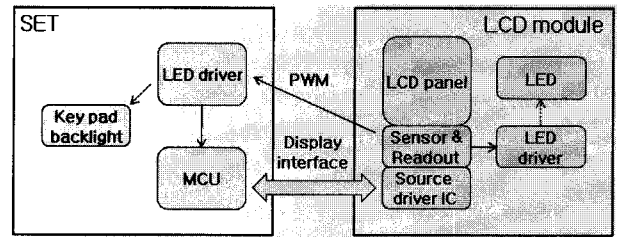


그림 1. 외부 광 인식 시스템
Fig. 1. Sensing system for ambient light.

드라이버 IC의 일부 기능을 LCD 패널 위에 집적하기도 한다. 본 논문에서는 LTPS TFT의 장점을 최대한 발휘하여, 광 센서와 신호취득 회로를 LCD panel 위에 집적하고자 한다.

2. 주요 해결 과제

무엇보다 중요한 일은 기존 LTPS 공정을 이용하여 뛰어난 성능을 갖는 LTPS 광 센서를 구현하는 것이다. 그러나, 본 논문에서는 광 센서 보다는 이를 위한 신호취득 회로 구현에 더 중점을 두고자 한다. Top 게이트 구조의 TFT에서 상부 게이트 전극을 제거한 PIN 구조의 광 센서를 제작하였으며, 이에 대한 측정결과를 그림 2에 나타내었다.^[6] 외부 광량에 따른 광 전류의 크기가 매우 선형적임을 알 수 있다.

LTPS 광 센서가 기존 a-Si 광 센서에 비해 안정성이 좋지만, 감지도가 낮고 패널 간 편차가 심하다는 문제가 있다. 무엇보다 패널 간 편차가 매우 심하여, 제품화를 위해서는 그림 3과 같은 이점 보정이 필수적이다. 즉, 서로 다른 패널 내의 광 센서는 어두운 빛에 대한 암전류가 서로 다르고, 빛의 세기에 따른 감지도가 서로 다르다. 따라서, 두 가지 표준 밝기(A, B)에 대

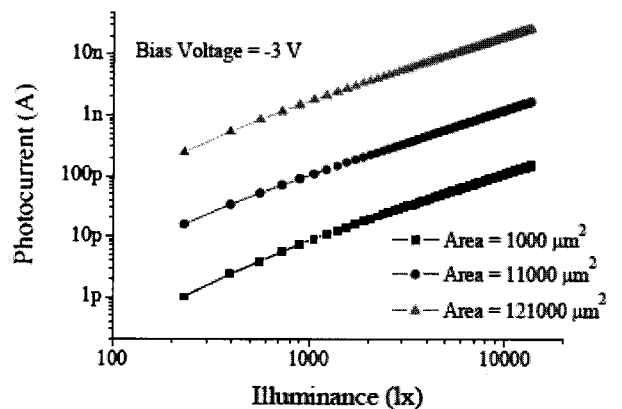


그림 2. 제작된 LTPS 광 센서의 특성^[6]
Fig. 2. Characteristic of LTPS photo-sensor.^[6]

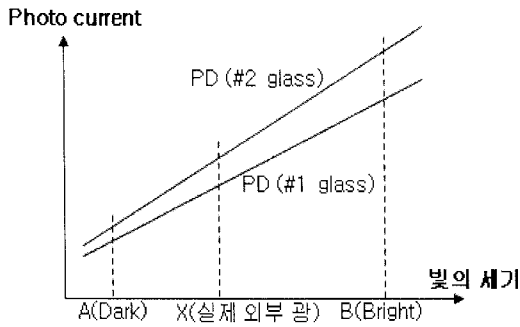


그림 3. 광 센서의 특성 편차와 이점 보정
Fig. 3. The variation of two photo sensors and two-point correction.

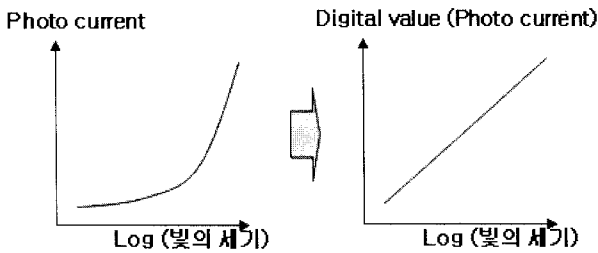


그림 4. LCD 응용에서의 광 전류에 대한 아날로그-디지털 변환
Fig. 4. Analog-to-digital conversion of photo current for LCD applications.

한 광 전류를 측정하여, 암전류는 빼고 감지도는 나누어야(normalize) 한다. 암전류는 센서에 가해지는 빛을 차단하여 쉽게 얻을 수 있기 때문에, 특성이 유사한 인접 센서를 이용하여 암전류를 빼주는 방법은 매우 일반적이다.^[5] 그러나, 감지도 보상을 위해서는 밝은 빛에 대한 정보가 추가적으로 필요하며, 이를 위해 제품의 마지막 단계에서 부가적인 검사를 도입하여 그 결과를 EEPROM 같은 장치에 저장해야 한다.

다음으로, LTPS TFT를 이용한 아날로그-디지털 변환기를 구현해야하는 문제가 있다. 그림 2에 나타난 것과 같이 광센서의 특성은 매우 선형적이며, 이것은 아날로그-디지털 변환에서 오히려 약점으로 작용한다. 그림 4와 같이 빛의 세기를 로그축으로 바꾸었을 때, 광센서의 특성은 지수 함수를 이루게 된다. 그림 4의 오른쪽 그림과 같이, 대부분의 응용에서 빛의 세기는 로그축 구간을 사용하고, 이에 해당하는 디지털 출력은 선형적인 값을 얻을 수 있어야 한다.

III. 신호취득 회로 구현

1. Start up 보정

앞에서 설명한 이점 보정을 구현하려면, 추가적인 검사 비용과 시간 손실이 발생한다. 따라서, 추가적인 검사 없이 제품을 사용할 때 바로 보정이 가능하도록 하는 아이디어가 필요하다. 한 패널내의 인접한 광 센서의 특성은 매우 유사하다는 기초 연구를 바탕으로, 그림 5와 같은 start up 보정 개념을 제안한다. LCD의 단점이 될 수 있는 백라이트의 존재를 활용한 것으로, 백라이트를 표준 광원으로 사용하므로 보상을 위한 별도의 검사 설비가 필요 없다.

그림 5의 왼쪽 그림은 LCD 패널을 위에서 바라본 평면도이고, 오른쪽 상단 그림은 광 센서부의 단면 구성을 나타낸다. PD1은 외부 광을 감지하기 위한 것으로서 상부의 black matrix가 제거되고, PD2는 암전류를 감지하기 위한 것으로서 상부의 black matrix로 외부 광을 차단한다. 다음으로 PD3는 표준 밝기에 대한 정보를 얻기 위한 것으로서, 백라이트의 초기 밝기 값을 인식하며, 이를 위해 하부의 백라이트 차단 테이프를 제거해야 한다. 이와 같은 방법을 이용하여 제품의 시작과 동시에 광 센서의 암전류와 감지도에 대한 정보를 알 수 있는 것이다. 두 가지 정보를 활용하여 보정하는 구체적인 회로 기법에 대해서는 추후에 설명하도록 하겠다.

물론 서로 다른 패널의 백라이트 간에도 편차가 존재하지만, 이는 일반적으로 수 % 이내이다. 또한, 각 패널의 백라이트 편차를 고려하여 광 센서가 보정되는 것이므로, 제품 관점에서는 외부 환경과 백라이트의 상대적인 차이를 반영하게 되어 특별한 문제가 없다.

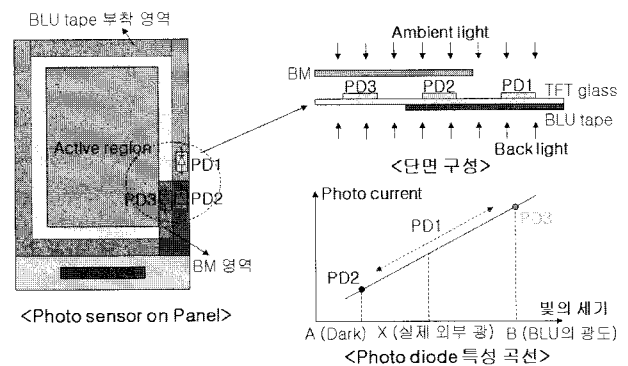


그림 5. 백라이트를 이용한 start up 보정
Fig. 5. Start up correction with backlight unit.

2. Time-to-digital

광 센서의 출력 전류를 디지털 값으로 변환하기 위해서 가장 일반적이고 쉽게 사용할 수 있는 방법으로 그림 6과 같은 time-to-digital 방법이 있다. 광 센서로부

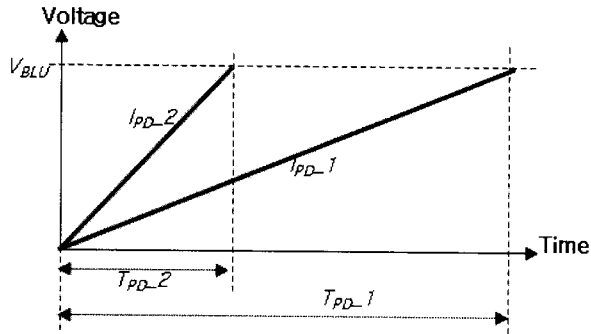


그림 6. Time-to-digital 방법을 설명하는 타이밍도
Fig. 6. Timing diagram of time-to-digital method.

터 얻어지는 전류(I_{PD})를 적분하면서, 이 값이 기준 전압(V_{BLU})에 도달하기 위한 시간(T_{PD})를 측정하는 방법이다. 두 가지 광 전류($I_{PD1} < I_{PD2}$)에 대한 적분 예를 그림 6에 나타내었다. 이 때, T_{PD} 값은 아래와 같은 식으로 주어지며, 광 전류의 크기에 반비례한다. 식 (1)에서 C_{INT} 는 적분 캐패시터의 용량을 나타낸다.

$$T_{PD} = V_{BLU}C_{INT}/I_{PD} \quad (1)$$

광 센서의 잡음은 일반적으로 광자 잡음이 주를 이루는데, 이 경우 적분 시간이 길수록 신호 대 잡음 비가 유리하므로,^[7] 신호 전류를 적분함과 동시에 아날로그-디지털 변환을 수행하는 것은 매우 바람직하다. 또한, 작은 신호에 대해서는 적분 시간을 극대화 할 수 있고, 큰 신호에 대해서는 적분 시간이 작아서 전류-전압 변환 이득을 줄일 수 있다. 따라서 신호 대 잡음 비 뿐만 아니라 동작 범위(dynamic range) 특성도 크게 향상된다. Time-to-digital 방법은 시간을 희생하여 변환의 정확도를 향상시킬 수 있는 방법으로, 신호취득 주기가 느린 경우에 매우 적합하다. 본 논문에서 제안하는 회로의 응용처는 일반적으로 100Hz 정도의 취득 주기를 요구한다.

Time-to-digital 방법은 전류 신호를 전압 형태로 변경하기 위한 적분기, 적분 값을 기준 값과 비교하기 위한 비교기, 비교기의 출력 값이 바뀌는 시점을 인식하기 위한 카운터 등을 사용하여 간단하게 구현이 가능하다. 따라서, LTPS TFT를 이용한 회로 구현에 매우 적합하다.

3. Dual slope 보정

앞에서 설명한 time-to-digital 방법을 이용하여 start up 보정을 구현하기 위해, 새로운 dual slope 보정 방법

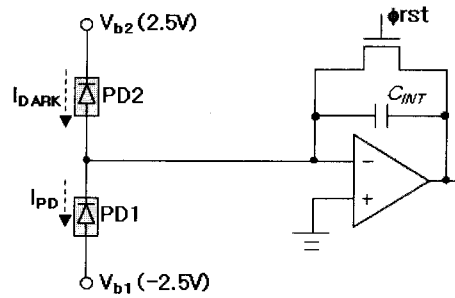


그림 7. 아날로그 뺄셈 구현
Fig. 7. Simple circuit for analog subtraction.

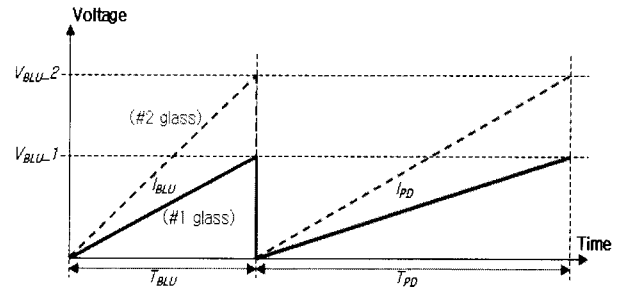


그림 8. Dual slope 보정을 위한 타이밍도
Fig. 8. Timing diagram of dual slope correction.

을 제안한다. 이점 보정을 구현하기 위해서 디지털 뺄셈과 나눗셈을 이용할 수도 있으나, LTPS TFT를 이용하여 복잡한 디지털 동작을 구현하는 것은 매우 어렵다. 따라서 적용이 용이하고 간단한 아날로그 뺄셈과 나눗셈을 이용하여 이점 보정을 구현하고자 한다.

먼저, 그림 7에 아날로그 뺄셈을 위한 회로도도를 나타냈다. 실제 적분기에는 $I_{PD} - I_{DARK}$ 가 입력되므로, 암전류를 제외한 광 전류 성분만 적분할 수 있다.

이와 더불어 아날로그 나눗셈을 실행하여 감지도를 보정하기 위한 방법으로, dual slope 보정 방법을 제안하고, 이를 그림 8에 나타내었다. 제품의 시작과 동시에 백라이트는 정해진 레벨의 밝기를 갖는다. 이 후, 정해진 시간 T_{BLU} 동안에 백라이트를 감지하는 광 센서의 전류를 적분한다. 그림 8에 나타낸 것과 같이, 각 패널의 광 센서 특성에 따라 최종 적분 값 V_{BLU} 가 다르게 나타날 것이다. 광 센서의 감지도를 k 라고 하면, V_{BLU} 는 아래 식으로 주어지며, 이 때 L_{BLU} 는 백라이트 밝기의 초기 값을 의미한다.

$$V_{BLU} = T_{BLU}(kL_{BLU})/C_{INT} \quad (2)$$

이렇게 얻어진 V_{BLU} 는 표준 밝기에 대한 광 센서의 특성을 반영한다. 제품의 응용에서 백라이트의 밝기는

초기 이후에 계속 바뀌므로, V_{BLU} 값은 따로 저장해두어야 한다.

다음으로, time-to-digital 방법을 이용하여 외부 광 정보를 디지털 값으로 변환한다. 즉, 외부 광을 감지하는 센서의 전류 I_{PD} 를 적분하고, 이 적분 값이 V_{BLU} 에 도달하기 위한 시간 T_{PD} 를 측정한다. 그림 8에 나타낸 바와 같이, 비록 각 광센서의 특성 차이로 인해 적분 기울기가 다르게 나타나도, 기준 값 V_{BLU} 가 이를 반영하여 설정이 되었기 때문에, 동일한 외부 광에 대한 최종 결과 값은 광 센서에 관계없이 동일하다. 외부 광의 밝기를 L_{AMB} 라고 하면, T_{PD} 값은 식 (1)로부터 아래 식으로 주어진다.

$$T_{PD} = V_{BLU}C_{INT}/(kL_{AMB}) \quad (3)$$

식 (2)를 식 (3)에 대입하면, 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$T_{PD} = T_{BLU}L_{BLU}/L_{AMB} \quad (4)$$

즉, 외부 광에 대한 최종 정보인 T_{PD} 값은 광 센서의 감도와 무관하게 주어지며, 백라이트 밝기와 외부 밝기의 상대적인 비율에 의해 결정된다.

4. 신호취득 회로 구현

그림 9과 그림 10에 dual slope 보정을 위한 신호취득 회로의 회로도 및 타이밍도를 각각 나타내었다. 그림 9의 회로는 크게 적분기, 비교기, 카운터 및 디지털-아날로그 변환기로 나눌 수 있다. 적분기의 입력단은 세

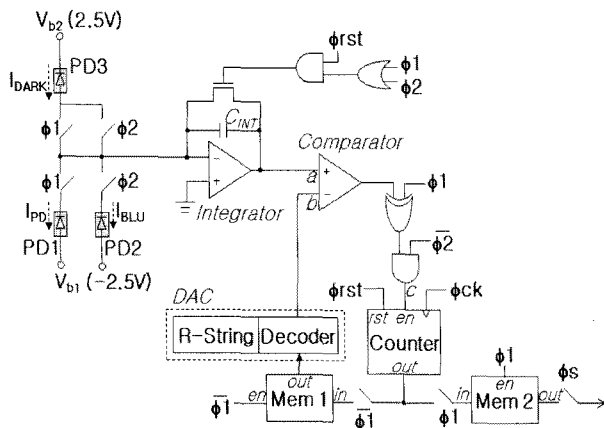


그림 9. Dual slope 보정을 위한 신호취득 회로
Fig. 9. Readout integrated circuit for dual slope correction.

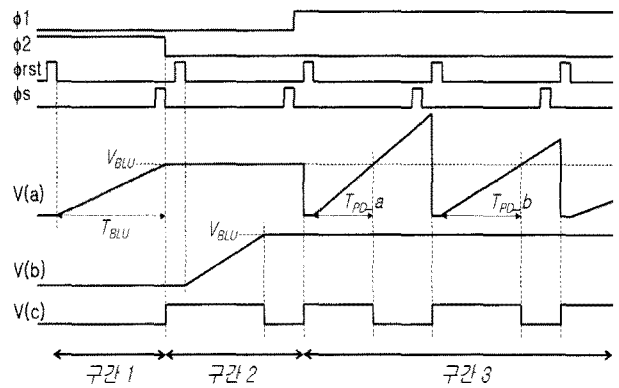


그림 10. 그림 9의 회로에 대한 타이밍도
Fig. 10. Timing diagram of the circuit described in Fig. 9.

개의 광 센서로 구성되며, 암전류 성분을 제거하기 위한 아날로그 뺄셈 구조로 되어 있다. 즉, $\phi 1$ 신호가 활성화 되면 ' $I_{PD} - I_{DARK}$ '가 입력되고, $\phi 2$ 신호가 활성화 되면 ' $I_{BLU} - I_{DARK}$ '가 입력된다. 적분기는 광 센서의 DC 바이어스를 결정하고, 리셋 후에 광 전류를 적분하여 전압으로 변환한다. 비교기와 카운터는 time-to-digital 동작을 구현하기 위해서 사용한다. 마지막으로, 디지털-아날로그 변환기는 저항 배열과 디코더를 이용하여 구성했으며, 기준 값 V_{BLU} 를 결정하고 유지하는 데 사용한다.

그림 10의 타이밍도를 이용하여 그림 9의 회로에 대한 동작을 설명하겠다. LTPS TFT를 이용하여 복잡한 타이밍 회로를 구현하기는 매우 어렵기 때문에, 제어신호를 최대한 간단하게 하여 기존 소스 드라이버 IC의 컨트롤 신호를 그대로 사용할 수 있도록 했다. 제어신호는 모두 네 개($\phi 1, \phi 2, \phi_{rst}, \phi_s$)이며, 동작 구간은 $\phi 1$ 과 $\phi 2$ 신호에 의해 크게 세 구간으로 나뉜다. 첫 번째 구간에서 $\phi 2$ 가 활성화되고, 적분기의 입력은 백라이트에 대한 광 전류가 된다. ϕ_{rst} 신호를 통해 적분기를 리셋한 후, 입력을 일정 시간 T_{BLU} 동안 적분하면, 적분기의 출력 $V(a)$ 는 각 광 센서의 감지도를 반영하는 V_{BLU} 값이 된다. 두 번째 구간에서는 $\phi 1$ 과 $\phi 2$ 신호가 모두 비활성화 상태로 되어, 적분기의 출력은 계속 V_{BLU} 값을 유지한다. 두 번째 구간 초기의 비교기 출력은 논리 '1' 값이므로, 카운터의 enable 단자 $V(c)$ 는 논리 '1' 값을 갖는다. 따라서, ϕ_{rst} 에 의한 초기화 이후, 카운터의 출력이 ϕ_{ck} 에 따라 증가하고, 이 값은 Mem1에 기록된다. Mem1의 출력은 디지털-아날로그 변환기를 지나서 비교기의 또 다른 입력 단자 b에 영향을 준다. 그림 10에 나타낸 것과 같이 $V(b)$ 값은 카운터 출력에 따라 점

점 증가하며, V(b)가 V(a) 값 보다 커지면 V(c)가 논리 '0'이 되어 증가를 멈춘다. 즉, Mem1에는 DAC의 출력이 V_{BLU}가 되도록 하는 디지털 값이 저장되고, V(b) 값은 V_{BLU} 값으로 계속 유지된다.

세 번째 구간에서는 저장된 V_{BLU} 값을 기준으로 하여 time-to-digital 방법을 통해 외부 광 정보를 디지털 신호로 변환한다. ϕ_1 이 활성화 되면서, 적분기에는 외부 광에 대한 광 전류가 입력된다. 적분 값이 증가하면서 카운터의 출력도 함께 증가하고, 적분 값이 V_{BLU} 보다 커지는 순간에 카운터는 동작을 멈춘다. 카운터의 출력 값은 Mem2에 전달되고, 최종 디지털 정보는 ϕ_s 신호를 통해 출력으로 전달된다.

LTPS TFT를 이용한 회로 설계에서 무엇보다 중요한 것은 회로의 신뢰성이고, 이를 위해서는 회로 구조가 복잡하지 않아야 한다. 그림 9과 그림 10를 통해 보인 바와 같이, 매우 간단한 회로도 와 타이밍으로 dual slope 보정 방법을 구현할 수 있었다.

IV. 결 과

신호취득 회로를 설계하기 위해 top 게이트 구조의 1-poly 1-metal LTPS TFT 공정을 사용했다. TFT의 최소 게이트 길이는 4 μ m이며, 표 1에 회로 설계에 필요한 주요 파라미터를 요약했다. 시스템의 감도(sensing resolution), 동작 범위(dynamic range), 감지 속도(data

표 1. 신호취득 회로의 주요 파라미터와 특성
Table 1. Design specifications and parameters of the readout circuit.

Process	4 μ m 1-poly 1-metal top-gate LTPS TFT process
Threshold voltage (typical)	NTFT : +1.5V PTFT : -1.5V
Mobility (typical)	NTFT : 120Vs/cm ² PTFT : 80Vs/cm ²
Sensing resolution	4 levels per decade
Dynamic range	10 ~ 10,000 lx (=60dB)
Data acquisition rate	100 times/sec
Integration time	10ms
Integration capacitor	4pF
Output voltage swing of analog amplifier (max)	4V
Timing resolution of ϕ_{ck}	18.8 μ s
Power consumption (without photo sensor)	< 60 μ W

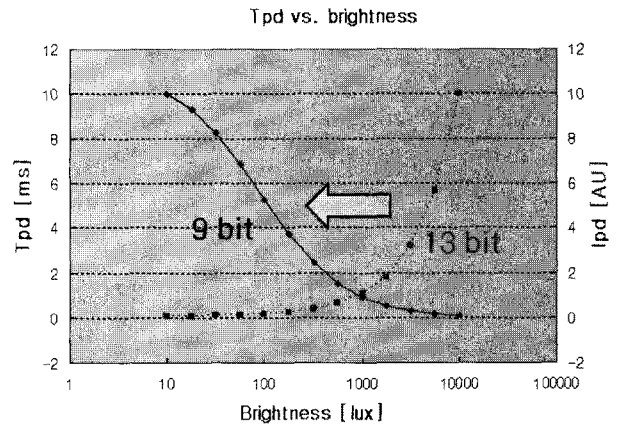


그림 11. Time-to-digital 방법에 의한 동작 범위 향상
Fig. 11. Dynamic range enhancement with time-to-digital method.

acquisition rate) 등은 일반적인 응용에서 요구하는 값을 사용했다. 주어진 요구 값, 소스 드라이버 IC의 가용 전압 및 타이밍 등을 고려하여 설계했으며, 최종 main clock ϕ_{ck} 의 주기는 18.8 μ s로 설정했다. 이 주기 값은 충분히 여유 있는 값으로, ϕ_{ck} 를 더 빠르게 하여 시스템의 감도 등을 향상시킬 수 있다. 광 센서를 제외한 신호취득 회로의 전력 소모는 최대 60 μ W 이하이며, 이는 전체 LCD 패널의 전력 소모에 비해 매우 작은 값이다.

그림 11은 time-to-digital 방식을 사용하여 동작 범위를 향상시킬 수 있음을 설명한다. 그림 11의 x 축은 외부 광의 세기를 나타내며 로그 스케일을 갖는다. 그림 4에서 설명한 바와 같이, 그림 11에 점선으로 나타난 광 전류 I_{PD}는 지수 함수의 형태를 갖기 때문에, 빛

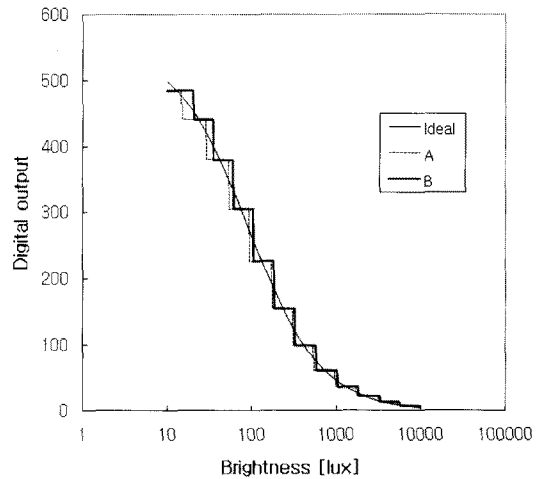


그림 12. 빛의 세기에 따른 신호취득 회로의 최종 디지털 출력
Fig. 12. A digital output of the readout circuit vs. ambient brightness.

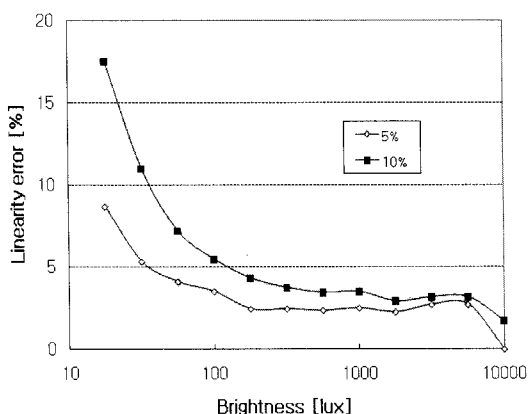


그림 13. 신호취득 회로의 최종 디지털 출력에 대한 선형 오차
 Fig. 13. A linearity error of the readout circuit vs. ambient brightness.

의 세기가 약한 경우에 대해서 아날로그-디지털 변환이 어렵다. 표 1에서 제시한 시스템의 감도 조건을 만족하려면, 13 bit 이상의 선형 아날로그-디지털 변환기를 사용해야 한다. 이 문제를 해결하기 위해 로그 아날로그-디지털 변환기를 사용할 수도 있으나, LTPS TFT를 사용하여 원하는 정확도를 얻기가 쉽지 않다. 다른 해결 방법으로서 Time-to-digital 방식을 사용하면, 변환해야 할 아날로그 값이 시간(T_{PD})으로 바뀌어 그림 11의 실선처럼 나타난다. 이는 I_{PD} 에 비해 보다 선형적인 결과를 나타내며, 동일한 시스템 감도를 얻기 위해 9 bit 정도의 선형 아날로그-디지털 변환기를 사용하면 된다. 바꾸어 말하면, 동일한 성능의 아날로그-디지털 변환기를 사용하여, 보다 나은 시스템 감도를 얻을 수 있기 때문에, 동작 범위 특성이 더 뛰어나다고 말할 수 있다.

그림 12는 빛의 세기에 따른 신호취득 회로의 최종 디지털 출력 특성을 나타낸다. 이 때, 서로 다른 LCD 패널의 센서 간 특성 편차는 최대 100%라 가정하고, 같은 LCD패널 내의 센서 간 특성 편차는 최대 5%라 가정했다. 그림 12의 이상적인 곡선은 디지털 변환 이전의 값으로 그림 11의 실선(T_{PD})과 같다. 이것을 9 bit 아날로그-디지털 변환기를 이용하여 변환한 후, 입력의 10배수 구간마다 4 단계로 등분하면, A 또는 B 곡선과 같은 결과를 얻을 수 있다. A와 B 곡선의 차이는 광 센서의 패널 간 편차를 나타내며, 이 편차를 100%라고 가정했음에도 불구하고, 별다른 검사 설비 없이 기대하는 보정 효과를 얻을 수 있다.

그림 13에 신호취득 회로의 최종 디지털 출력에 대한 선형 오차를 나타냈다. 광 센서의 패널 간 편차는 앞에

서와 마찬가지로 100%로 가정하고, 패널 내 편차를 각각 5%와 10%로 가정한 결과이다. 원하는 입력 범위의 각 레벨에서 18% 이하의 선형 오차를 보이고 있다.

V. 결 론

주변 밝기에 따라 LCD 모듈의 백라이트를 조정하는 응용을 위해, LCD 패널에 광 센서와 신호취득 회로를 집적하는 연구를 진행했다. 이를 위해 LTPS TFT 공정을 이용하여 광 센서를 제작하고 신호취득 회로를 설계했다. 광 센서의 특성이 LCD 패널마다 크게 다르기 때문에 이를 위한 start up 보정 개념을 제안하였다. 광 전류의 디지털 변환에 적합한 time-to-digital 방법과 start up 보정 방법을 효율적으로 구현하기 위해, dual slope 보정 방법을 제안하였다. LTPS TFT 공정으로 설계하기에 적합하도록, 이를 간단한 회로 구조와 타이밍으로 구현하고 검증하였다. 검증 결과를 통해 알 수 있듯이, 별도의 검사 설비가 없어도 광 센서의 특성 보정이 가능하기 때문에, 제품의 비용과 생산 시간을 크게 줄일 수 있다. 또한, 일반적인 소스 드라이버 IC를 사용하여 부가적인 동작이 가능하므로, 제품의 최종 비용뿐만 아니라 제품 개발에 필요한 노력 측면에서 크게 이득을 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] M. Karube, et al., "Low power consumption for circuits integration of low temperature poly-Si TFT-LCDs", *IDW Digest*, pp.1229-1230, 2005.
- [2] T. Nishibe, and H. Nakamura, "Value-added circuit and function integration for SOG base on LTPS technology", *SID symposium Digest*, pp. 1091-1094, 2006.
- [3] N. Chang, I. Choi, and H. Shim, "DLS: Dynamic backlight luminance scaling of liquid crystal display", *IEEE trans. on VLSI systems*, vol. 12, no. 8, pp. 837-846, 2004.
- [4] K. Maeda, et al., "The system-LCD with monolithic ambient light sensor system", *SID symposium Digest*, pp. 356-357, 2005.
- [5] F. Matsuki, et al., "Integrated ambient light sensor in LTPS AMLCDs", *SID symposium Digest*, pp. 290-293, 2007.
- [6] H. S. Park, T. J. Ha, M. K. Han, D. H. Woo, K. S. Shin, and C. W. Kim, "A new monolithic

polysilicon ambient light sensor system with wide dynamic range for active-matrix displays by employing an adaptive sensitivity control method”, *SID symposium Digest*, pp. 716-719, 2008.

- [7] D. H. Woo, S. G. Kang and H. C. Lee, “Novel current-mode background suppression for 2-D LWIR applications”, *Circuits and Systems II, IEEE Trans. on*, Vol. 52, No. 9, pp. 606-610, 2005.

— 저 자 소 개 —



우 두 형(정회원)

1999년 연세대학교

전자공학과 학사 졸업.

2001년 한국과학기술원

전자전산학과 석사 졸업.

2005년 한국과학기술원

전자전산학과 박사 졸업.

2005년~2008년 삼성전자 LCD총괄 책임연구원

2008년~현재 가톨릭대학교 정보통신전자공학부

전임강사

<주관심분야 : 아날로그 VLSI 설계, 신호취득회로, AMOLED/AMLCD 구동회로>