

조명용 LED의 광전궤환을 이용한 가시광 무선인식장치

이 성 호⁺

Visible Light Identification System Using Optoelectronic Feedback of A Lighting LED

Seong-Ho Lee⁺

Abstract

In this paper, we used optoelectronic feedback to generate the carrier frequency for the ASK modulation of a lighting LED. A solar cell was used for photo-detector in the feedback circuit, and the LED light was ASK modulated by controlling the ON/OFF state of the switch that is installed in the feedback loop. The oscillation frequency of the optoelectronic feedback loop was about 50 kHz and the data rate of the ASK modulation was 9.6 kbps. In experiments, the optoelectronic feedback circuit was used for the ASK modulation of a lighting LED in the transponder of a visible light identification system, and data exchange between the transponder and the reader was successfully carried out.

Keywords : Lighting LED, Solar cell, Optoelectronic feedback, Visible light identification, ASK modulation

1. 서 론

조명용 LED(Light Emitting Diode)는 반도체의 PN 접합을 이용하여 가시광선의 출력광을 발생하는 광원으로서 기존의 백열등이나 형광등에 비하여 크기가 작고 가벼우며, 기계적인 충격에 강하고 수명이 길어 자동차 조명, 가로등 조명, 실내조명, 식물재배용 조명 등 그 활용범위가 점차 증가하고 있다. 또한 조명용 LED는 주입전류를 제어하여 고속변조가 가능하므로 이러한 변조특성을 이용하여 한 개의 광원으로 조명과 통신을 겸하는 가시광통신 기술이 발전하고 있으며[1], 이외에도 조명용 LED를 활용할 수 있는 새로운 분야에 가시광무선인식장치(visible light identification system)가 있다.

가시광무선인식장치는 관리자용 시스템에 연결되는 리더(reader)와 관리대상 물체에 부착하는 트랜스폰더(transponder)로 구성되며, 리더에서 트랜스폰더 쪽으로 문의신호에 해당하는 신호광을 보내면, 트랜스폰더는 그 빛을 수신하여 문의신호임을 확인한 후 자신이 보유한 데이터에 해당하는 신호광을 다시 리더 쪽으로 보내어 응답하는 구조이다. 가시광무선인식장치의 리더와 트랜스폰더 사이에서 발생하는 신호의 교환과정은 무선주파수를

캐리어로 사용하는 기존의 RFID(Radio Frequency Identification)와 유사하다고 볼 수 있으며, 이와 같이 조명용 LED를 사용하여 무선인식장치를 구성하면 한 개의 광원으로 조명과 무선인식의 두 가지 기능을 동시에 갖도록 시스템을 구성할 수 있어 사용하기에 편리하다. 조명용 LED출력광의 파장은 가시광선에 해당하기 때문에 조명용 LED를 이용하여 가시광통신이나 가시광무선인식장치를 구현하는 경우에는 형광등이나 백열등과 같은 기존의 조명시설에서 발생하는 잡음광의 영향을 최소화할 수 있도록 시스템을 구성하여야 한다[2-4]. 이에 대한 적절한 방법으로 잡음주파수 120 Hz 보다 현저히 높은 반송파를 사용하여 LED를 변조하고, 수신부에서 고역통과필터를 사용하여 잡음성분을 소거한 후 복조 회로를 통하여 원 신호를 복구하는 방법이 많이 사용되고 있다.

본 논문에서는 조명용 LED에 광전궤환(optoelectronic feedback)을 가함으로써 ASK 변조하는 방식을 새로이 제안하고 실험하였다. 이 구조에서는 광전궤환회로가 발진하여 자체적으로 반송주파수를 생성하므로, 반송파를 얻기 위한 별도의 신호발생기가 필요하지 않아 ASK 변조기의 구조가 간단하여 사용하기에 편리하다. LED의 광전궤환회로를 구성하기 위한 광검출소자로는 솔라셀을 사용하였다. 솔라셀 표면의 중앙에 LED를 부착하고 LED의 전방으로 향하는 빛은 상대측의 수신부로 방사하여 신호를 전송하며, LED의 후방으로 향하는 미약한 신호광은 솔라셀의 표면에서 흡수하여 증폭한 후 LED 구동회로에 인가함으로써 광전궤환 회로를 구성하였다. 광전궤환회로는 이득조건과 위상조건

서울과학기술대학교 전자정보공학과 (Department of Electronic & Information Engineering, Seoul National University of Science and Technology)

⁺Corresponding author : shlee@seoultech.ac.kr

(Received : Mar. 24, 2011, Accepted : May. 9, 2011)

이 충족되는 주파수에서 발진을 일으키고, 궤환회로 내에 스위치를 설치하여 전송데이터에 따라 스위치를 ON/OFF 함으로써 ASK 변조파형을 생성하였다. 실험에서는 광전궤환을 이용하여 50kHz의 발진주파수를 얻었으며, 이 시스템을 가시광무선인식장치의 트랜스폰더에 활용하여 9.6 kbps 데이터율로 리더와 트랜스폰더 사이에 문의 신호와 응답신호를 정상적으로 교환함을 확인하였다. 이 구조의 활용방안으로는 LED를 조명광원으로 사용하는 자동차에 광전궤환을 이용한 트랜스폰더를 부착하고, 톨게이트에 리더를 설치하면 자동차의 LED 조명을 이용하여 통행과정에서 자동적으로 차량 관련정보를 무선으로 인식하는 시스템을 쉽게 구현할 수 있다.

본 논문의 제2절에서는 광전궤환을 이용한 발진원리와 ASK 광 변조기의 동작과정에 대하여 소개하고, 제3절에서는 실험을 통하여 궤환회로의 발진파형 및 ASK 변조파형을 확인하였으며, 제4절에서는 광전궤환을 이용하여 가시광무선인식장치의 트랜스폰더를 구성하고 리더와 교신상태에서 송·수신파형을 관측하는 순으로 진행하였다.

2. 광전궤환을 이용한 ASK 변조기의 구조

조명용LED의 광전궤환을 이용하여 LED 출력광을 ASK 변조하기 위한 구조는 Fig. 1과 같다. 이 구조에서는 ASK 변조에 필요한 반송파 주파수를 얻기 위하여 별도의 신호발생기를 사용하지 않고, 솔라셀을 통하여 LED에 피드백 함으로서 자체적으로 발진 주파수를 생성한다.

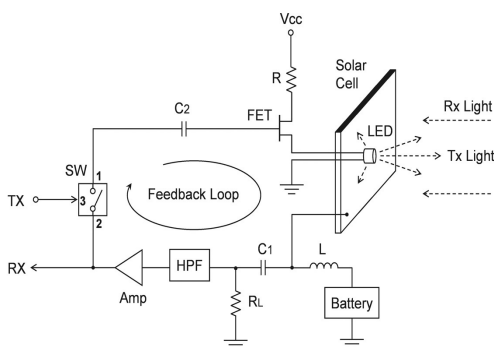


Fig. 1. An ASK modulator using a solar cell.

Fig. 1에서 솔라셀의 역할은 송신모드에서는 LED의 후방광을 흡수하여 ASK 변조에 필요한 발진회로를 구성하며, 수신모드에서는 상대측의 송신부로부터 보내온 신호광을 수신하는 광검출기로 동작한다. 또한 솔라셀에서 생성된 전류 중에서 DC 성분은 배터리에 축적하여 증폭기의 전원으로 이용한다. 솔라셀은 빛 에너지를 전기적 에너지로 변환하여 전원으로 사용하기 위하여 개발된 소자이며 그 구조는 포토다이오드와 유사하게 반도체의 PN 접합으로 이루어져 있다. 포토다이오드에 비하여 상대적으로 응답

속도가 낮지만 LED를 광원으로 사용하는 가시광통신이나 가시광 인식장치와 같이 비교적 저속의 광원을 사용하는 경우에는 솔라셀도 광검출기로 이용할 수 있으며, 솔라셀의 수광 면적이 넓어 LED의 후방광을 흡수하기에 적절한 구조이다. Fig. 1의 광전궤환회로 내에는 궤환회로를 ON/OFF 할 수 있는 스위치(SW)가 설치되어 있고, 이 SW는 송신단자(Tx)로부터 전달되는 디지털 신호 전압에 따라 ON/OFF 상태가 제어된다.

이 회로의 동작과정을 송신모드와 수신모드로 나누어 살펴볼 수 있다. 송신모드는 Tx 단자로부터 전송신호가 들어와 스위치(SW)가 ON/OFF 동작을 반복하는 기간이며, 수신모드는 Tx 단자로부터 전송신호가 없어 SW가 계속 OFF 상태를 유지하는 기간이다. 먼저 송신모드에서 궤환회로의 동작과정은 다음과 같다. LED는 솔라셀 표면의 중앙에 부착되어 있으며, LED에서 방사되는 빛 중에서 후방쪽으로 방사되는 미약한 빛을 솔라셀에서 흡수하여 광전류를 생성한다. 이 중에서 AC 성분은 커패시터 C1을 통하여 부하저항 RL로 흐르게 되며, 부하저항에서 발생한 전압은 고역통과필터(HPF)를 거쳐 증폭기에서 증폭된다. 궤환회로 내에 있는 SW가 ON 상태에 있을 때 증폭기의 출력전압은 FET의 게이트에 전달되며, 이 전압에 비례하여 LED에 전류가 공급되고 LED에서 출력광이 발생하면서 발진과정이 반복된다. 이와 같이 SW가 켜진 상태(ON)에서는 궤환회로가 연결되어 발진상태를 유지하며, SW가 꺼진 상태(OFF)에서는 발진회로가 차단되어 발진상태를 멈추게 되므로 송신(Tx)단자에서 공급되는 디지털 전압의 High/Low 상태에 따라 궤환회로의 ON/OFF 상태가 제어되고 ASK 변조된 신호광이 LED로부터 출력되어 자유공간으로 방사된다.

수신모드에서는 SW가 계속 OFF된 상태를 유지하며 궤환회로가 차단되므로 LED에서 발진이 일어나지 않는다. 이 때에는 상대측의 송신부에서 보내온 신호광을 솔라셀에서 흡수하여 광전류를 생성하며 부하저항 RL에 나타난 전압신호가 HPF와 증폭기를 통하여 곧바로 수신(Rx)단자로 전달된다. 수신모드에서도 솔라셀로부터 생성된 전류 중에서 AC 성분은 Rx단자로 보내어 데이터를 수신하고, DC 성분은 배터리에 축적하여 궤환회로에 사용되는 증폭기에 전력을 공급한다.

3. 조명용 LED의 ASK 변조 실험

솔라셀과 조명용 LED를 이용한 광전궤환회로에서 발진동작과 ASK 변조상태를 확인하기 위하여 앞의 Fig. 1과 같이 회로를 구성하였다. 실험에서 사용한 LED는 Moksan Electronics 사의 MS-HPL812CWP 로서 출력광의 중심파장이 약 600 nm 이고, 400 nm ~ 700 nm 파장대역에서 발광하는 백색의 조명용 LED이며, 3 dB 변조대역폭은 약 150 kHz 이다. 실험에 사용한 LED에서 전방으로 향하는 빛과 후방으로 빛의 강도분포를 알아보기 위하여 LED를 모터의 회전축에 부착하고 360° 회전시키면서 상대

적인 강도변화를 측정하였다. 최대값을 1로 정규화하여 측정한 방사패턴은 Fig. 2와 같다.

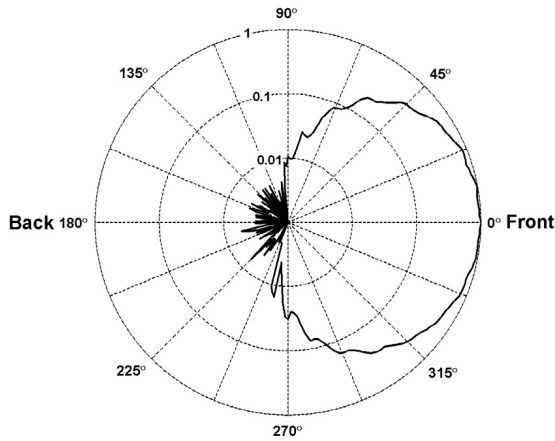


Fig. 2. Radiation pattern of a LED.

Fig. 2에서 각도 0° 쪽으로 향하는 방향이 LED의 전방을 나타내며, 각도 180° 쪽으로 향하는 방향이 LED의 후방을 나타낸다. LED의 전방으로 방사되는 빛은 정보를 전달하기 위하여 자유공간으로 방사되고, 후방으로 진행하는 빛은 전방에 비하여 약 1/100 이하의 약한 세기를 가지고 방사되며, 이 후방의 빛을 솔라셀이 흡수하여 증폭함으로써 발진회로를 구성한다. 실험에 사용한 솔라셀은 United Solar System사의 Si 솔라셀 US-3 로서 개방전압이 12 V, 단락전류가 400 mA이고, 표면적의 크기는 12 cm × 14 cm이다. 빛에 대한 솔라셀의 응답도는 약 0.4 A/W이며, 부하저항 1 kΩ에서 3 dB 수신대역폭은 약 60 kHz이다. 궤환회로에 사용한 증폭기는 전압이득 100에서 약 80 kHz의 대역폭을 가지며, LED에 전류를 공급하기 위해 사용한 FET의 변조대역폭은 약 10 MHz이고, 이들은 모두 저역통과필터의 특성을 가지고 있다. 궤환회로에 사용한 고역통과필터(HPF)는 차단주파수가 약 30 kHz 가 되도록 인덕터와 캐피시터를 사용하여 제작하였으며, 가능한 한 높은 주파수에서 궤환회로가 발진하도록 사용된 것이다.

앞의 Fig. 1의 광전궤환회로에서 발생하는 발진주파수를 예측해보기 위하여 SW를 OFF 상태로 유지하여 궤환회로를 개방(Open-loop)상태로 만들고, 신호발생기를 사용하여 SW의 1번 단자에 사인파 전압을 인가하고 주파수를 증가시키면서 SW의 2번 단자에 나타나는 전압을 측정하였다. 발진회로가 개방된 상태에서 주파수에 따른 전압이득과 위상변화를 측정한 결과는 Fig. 3과 같다.

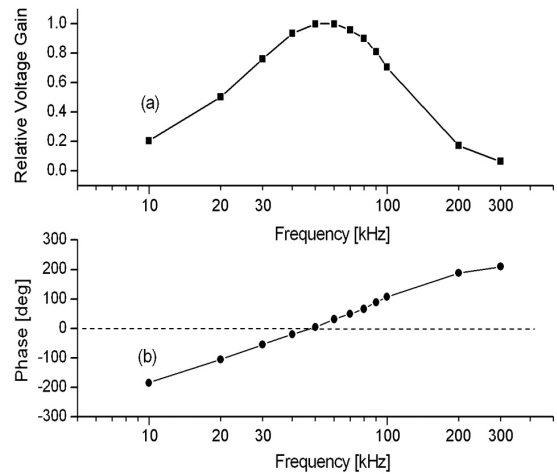


Fig. 3. Open-loop voltage gain and phase change. (a) Gain (b) Phase

Fig. 3에서 곡선(a)에 표기된 기호(■)와 곡선(b)에 표기된 기호(●)는 각각 전압이득과 위상변화의 측정값을 나타내며, 측정값 사이를 연결하여 곡선으로 표기하였다. Fig. 3의 곡선(a)에서 전압이득을 최대값1로 정규화하여 나타낸 것이며, 약 50 kHz ~ 60 kHz 부근에서 궤환회로의 전압이득이 최대가 됨을 관측하였다. 곡선(b)에서 보면 궤환회로의 위상변화가 약 50 kHz 부근에서 0도에 근접함을 확인하였다. 궤환회로의 전압 전달함수를 $F(\omega)$ 라고 할 경우, 발진이 일어나기 위해서는

$$\text{이득조건: } |F(\omega)| = 1 \quad (1)$$

$$\text{위상조건: } \angle F(\omega) = 0^\circ \quad (2)$$

이 충족되어야 한다[5]. Fig. 3에서 보면 궤환회로가 발진하기 위하여 필요한 이득조건과 위상조건이 충족되는 지점은 약 50 kHz 부근이었다. 궤환회로가 발진상태를 유지할 때 궤환회로 내에 설치된 SW를 ON/OFF 하면 LED의 ASK 변조파형이 발생한다. 실험에 사용한 SW는 Analog devices 사의 ADG417이며, 스위칭 속도는 약 160 ns 이다.

Fig. 4는 궤환회로의 발진주파수와 ASK 변조파형을 오실로스코프상에서 관측한 것이다.

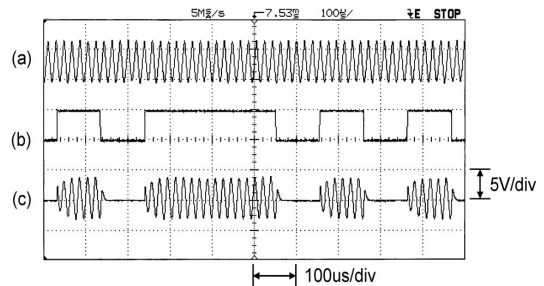


Fig. 4. Oscillation waveforms and ASK modulated waveforms in the optoelectronic feedback circuit. (a) Oscillation waveforms (b) Modulating signals (c) ASK modulated waveforms

Fig. 4에서 파형(a)는 Fig. 1의 궤환회로에서 SW가 ON 상태를 계속 유지할 때 SW의 1번 단자에서 관측된 발진 파형으로서 약 50 kHz의 주파수를 가지고 있다. 파형(b)는 Fig. 1의 Tx 단자로부터 SW의 3번 제어단자에 인가되는 ASCII 코드의 디지털 전압파형으로서 9.6 kbps의 데이터율로 전송되는 문자 “Q”에 해당한다. 이 신호는 마이크로 프로세서에서 생성된 것으로 각 비트에서 Low 전압은 “1”, High 전압은 “0”의 상태에 해당하며, 오른쪽부터 왼쪽 순서로, Start bit(0) + Data 8 bit(Q: 1010001) + parity bit(0)를 나타내는 비트열이다. Fig. 4의 파형(c)는 파형(b)의 전송 신호에 따라 발진회로가 ON/OFF 되면서 파형(a)의 50 kHz 반송 파가 ASK 변조된 상태를 나타낸다. Fig. 4(c)에서 보는 바와 같이 SW의 입력신호가 High 상태를 유지하는 시간 동안에는 궤환회로가 연결되어 약 50 kHz의 발진상태가 유지되며, SW의 입력신호가 Low인 상태에서는 궤환회로가 차단되어 발진주파수가 사라짐을 볼 수 있다.

이와 같이 Tx 단자에 공급된 전송신호에 따라 ASK 변조된 LED 가시광은 자유공간으로 방사되고, 수신부에서는 그 빛을 검출하여 데이터를 복구한다. 수신부에 도달한 ASK 신호광을 원신호로 복구하기 위하여 사용한 수신부의 구조는 Fig. 5와 같다.

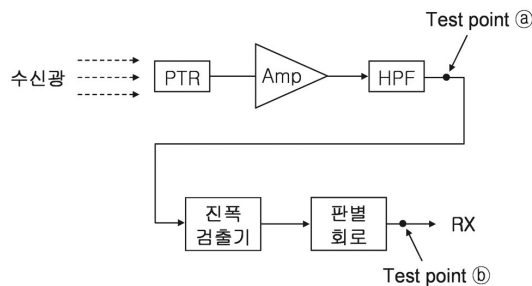


Fig. 5. ASK optical receiver.

Fig. 5에서 ASK 변조된 수신광이 포토트랜지스터(PTR)에 입사하여 광전류를 생성하면 이 신호가 증폭되고 고역통과필터(HPF)를 통과하면서 형광등이나 백열등과 같은 주변의 조명시절로부터 유입된 120 Hz의 잡음성분과 dc성분에 근접하는 주간광의 간섭이 소거되며, 진폭검출기와 판별회로를 거쳐 원신호가 복구된다.

실험에 사용한 포토트랜지스터는 Kodenshi 사의 NPN Si 포토 트랜지스터 ST1-ML이며, 감응파장범위는 500 nm ~ 1050 nm 이고, Peak wavelength는 880 nm 이다. 광원으로 사용한 조명용 LED의 중심파장이 약 600 nm 이므로 이 포토트랜지스터가 감응하는 파장의 범위에 놓여있다. 고역통과필터(HPF)는 캐퍼시터와 인덕터를 사용하여 차단주파수가 약 10 kHz가 되도록 제작하여 50 kHz의 ASK 신호성분은 잘 통과하고 120 Hz의 잡음성분은 차단되도록 만들었다. 진폭검출기는 다이오드와 RC회로로 구성되며 ASK변조된 신호의 진폭변화를 검출하고, 판별회로를 통과하면서 0과 1의 상태가 복구된다.

Fig. 6은 송신부로부터 보내온 ASK 변조광을 약 2 m 거리에 설치된 수신부에서 검출하여 오실로스코프로 관측한 전압 파형이다.

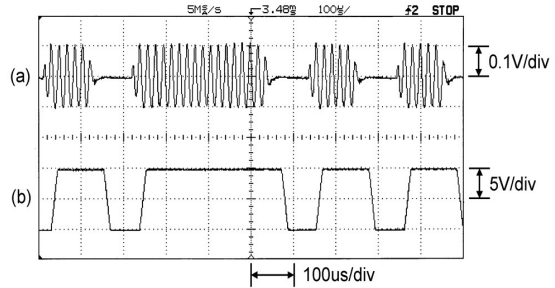


Fig. 6. The received and the demodulated ASK waveforms.
(a) Received ASK waveforms
(b) Demodulated waveforms

Fig. 6의 파형(a)는 Fig.5의 수신회로에서 고역통과필터(HPF)를 통과한 후 Test point㉓ 지점에서 관측한 수신파형이며 송신부에서 보낸 ASK변조 파형과 같은 형태이다. Fig. 6의 파형(b)는 Fig. 5의 수신회로에서 진폭검출기와 판별회로를 거치고 난 후 Test point㉔에서 관측한 복조파형으로서 송신부에서 보낸 문자 “Q”에 해당하는 디지털 신호 파형이다. 복구된 디지털 파형을 보면 진폭검출기와 판별회로를 거치면서 발생하는 약 10 μ s의 상승 시간이 존재하며, 검출된 데이터는 송신부에서 보낸 문자 “Q”에 해당하는 디지털 부호와 일치함을 알 수 있다. 이와 같은 과정을 거쳐 송신부에서 전송한 ASK 변조광을 수신부에서 복구하였다.

4. 가시광 무선인식장치 실험

광전궤환을 이용한 ASK 광변조장치를 가시광 무선인식시스템에 활용하기 위한 실험구성도는 Fig. 7과 같다. 가시광 무선인식 시스템은 트랜스폰더(transponder)와 리더(reader)로 구성되며, Fig. 7에서 왼쪽부분이 트랜스폰더이고 오른쪽 부분이 리더에 해당한다. Fig. 7의 트랜스폰더 회로에서 점선으로 표시된 부분은 앞의 Fig. 1에서 보인 광전궤환회로이며, 리더 회로에서 점선으로 표시된 부분은 앞의 Fig. 5에서 보인 ASK 수신부에 해당한다. 이 구조를 톨게이트에서 자동차 관련정보를 자동으로 판독하는 가시광무선인식장치로 활용할 경우, 트랜스폰더는 자동차의 LED조명에 설치되는 부분이고, 리더는 톨게이트 관리자의 시스템에 연결되는 부분이다.

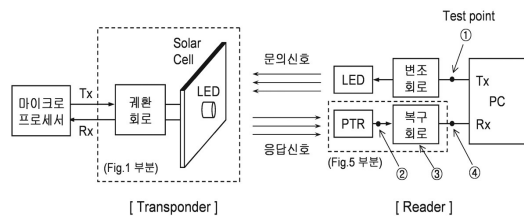


Fig. 7. Experimental setup for a visible light identification .

Fig. 7의 리더와 트랜스폰더 사이의 거리는 약 2m이며, 둘 사이에서 신호의 교환과정을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 리더에서 변조회로와 LED를 통하여 문의신호에 해당하는 빛을 트랜스폰더 쪽으로 방사하면, 트랜스폰더에 설치된 솔라셀에서는 이 빛을 받아 신호전류를 발생시키고, 앞의 Fig. 1에서와 같이 HPF와 증폭기를 통하여 마이크로프로세서의 수신단자(Rx)에 전달된다. 마이크로프로세서에서는 문의신호임을 확인하고 자신이 보유하고 있는 정보를 송신단자(Tx)를 통하여 궤환회로 내에 있는 SW의 3번 제어단자에 전달한다. 광전궤환회로에서는 앞의 Fig. 4에서와 같이 SW의 제어신호가 High 인 동안에 발진을 일으키고, 그 결과 ASK 변조된 신호광을 리더 쪽으로 방사한다. 리더에서는 포토트랜지스터(PTR)에서 응답신호를 수신하고 앞의 Fig. 5에서와 같이 증폭기와 필터 및 판별회로로 구성되는 복구회로를 거쳐 차량의 데이터를 판독하게 된다.

Fig. 8은 리더와 트랜스폰더 사이의 교신과정에서 발생하는 신호를 오실로스코프로 관측한 파형이다.

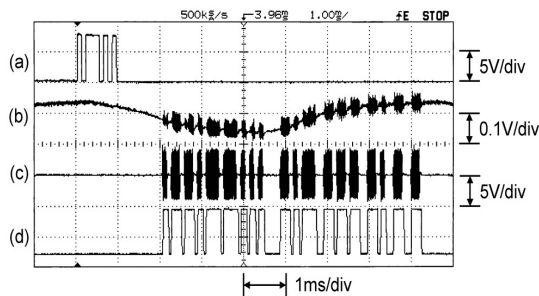


Fig. 8. Signal waveforms observed in the reader of a visible light identification system.

- (a) at the test point ① (b) at the test point ②
(c) at the test point ③ (d) at the test point ④

Fig. 8의 파형(a), (b), (c), (d)는 각각 앞의 Fig. 7의 실험구성도에서 리더측 회로의 Test point ①, ②, ③, ④에서 관측한 신호파형을 나타낸다. Fig. 8의 파형(a)는 Fig. 7의 Test point ①에서 관측한 전압이며, 리더에 설치된 PC로부터 LED의 변조회로에 가해지는 디지털신호이다. 이 신호는 리더로부터 트랜스폰더 쪽으로 보내는 문의신호이며, 본 실험에서는 문자 "Q"에 해당하는 ASCII 코드의 디지털 부호를 사용하였다.

Fig. 8의 파형(b)는 트랜스폰더의 마이크로프로세서에서 문의 신호를 받고 자신의 응답신호로서 문자열 "ID=123"을 내보냈을 때, 트랜스폰더의 광전궤환회로에서 발생한 ASK 광신호를 리더의 포토트랜지스터에서 검출한 전압으로서 Fig. 7의 Test point ②에서 검출한 전압파형이다. 여기에서 보면 트랜스폰더에서 보내온 ASK 변조 파형과 120 Hz의 주파수를 가진 사인파 형태의 잡음성분이 섞여 있음을 볼 수 있다. 이 잡음성분은 실내에 설치된 형광등으로부터 발생한 것이며, 이와 같이 잡음광의 간섭이 심한 환경에서 Base-band 신호를 곧바로 전송하여 직접 검출하는 경우에는 수신부에서 에러가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 잡음광의

간섭을 배제하기 위하여 잡음주파수 120 Hz 보다 높은 50 kHz의 반송파를 사용하여 LED 출력광을 ASK 변조하여 전송한 것이다.

Fig. 8의 파형(c)는 Fig. 7의 Test point ③ (Fig. 5의 Test point ②)에서 관측한 수신파형을 나타내며, 리더의 복구회로 내부에 있는 HPF를 통과하고 난 후에 120 Hz의 잡음성분이 사라지고 신호성분에 해당하는 ASK 변조 신호만 수신되고 있음을 볼 수 있다. Fig. 8의 파형(d)는 Fig. 7의 Test point ④에서 관측한 전압이며, ASK 변조파형이 진폭검출기와 판별회로를 통하여 원신호로 복구된 상태를 나타낸다. 이 신호는 수신신호에 해당하는 문자열 "ID=123"의 ASCII 코드에 해당하는 NRZ(Non-Return-to-Zero) 형식의 디지털 파형이며, 이 신호가 PC의 수신단자에 전달되고 PC에서는 트랜스폰더에서 전송한 응답신호를 인식하게 된다. 이와 같이 솔라셀을 이용한 광전궤환회로를 가시광무선인식 장치의 트랜스폰더에 활용하여 ASK 변조된 신호광을 생성하였으며, 트랜스폰더와 리더간에 교신 상태가 양호함을 실험적으로 확인하였다. Fig. 9는 트랜스폰더의 광전궤환회로에 사용한 솔라셀과 LED의 외관을 나타낸다.

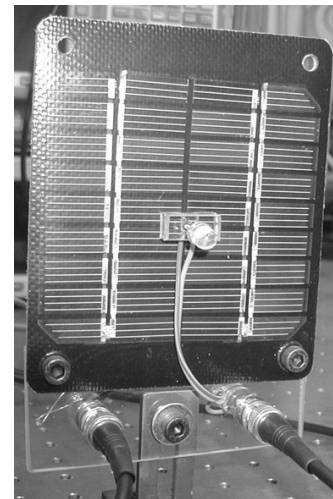


Fig. 9. The solar cell and the lighting LED used in optoelectronic feedback experiments.

솔라셀의 표면 중앙에 소켓을 만들어 LED를 부착하고 LED의 전방 쪽으로 향하는 빛은 자유공간으로 방사하여 신호를 전송하며, LED의 후방으로 향하는 미약한 빛은 솔라셀의 표면에서 흡수하여 광전궤환회로에 사용하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 솔라셀을 사용하여 광전궤환회로를 구성하고 자체발진 주파수를 이용하여 조명용 LED를 ASK 변조할 수 있는 구조를 새로이 제안하고 실험하였다.

본문의 제2절에서는 솔라셀과 LED를 사용한 광전궤환회로의

동작원리에 대하여 소개하였으며, 제3절에서는 실험을 통하여 광전궤환회로의 자체발진 현상과 ASK 변조상태를 확인하였다. 또한 ASK 수신회로를 구성하여 원신호를 복구하는 과정을 관측하였으며, 제4절에서는 광전궤환 구조를 가시광 무선인식시스템의 트랜스폰더에 적용하여 리더와 트랜스폰더 사이에서 문의신호와 응답신호를 교환하는 과정의 송수신 파형을 관측하였다.

이와 같이 솔라셀을 사용하여 광전궤환회로를 구성하면 ASK 변조광을 생성하기 위하여 별도의 신호발생기가 필요하지 않아 시스템의 구성이 간편해지며, 신호광을 흡수하여 에너지를 축적함으로써 광전력을 절약하는 효과가 수반된다. 또한 솔라셀은 표면적이 넓어서 포토다이오드에서와 같이 렌즈를 사용하여 빛을 집속하기 위한 광정렬작업이 필요하지 않기 때문에 자동차와 같은 이동물체에 부착하여 신호광을 수신하기에 적절하다. 이러한 구조를 자동차의 차폭등이나 측면 조명용 광원으로 사용되는 LED에 적용할 경우 톨게이트에서 자동차의 통행관리를 위한 무선인식시스템을 쉽게 구축할 수 있어 이에 대한 활용가능성이 높다.

REFERENCES

- [1] Toshihiko Komine and Masao Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, 2004.
- [2] Joseph M. Kahn and John R. Barry, "Wireless infrared communications", *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 2, pp. 265-298, 1997.
- [3] A. M. Street, P. N. Stavrinou, D. C. O'Brien, and D. J. Edwards, "Indoor optical wireless systems-a review", *Opt. Quantum Electron.*, vol. 29, pp. 349-378, 1997.
- [4] Seong-Ho Lee, "Reducing the effects of ambient noise light in an indoor optical wireless system using polarizers," *Microwave And Optical Technology Letters*, vol. 40, no. 3, pp. 228-231, Feb. 5, 2004.
- [5] Reinhold Ludwig and Gene Bogdanov, *RF Circuit Design*, Pearson Education, 2nd Ed., p. 561, 2009.



이 성 호(Seong-Ho Lee)

- 1980년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 3월~현재 : 서울과학기술대학교 전자정보공학과 교수
- 주관심분야 : 광통신, 센서, RFID, 안테나