실험물리학 2

11주차 예비 레포트

<디지털 논리회로와 광센서>

이름: 김나현

학번: 20191286

분반: 2분반

담당 교수님: 정명화 교수님

담당 조교님: 소현경 조교님

제출일자: 2020년 12월 2일 수요일

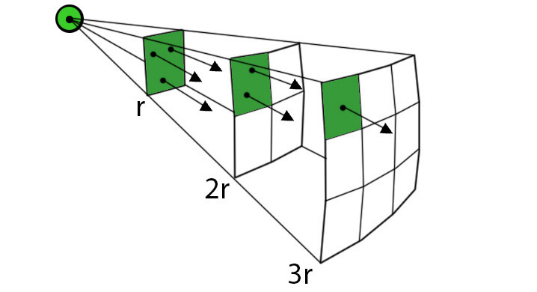
1. 실험 목표
2. CdS 광센서의 기본적인 특성을 알아본다.
3. DAC를 이용하여 조도계를 만들어 본다.
4. 실험 이론
5. CdS 광센서

광센서(photo-sensor)는 빛 에너지를 검출하여 전기적 신호로 바꾸는 역할을 하는 소자를 의미하고, 광 검출기라는 이름으로도 불린다. 광량을 직접적으로 측정하기 보다는 빛 에너지로 인해 발생한 기전력을 전기 발생량으로 측정하거나 빛 에너지의 크기에 따라 달라지는 저항이 전류의 흐름에 미치는 영향을 전기 제어량으로 측정하는 역할을 한다.

광센서는 검출 형태인 열 검출 형태, 광양자적 검출 형태, 광 화학적 검출 형태에 따라 구분이 된다. 열 검출 형태의 광센서는 빛의 입자성보다는 복사에너지의 열적 흡수 효과에 의한 물리적 변화를 측정하는 것이고, 광 화학적 검출 형태의 광센서는 빛 입사에 의해 물질이 화학반응을 일으키는 것을 관측하는 것이다. 반면, 광양자적 검출 형태의 광센서는 또 크게 광 전자 방출형, 광 전도형, 광 기전력형으로 구분이 되는데 본 실험에서 사용할 CdS 광센서는 이 중 광 전도형 광센서에 해당된다.

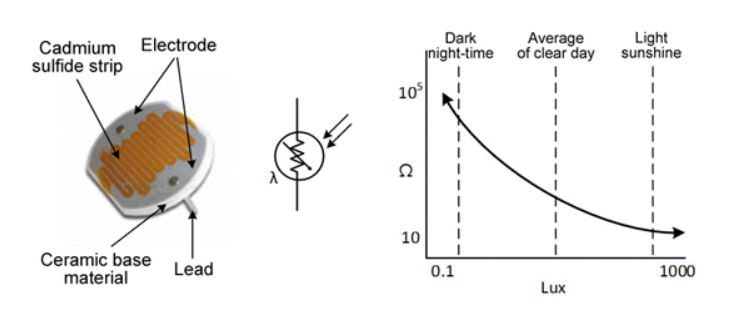
광 전자 방출형 광센서는 빛 입사에 의해 진공관에서 광자가 표적에 출동하여 전자가 방출된다는 아인슈타인의 photoelectric effect(광자 효과)를 이용한 것으로, 주로 광자수에 비례한 전자, 전류를 출력을 검출한다. 광 전도형 광센서는 빛 입사에 의해 전기 전도도가 증가되는 원리를 이용한 것이고, 마지막으로 광 기전력형 광센서는 빛 입사에 의해 반도체의 pn 접합에서 기전력이 발생하는 원리를 이용한 것이다.

먼저, CdS 광센서에 대해 자세히 알아보기 전에 몇 가지 용어에 대한 정리를 하겠다. 조도(illumination)란 물체 표면의 단위면적이 단위시간동안 받는 빛의 양을 의미하고, 광원으로부터의 거리의 제곱에 반비례한다.



<그림 a> 광원으로부터 거리의 제곱에 반비례하는 빛의 양 (조도의 특성)

조도계(illuminometer)란 이러한 조도를 측정하는 측광기로, 앞서 설명한 다양한 검출 형태를 갖는 광센서 중 광양자적 검출 형태의 광센서를 통해 빛의 입사에 의해 발생하는 전류의 크기를 측정하고 검출하는 것을 의미한다.

CdS 광센서는 빛의 양을 측정하는 광센서로, 조도계의 역할을 한다. 이 광센서를 구성하는 주요 재료는 황화카드뮴이므로 카드뮴의 원소기호인 Cd와 황의 원소기호인 S를 합쳐서 CdS 광센서라고 부르게 되었다. 빛에 따라 저항 값이 변하며 빛을 받으면 내부 저항이 감소하고, 빛이 없으면 반대로 내부 저항이 급격하게 증가하는 특성을 보인다. CdS 광센서는 빛의 양에 따라 수 kΩ부터 수십 kΩ까지 다양하게 변화한다.

<그림 b> CdS 광센서의 구조, 기호 그리고 조도에 따른 저항 특성

CdS는 주로 550 nm~650 nm 파장 범위의 빛을 감지하는 데에 사용되며 조도가 0.1 Lux~1000 Lux 사이에서 저항의 크기가 선형적인 특성을 보이고, -20 ℃~70 ℃에서 작동한다.

첫 번째 광센서 특성 측정 실험은 빛의 조도에 따라 저항이 변하는 CdS 광센서의 특성을 알아보는 실험으로, CdS 광센서와 전압원으로 구성된 간단한 회로에 CdS 광센서의 전압을 측정하기 위해 병렬로 전압계를 연결하여 CdS 광센서의 저항을 계산하면 된다. 이때, 앞에서 빛의 조도가 0.1 Lux~1000 Lux 사이에서 저항의 크기가 선형적인 특성을 보인다고 예측하였는데 실제로도 그러한지를 확인해본다.

두 번째 광센서 응용회로 실험에서는 CdS 광센서와 논리회로를 이용하여 일정한 정도의 조도를 기준으로동작하는 스위치 회로를 구성한다. 이때 CdS 광센서에 조사되는 광량에 따라 내부 저항의 크기가 달라지므로 분배되는 전압이 달라지게 된다. LED에 불이 들어오기 시작할 때의 가변 저항의 값을 측정하여 보고 A점에서의 신호, 즉 LED에 인가되는 신호는 어떻게 행동하는지를 오실로스코프로 관찰해본다.

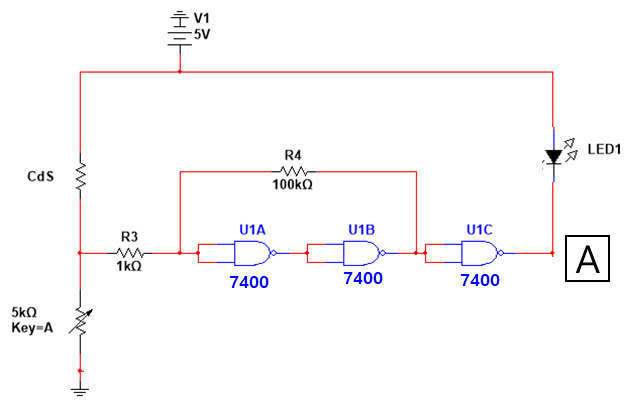
마지막으로 디지털 조도계 회로 실험에서는 CdS 셀, 2N3906, OP AMP, 74191, 7447A, MC1408, 7-segment 등으로 이루어진 디지털 조도계 회로를 구성한 후, CdS 셀에 조사되는 광량에 따라 2N3906 PNP형 트랜지스터 소자를 on, off하며 카운터의 동작을 조절하게 한다. 카운터에 의해 출력된 신호는 MC1408의 D/A 컨버터 소자에 입력되어 아날로그 신호로 출력되고, 7-segment와 연결되어 육안으로 신호를 관찰할 수 있게 한다.

1. 실험 장비 및 재료
2. 실험 장비
3. NI ELVIS
4. 오실로스코프: PHILIPS 60 MHz Digital Storage Oscilloscope PM3335
5. 함수발생기: EZ FG-8002
6. DC power supply
7. 실험 재료
8. 저항, 커패시터
9. 7400, 7447, 74191
10. MC1408
11. 7-segment
12. 741
13. Cds 광센서
14. 실험 방법
15. 광센서 특성 측정

CdS 셀은 소자에 입사하는 빛의 조도에 따라 저항의 크기가 변하는 소자이다. 이 소자에 빛을 다양하게 비춰주면서 저항의 크기를 측정해본다.

1. 광센서 응용회로

CdS 셀과 논리회로를 이용하면 일정 정도의 조도를 기준으로 동작하는 스위치를 만들 수 있다.

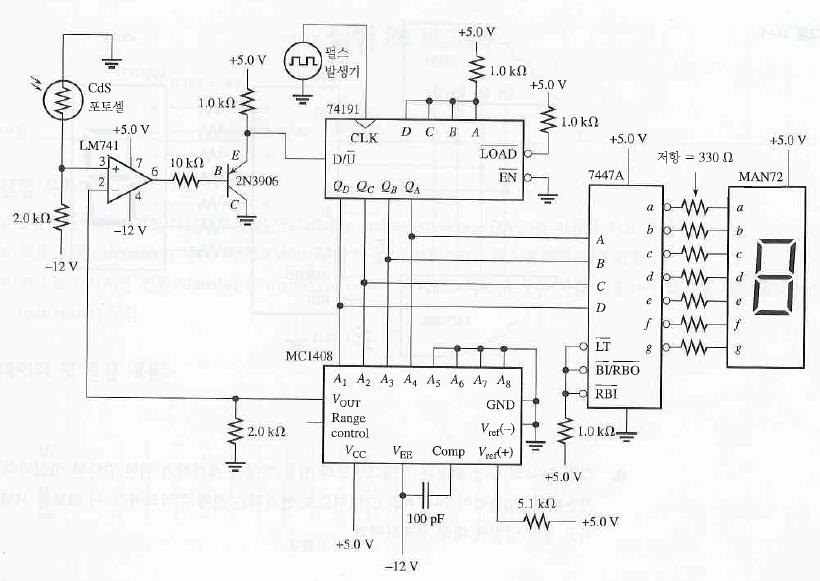
아래 <그림 1>과 같은 회로를 구성하였을 때, CdS 셀에 조사되는 광량에 따라 분배되는 전압이 달라지므로 빛을 비춰주었을 때 LED가 켜지는 가변저항의 값을 찾아본다. 이때, A점에서 신호가 어떻게 행동하는지 알기 위해 오실로스코프를 이용하여 관찰한다.

<그림 1> 광센서-스위치 회로

1. 디지털 조도계

<그림 2>의 회로는 D/A 변환기를 이용하여 A/D 변환기의 동작을 추적하는 원리를 이용한 디지털 조도계이다.

실험을 위해 아래 <그림 2>와 같이 회로를 구성한 후, 카운터의 D/U 단자에 5 V를 연결하여 0부터 16까지 다운 카운트 상황으로 설정한다. 또한 펄스 발생기는 1 Hz의 사각파, Vpp 5 V, DC offset 2.5 V로 설정한다.

기본 셋팅이 끝났으면 아래 <그림 2>의 회로에서 광센서에 빛을 비춰주었을 때와 빛을 차단하였을 때 OPAMP의 3번 단자의 전압이 어떠한 값을 갖는지를 관찰한다. 이때, MC1408의 Vout의 출력전압을 관찰하여 출력전압의 범위가 어느 정도인지도 파악한다. 그 다음, MC1408의 출력전압과 OPAMP의 전압의 범위가 비슷하지 않다면, 이를 맞추어 주기 위해 관련된 저항(기본적으로 2 kΩ의 저항 2개를 사용하였다.)을 변경한다. MC1408의 출력은 전류이므로 연결된 저항에 비례하게 범위가 증가할 것이고, OPAMP에 입력되는 전압은 일반 저항과 광센서의 저항의 전압분배에 의한 것이므로 일반 저항의 크기에 반비례할 것이다. 전압 범위가 적절하게 조절되었다면 카운터의 D/U 단자를 트랜지스터와 연결한다. 마지막으로 손으로 광센서를 가렸을 때와 가리지 않았을 때 7-segment에서 어떠한 일이 발생하는지를 관찰해본다.

<그림 2> 디지털 조도계

1. 참고문헌

-Earl Gates, 전기전자공학, 1판, 북스힐, 2018년, pg. 173-179

-Alan B. Marcovitz, Introduction to logic design, 3판, McGraw-Hill Higher Education, 2009년, pg. 238- 246, 424-431

실험물리학 2

11주차 결과 레포트

<디지털 논리회로와 광센서>

이름: 김나현

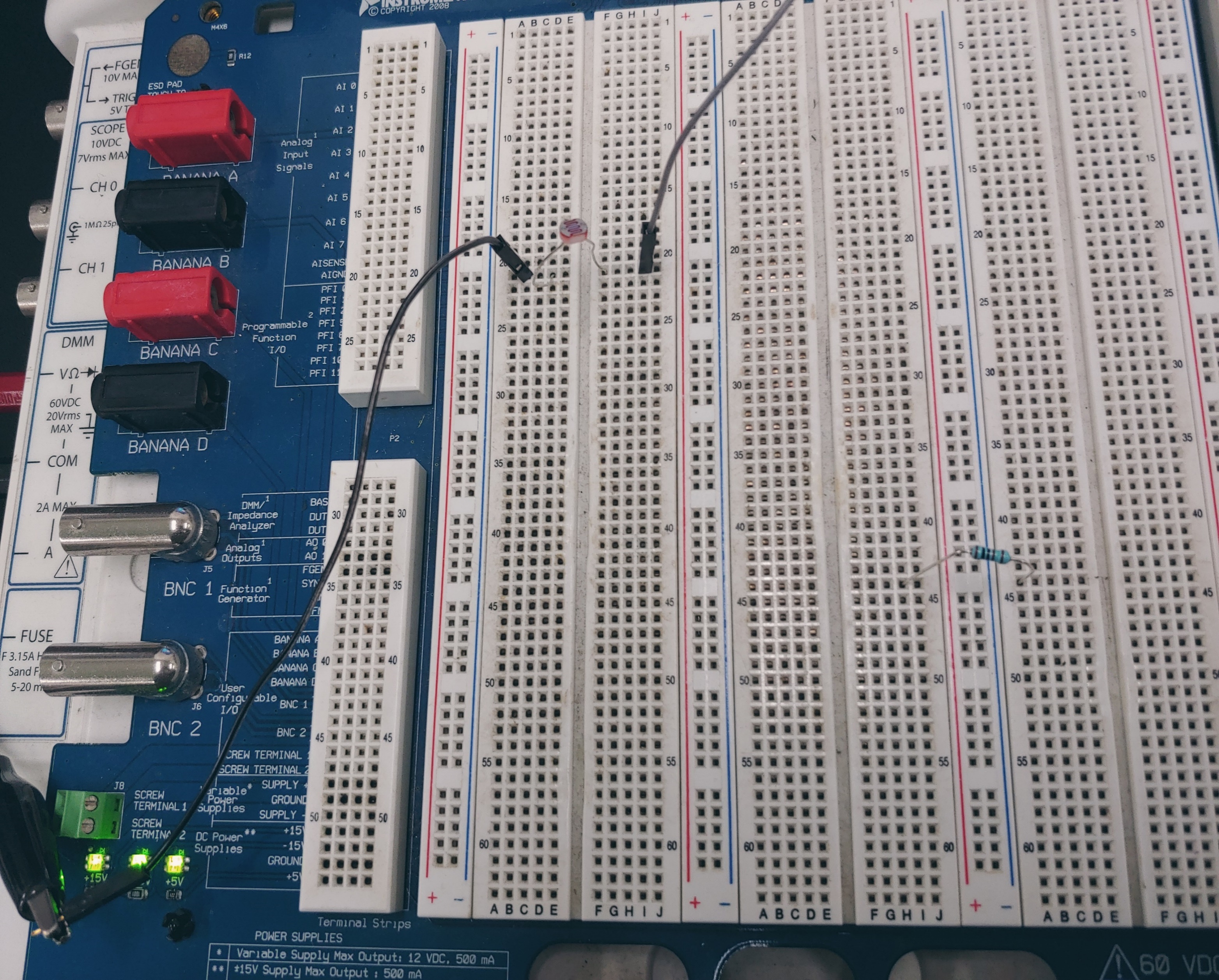
학번: 20191286

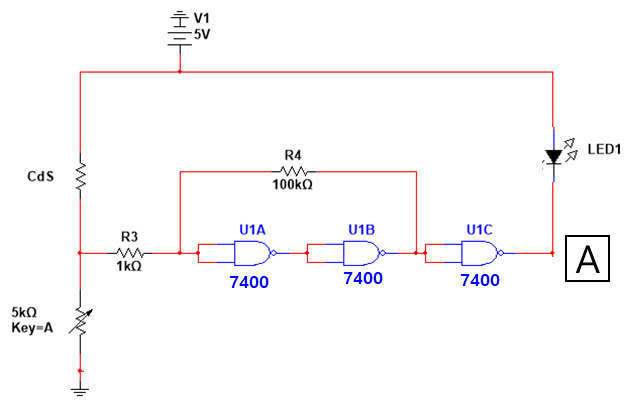
분반: 2분반

담당 교수님: 정명화 교수님

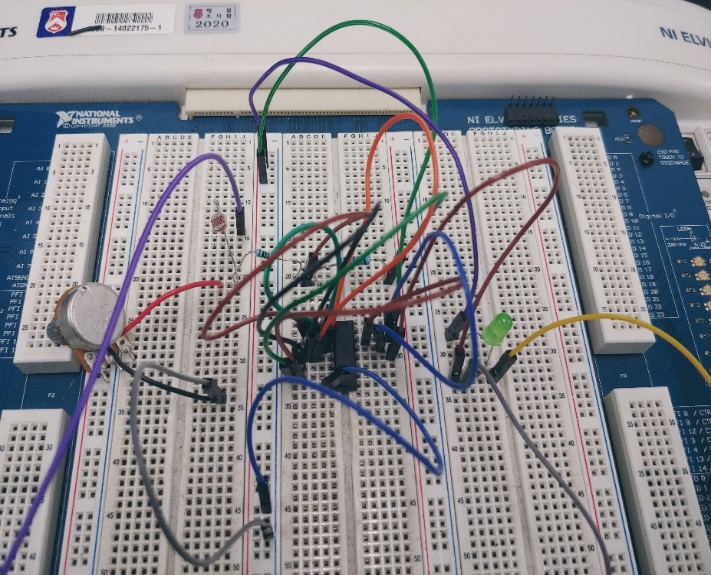
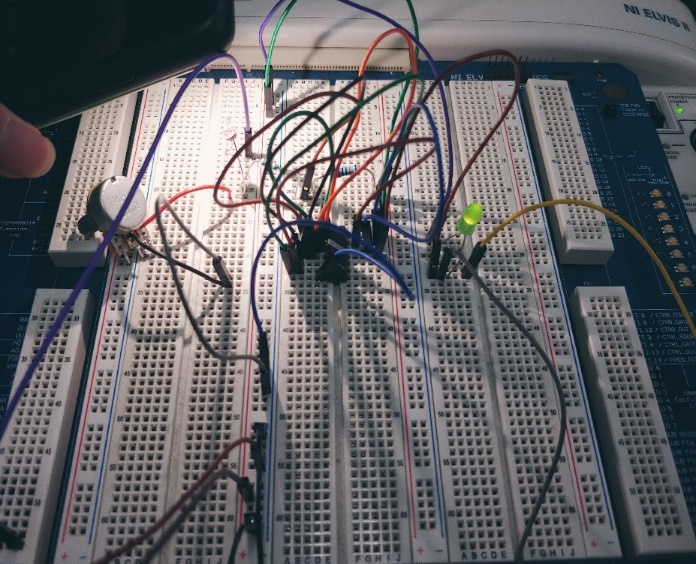
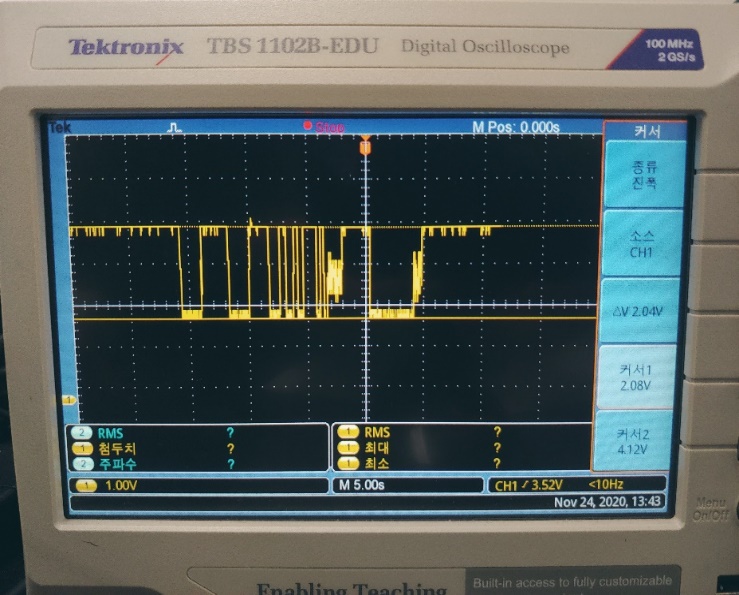
담당 조교님: 소현경 조교님

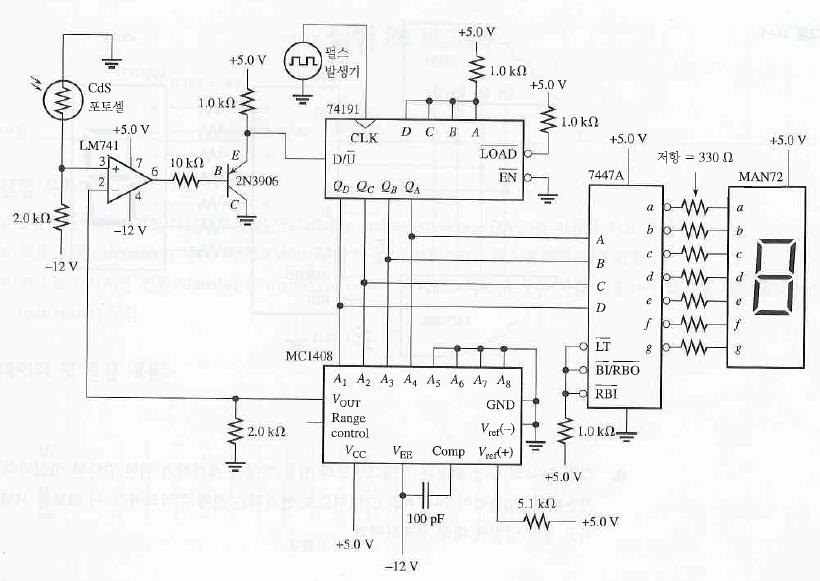
제출일자: 2020년 12월 9일 수요일

1. 실험 결과
2. 광센서 특성 측정
3. 본 실험은 입사하는 빛의 조도에 따라 저항의 크기가 변하는 CdS 소자의 특성에 대해 알아보기 위해 여러 상황에 따른 저항의 크기를 측정해보는 실험이다.
4. <그림 1> CdS 셀
5. <표 1> 상황에 따른 CdS 셀의 저항 크기
6. 광센서 응용회로
7. CdS 셀과 논리회로를 이용하여 아래 <그림 2>의 회로를 구성하여 일정한 정도의 조도를 기준으로 동작하는 스위치를 만들고, LED가 켜질 때의 가변 저항의 값을 알아보는 실험을 하였다.



<그림 2> 광센서-스위치 회로

1. <그림 2-1> <그림 2>의 회로를 구성한 모습
2. <그림 2-2> <그림 2>의 회로에서 플래시 라이트를 추가적으로 조사하였을 때 불이 켜지는 LED의 모습
3. <그림 2-3> 오실로스코프를 통해 관찰한 스위칭 동작을 하는 A점에서의 신호
4. 스위칭 동작을 하도록 하는 CdS 셀의 가변 저항의 크기: 308 Ω
5. 스위칭 동작을 하는 점 A의 신호는 0 V와 2 V의 전압을 갖는다.
6. 디지털 조도계
7. <그림 3>의 디지털 조도계 회로는 광센서에 조사되는 빛의 정도에 따라 7-segment에서 나타나는 숫자가 어떻게 달라지는지를 확인하기 위한 회로이다. CdS 셀에 입사되는 빛의 세기에 따라 저항의 크기가 달라지므로 OP AMP의 반전 입력 단자에 인가되는 전압의 크기가 달라지고, OP AMP는 비교기로, 트랜지스터는 스위치로 동작하면서 74191의 D/U’에 입력되는 값을 결정하게 된다. 카운터와 DAC에 의해 영향을 받은 V2의 크기가 달라지면서 V1과 V2가 서로 역전을 반복하며 결국엔 7-segment가 나타내는 숫자가 정해지게 된다.



<그림 3> 디지털 조도계

1. <표 2> 조도에 따라 달라지는 7-segment가 나타내는 숫자



1. 실험 분석
2. 광센서 특성 측정

CdS 셀은 <그림 1>과 같이 생겼고, 소자에 입사하는 빛의 조도가 클수록 저항의 크기가 작아지는 소자이다. <표 1>을 보면 손으로 CdS 셀을 가렸을 때 소자의 저항의 크기가 약 18 kΩ이고, 일반 조명 아래서는 저항의 크기가 약 3 kΩ, 플래시 조명까지 비추었을 때는 저항의 크기가 약 1 kΩ 정도로 측정되었다는 것을 알 수 있다. 이 표를 통해, CdS 셀에 입사하는 광량이 크면 클수록 저항의 크기가 작아지고 광량이 작아지면 저항의 크기는 반대로 커지는 모습을 확인할 수 있다.

1. 광센서 응용회로

<그림 2>와 같은 회로를 구성한 후, 일반 조명 밑에서와 플래시 조명을 비추었을 때 각각 LED가 켜지는지, 켜지지 않는지를 관찰하였다. <그림 2-1>과 같이, 일반 조명 아래서는 회로를 LED에 빛이 들어오지 않았지만 <그림 2-2>와 같이, 플래시 조명을 비추었을 때는 LED가 빛을 내는 것을 확인할 수 있었다.

<그림 2-3>을 보면 스위칭 동작을 하는 점 A에서의 신호를 확인할 수 있는데 점 A에서의 전압은 오직 0 V와 2 V, 두 개의 값만을 가지기 때문에 ON, OFF로 동작하는 스위치와 같이 동작한다는 것을 알 수 있다. CdS 셀에 입사되는 빛의 양을 조절하면 LED가 커지거나 꺼지는 두 가지의 동작만이 일어나는데 이는 CdS 셀에 입사되는 빛의 양으로 인해 가변 저항의 크기가 미묘하게 달라지더라도 LED가 애매하게 켜지거나 꺼지는 일 없이 무조건 밝게 불이 들어오거나 아예 불이 들어오지 않는 두 가지의 상황으로만 나타나도록 회로를 구성하였기 때문이다.

다시 말해, CdS 셀의 저항의 크기가 308 Ω 이하에서는 무조건 LED에 불이 들어오고, CdS 셀에 입사되는 빛의 세기가 적어서 저항의 크기가 308 Ω보다 커지면 LED에는 불이 아예 들어오지 않는, 마치 LED 회로에 스위치를 설치한 것과 같이 동작한다는 의미이다.

1. 디지털 조도계

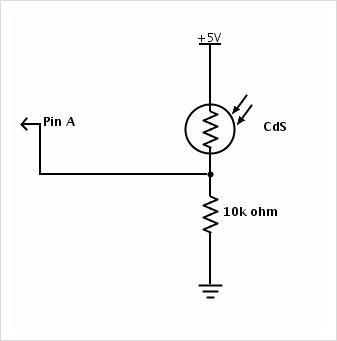
<그림 3>의 회로를 보면, CdS 셀에 입사되는 빛의 세기에 따라 해당 소자의 저항의 크기가 달라지므로 OP AMP의 반전 입력 단자에 인가되는 전압의 크기가 달라지게 된다. OP AMP에서는 반전 입력 단자에 인가되는 전압의 크기와 비반전 입력 단자에 인가되는 전압의 크기를 비교함으로써 두 전압 중 하나만을 출력하는 비교기와 같이 동작하게 되고, 이후 해당 전압 중 일부는 다음 소자인 트랜지스터의 베이스 전압으로 인가되게 된다. 베이스 전압에 의해 이미터의 전류의 흐름이 결정되고 0 V나 다른 크기의 전압만이 이미터에 걸리게 되어 트랜지스터는 스위치와 같은 역할을 하게 된다. 이 결과로 카운터로 동작하는 74191 IC의 D/U’에 0(Up)이나 1(Down)의 값이 입력되고 D/U’에 0이 입력되면 0000부터 1111로 하나씩 커지는 카운터로, 1이 입력되면 1111부터 0000으로 하나씩 작아지는 카운터로 동작하게 된다. 카운터의 출력이 7447A와 7-segment로 연결되면 출력 신호를 눈으로 확인할 수 있는 형태로 display하게 되고, MC1408, 즉 DAC로 연결되면 출력된 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환해 Vout 단자로 출력되게 되어 다시 OP AMP의 비반전 입력 단자로 인가되게 된다.

설명을 용이하게 하기 위해 OP AMP의 반전 입력 단자에 인가하는 전압의 크기를 V1, 비반전 입력 단자에 인가하는 전압의 크기를 V2라고 하자. 만약 V1이 V2보다 클 때, 74191의 D/U’에 1이 입력되어 다운 카운터로 동작하게 되고 Qd, Qc, Qb, Qa의 4비트 2진수 출력이 15부터 하나씩 감소해서 4가 됐을 때, V1의 크기보다 V2의 크기가 커진다고 가정하면 D/U’는 0이 되어 업 카운터로 동작하게 되어 74191의 4비트 2진수 출력이 다시 5로 커지게 되고 이때 다시 V1이 V2보다 커져서 다운 카운팅되어 4가 되므로 4와 5의 출력을 반복하게 되므로 74191의 출력 신호와 연결된 7-segment에서 4와 5를 반복해서 display하게 된다.

실제로 <표 2>를 보면 CdS 셀을 손으로 가렸을 때는 0과 1을 반복하고, CdS 셀에 일반 조명을 비추었을 때는 4와 5를, 플래시 조명까지 비추었을 때는 8과 9를 반복해서 display한다는 사실을 알 수 있다. V2의 크기는 CdS 셀에 영향을 받지 않지만 V1의 크기는 CdS 셀에 입사되는 빛의 세기, 즉 CdS 셀의 저항의 크기에 영향을 받으므로 <표 3>과 같이 7-segment가 나타내는 숫자가 다른 것이다.

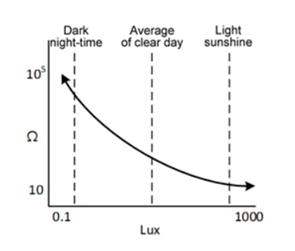
1. 토의
2. 광센서 특성 측정

본 실험에서 CdS 셀이 갖는 저항의 크기를 알기 위해서는 아래 <그림 a>와 같은 회로를 구성해야 한다. 이때, CdS 셀의 저항의 크기를 X kΩ이라고 가정하면 pin A에서 측정한 전압의 크기 V’는 이라는 식으로 계산할 수 있으므로 역으로 V’의 크기를 안다면 CdS 셀의 저항의 크기 X는 X=이라는 식으로 구할 수 있다.



<그림 a> 광센서의 저항을 알아보기 위한 회로

따라서, 본 실험에서도 손으로 CdS 셀을 가렸을 때, 일반 조명을 비추었을 때, 플래시 조명까지 비추었을 때의 CdS 셀의 저항의 크기를 위와 같은 식의 측정 전압을 대입하여 구할 수 있는 것이다.



<그림 b> 조도에 따른 CdS 셀의 저항 특성

위의 <그림 b>는 조도에 따른 CdS 셀의 저항 특성 그래프로, 어두운 밤일 때, CdS 저항의 크기가 약 105 kΩ이고, 햇빛 아래서는 CdS 저항의 크기가 약 10 Ω이라고 나와있다. 이러한 조도에서는 저항의 크기가 선형적인 특성을 보인다고 한다.

<표 1>을 보면, 본 실험에서 가정한 여러 상황에서는 모두 저항의 크기가 20 kΩ 미만 1 kΩ 이상으로 위의 <그림 b>에서 저항의 크기가 선형적인 특성을 보이는 조도의 범위에 포함된다는 것을 알 수 있다.

1. 광센서 응용회로

<그림 2>의 광센서-스위치 회로 실험에서는 CdS 셀과 논리 회로를 이용하여 특정 조도를 기준으로 동작하는 스위치를 구성해보고, 이때 특정 조도의 값을 알아보는 실험을 하였다. <그림 2>의 회로를 구성하고 일반 조명을 비추었을 때 LED에 불이 들어오지 않았지만 플래시 라이트를 비춤으로써 CdS 셀에 입사하는 빛의 조도를 높였을 때는 LED에 불이 들어오는 것을 관찰할 수 있었다. 이때, LED에 불이 들어오기 시작할 때의 가변 저항의 크기는 약 308 Ω라는 것을 측정할 수 있었으며 이보다 큰 저항의 값을 가지면 LED에는 불이 들어오지 않고 이보다 작은 저항의 값을 가질 때는 LED에 불이 들어왔다. CdS 셀과 LED 사이에 논리회로를 연결하였기 때문에 CdS 셀의 저항의 크기가 308 Ω보다 조금 작을 때나 많이 작을 때 상관없이 LED에 불이 들어오는 정도가 같고 308 Ω보다 조금 클 때나 많이 클 때 상관없이 LED에는 불이 아예 들어오지 않는 것을 관찰할 수 있었다. 점 A의 신호를 관찰하기 위해 오실로스코프를 연결하면 이러한 현상을 이해할 수 있는데 <그림 2-3>을 보면 점 A의 신호가 0 V나 2 V의 전압만을 갖고 그 사이의 값은 거의 갖지 않는 모습을 볼 수 있다. 이는 논리 회로로 인해 저항의 크기에 상관없이 스위치가 on, off되는 것처럼 점 A에서의 신호도 두 가지의 값을 갖는 것이다. 따라서, CdS 셀과 LED 사이에 논리 회로를 연결하지 않는다면 LED의 불이 특정한 가변 저항의 값을 기준으로 커지거나 꺼지는 상황이 아니라 LED 불이 안 들어오다가 가변 저항의 크기가 작아지면 조금씩 LED에 불이 선명하게 들어오는 방식으로 해당 회로가 동작할 것이다.

1. 디지털 조도계

<그림 3>의 회로 실험에서는 이전에 배운 OP AMP와 트랜지스터, 카운터, DAC, 7-segment 등을 사용하여 회로를 구성하였다. 해당 회로에서 V1이 V2보다 크면 초기에 설정한 대로 카운터가 다운 카운터로 동작하여 V2와 V1의 크기가 역전될 때까지 1111부터 다운 카운팅하다가 V2가 V1보다 크게 되면 업 카운팅하게 된다. <표 2>에서 CdS 셀에 플래시 조명을 비추었을 때를 예시로 들어보면 CdS 셀에 플래시 조명을 비추게 되면 CdS 셀의 저항의 크기가 결정되고 이로 인해 OP AMP 반전 입력 단자에 인가되는 전압의 크기 또한 결정될 것이다. 카운터가 다운 카운팅을 시작하게 되면 1111부터 하나씩 차례대로 1001까지 줄어들다가 Qd, Qc, Qb, Qa가 1000가 되면 V2의 크기가 V1보다 커지게 된다. 이때부터 카운터는 업 카운터로 동작하여 1000부터 1001가 되면 다시 V1이 V2보다 작아져서 다운 카운터로 동작하게 되면서 7-segment에서는 8과 9를 반복적으로 display하게 된다. 손으로 CdS 셀을 가리게 되면 CdS 셀의 저항의 크기가 커져서 V1과 V2의 크기가 많이 차이가 나고 카운터에서 출력 신호가 0000이 되어야 V1과 V2가 역전하게 되어 0과 1의 출력을 반복하게 되는 것이고 일반 조명에서는 CdS 셀의 저항의 크기가 그보다는 작아져서 V1과 V2의 차이가 줄어들어 카운터에서 출력 신호가 0100이 되어야 V1과 V2가 역전하게 되어 4와 5의 출력을 반복하는 것이다.

1. 참고문헌

-Earl Gates, 전기전자공학, 1판, 북스힐, 2018년, pg. 173-179

-Alan B. Marcovitz, Introduction to logic design, 3판, McGraw-Hill Higher Education, 2009년, pg. 238- 246, 424-431