
전력선 통신기술을 이용한 조명제어 스위치의 개발

길경석* · 송재용* · 문승보* · 이경수** · 김창울**

Development of a Lighting Control Switch Using Power Line Communication Technology

Jae-yong Song* · Seung-bo Moon* · Gyung-suk Kil* · Gyung-soo Lee** · Chang-yul Kim**

본 논문은 2004년도 중소기업청 주관 기술혁신사업 전략과제의 연구비를 지원 받았음

요 약

본 논문에서는 전력선 통신과 조광 기술을 기반으로 에너지 절약과 적정 조도의 제어가 가능한 조명제어 스위치의 개발에 대하여 기술하였다. 개발된 스위치는 범용의 마이크로프로세서와 주변 전자기술을 이용하며, 하나의 마이크로프로세서로 전력선 통신과 조광기능을 구현함으로써 저가격 상용화가 가능하였다. 캐리어 주파수는 전송 데이터 길이와 신호감쇄를 고려하여 250 kHz로 설정하였다. 저압선로에서 시제품에 대한 시험결과, 본 스위치는 전력선의 길이와 부하용량의 변동에 대해 강인하게 동작하는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Lighting control switches based on the power line communication technology are developed and extended to incorporate dimming control to provide energy saving and appropriate illumination.

The developed switch uses a general purpose microprocessor and associated electronics. Both the power line communication and the dimming function are implemented in one microprocessor, and it enables the low price commercialization.

The frequency of the carrier was set at 250 kHz considering the transmission data length and signal attenuation in power lines.

Tests on prototypes in an low-voltage power lines have shown that the switches have a robust operation characteristics with the length of power lines and the variation of load capacities.

키워드

power line communication technology, lighting control switch, PPM protocol, coupling circuit

I. 서 론

전력선 통신(Power Line Communication)은 전기가 공급되는 전력선을 활용하여 데이터를 실어 나르는 기술을 의미한다^[1]. 전력선은 가장 널리 분포되어 있는

매체로 더 이상의 추가 선로작업을 필요로 하지 않으며, 연결의 편리성 때문에 여러 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 1990년대 중반에 이르면서 30 MHz 이하의 저주파 협대역을 사용한 저속 전력선 통신기술이 개발되어 상용화 수준에 근접한 제품이 등장

* 한국해양대학교 전기전자공학부

** 신동아전기(주) 기술연구소

하고 있으며, 원격검침(AMR), 제어시스템 등에 활용되고 있다. 최근에는 가전제품 및 인터넷 등에 전력선 통신기술을 적용하기 위한 연구가 진행되고 있어 홈오토메이션 및 홈네트워킹 기술을 주도하고 있다^{[2],[3]}.

전력선 통신기술에 관련한 연구개발의 대부분은 고속 광대역의 인터넷 서비스 제공을 위한 수십 Mbps급의 데이터 전송에 관련한 것으로 국내의 기술은 외국에 비해 크게 떨어지지 않는 수준에 도달해 있다. 그러나 고속 광대역을 이용한 부분은 사용 주파수 범위를 제한하고 있는 국내전파법 및 라디오 서비스로부터 유기되는 잡음 등의 영향으로 상용화에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

저주파 협대역을 사용하고 있는 전력선통신 기술은 일부 분야에서만 개발되어 사용하고 있으며, 조명제어 스위치와 같은 배선기구에 대한 적용은 거의 전무한 실정이다.

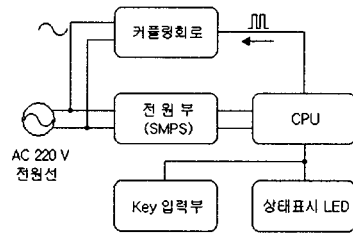
따라서 본 논문에서는 전력선 통신기술을 이용한 조명제어 스위치를 개발하였으며, 최적의 커플링 회로 구성, 선로 길이에 따른 감쇄특성, 부하변동에 의한 신호 변화 등에 관한 연구를 수행하였다.

II. 조명제어스위치의 설계 및 제작

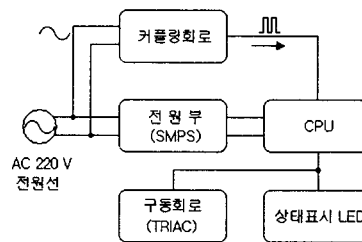
2.1. 회로 설계

현재 사용되고 있는 기계적 점접방식 조명제어스위치는 전동에 공급되는 전원을 기계적으로 차단하는 것으로, 1 점등회로에 2가닥의 전선이 필요하고 추가 점등회로마다 1가닥의 전선이 요구된다. 따라서 재료비와 인건비등이 증가하여 시공비가 비싸지게 되는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위한 방안이 전력선 통신을 이용하는 기술이며, 본 방식의 조명제어 스위치는 회로 수에 관계없이 2가닥의 전선만이 필요하므로 우수한 경제성을 가진다.

전력선 통신기술을 적용한 조명제어스위치는 60 Hz 전원주파수에 고주파 제어신호를 실어 보내는 송신기와 전원선에서 제어신호만을 걸러내어 제어동작을 실행하는 수신기로 구분되는데 구성은 그림 1과 같다.



(a) Transmitter



(b) Receiver

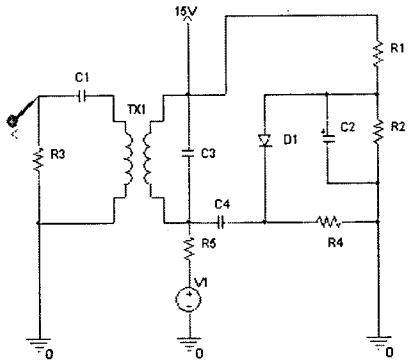
Fig. 1 Configuration of the lighting control switches using PLC technology

송신기에서 전원선에 제어신호를 실어 보내고 수신기에서 제어신호만을 걸러내기 위해서는 커플링 회로가 구성되어야 한다. 커플링 회로는 신호처리부 및 각종 전자회로 보호를 위해서 60 Hz 전원 신호는 완전히 차단하고 고주파 제어신호만을 받아들일 수 있는 회로 구성이 필요하다^{[4]~[6]}.

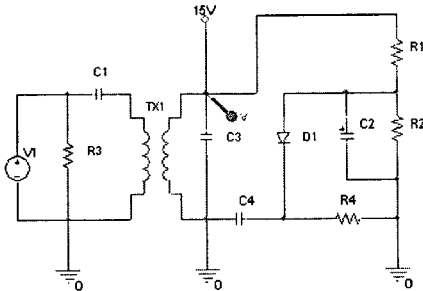
본 연구에서 전력선통신의 사용주파수는 현재 국내에서 저속의 PLC 모델에 대해 과거 150 kHz에서 현재는 30 MHz까지 허용하므로 250 kHz로 설정하였다. 이는 PLC 전용의 칩을 사용하지 않고 저가의 원칩 마이크로 전력선 통신기술을 구현하기 위한 것으로 CPU의 성능을 고려하여 최적의 주파수를 산정한 것이다. 또한 전원선에서는 각종 전기전자기기의 사용으로 무수히 많은 노이즈 성분이 존재하므로 커플링 회로의 통과 주파수 범위를 250 kHz 부근만 통과할 수 있도록 협대역으로 구성하였다.

그림 2의 (a), (b)는 커플링 회로의 구성을 나타낸 것으로 송신기의 경우에는 회로에서 전원선으로 나가는 통과 주파수를 250 kHz로 하였고, 수신부에서는 전원선에서 회로로 들어오는 통과 주파수를 250 kHz로 설정하였다. 커플링 회로에 대한 시뮬레이션 결과 그림

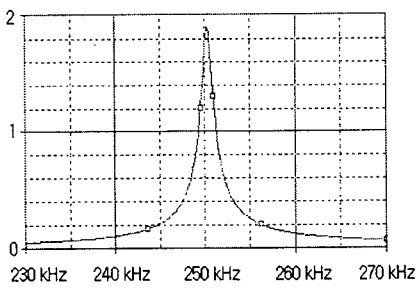
(c)와 같이 250 kHz 부근의 신호만을 통과 시킬 수 있었다. 실제 신호전송에 있어서는 전원선의 길이에 따라 신호의 크기가 감소하므로 이를 고려하여 송신기에서 대략 12 V 정도의 신호를 송출하면 수신기에서는 최소 5 V이상의 신호가 얻어진다.



(a) coupling circuit of the transmitter



(b) coupling circuit of the receiver



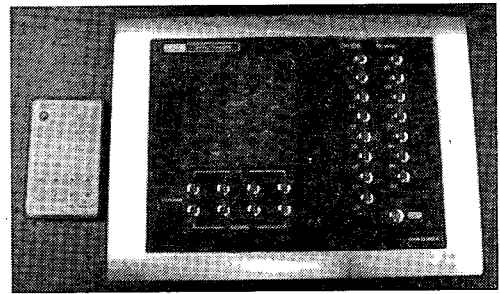
(c) Frequency response

Fig. 2 Coupling circuit and its simulation result

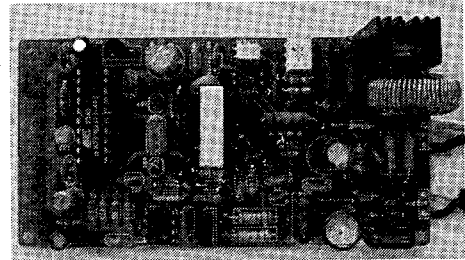
신호처리를 위한 원칩 마이컴으로 송신기는 여러

개의 수신기를 제어하기 위해 Atmel사의 ATmega16L을 사용하였으며, 수신기에는 범용의 AT90S2313을 사용하여 전력선 통신 구현 및 구동회로 제어를 동시에 가능하도록 구성하였다.

전원부의 구성은 SMPS 타입으로 하고, 수신기에서 전등의 구동은 TRIAC을 이용함으로써 회로의 크기를 소형화하였다. 최종적으로 구성되는 회로의 사진을 그림 3에 나타내었다.



(a) Transmitter



(b) Receiver

Fig. 3 Photograph of the lighting control switch.

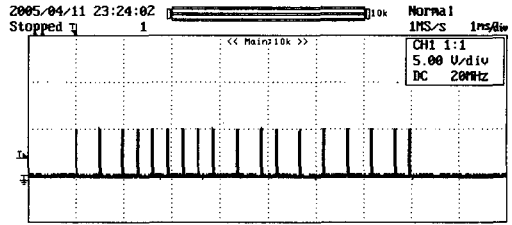
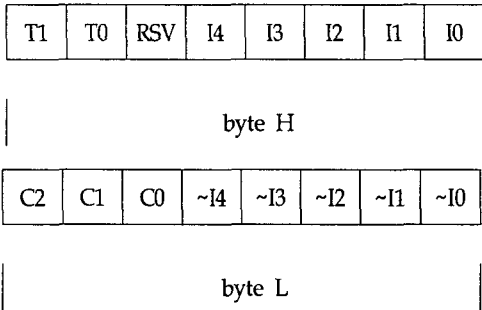
2.2. 통신 프로토콜

본 논문에서 적용한 전력선 통신 포맷은 기존에 적용된 통신 프로토콜을 적용한 것이 아니라 별도의 방식으로 제어신호를 전송하도록 구성하였다. 데이터 변조는 PPM(Pulse Position Modulation) 방식으로 각 모듈 프로세서의 다작업 혹은 시분할 처리에 의한 트래픽 처리 및 이웃간의 간섭을 배제함에 있어서 효율적인 처리를 위하여 CW(Continuous Wave) 형태를 취하며, Logic High일 때 캐리어를 송출하고 Logic Low일 때 캐리어를 중지하는 것으로 하였다.

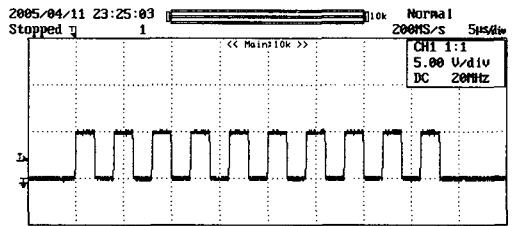
변조신호는 펄스당 캐리어 점유시간은 40 μs(10

pulse)로 하였기 때문에 캐리어 주파수는 250 kHz가 되고, 통신 속도는 약 2 kbps로 저속 통신을 행한다. 이는 단순히 조명제어가 목적이므로 빠른 통신 속도를 필요로 하지 않기 때문이다.

데이터 패키지의 포맷은 아래와 같이 16비트 포맷으로 사용하였으며, 전송유형의 결정, 예약비트(RSV), ID 비트, 명령비트, ID 반전비트로 구성된다.



(a) Data signal



(b) Carrier

Fig. 4 Typical waveforms of data and carrier

① 전송유형

| | | |
|---|---|-------------|
| 1 | 0 | 명령신호 전송 데이터 |
|---|---|-------------|

② 예약비트(RSV)

- 2등 전등기구를 위한 예비비트

③ ID 비트(I4, I3, I2, I1, I0)

- 00000을 제외한 5비트로 목적지 구분 비트

④ 명령비트(Command : C2, C1, C0)

| C2 | C1 | C0 | Command |
|----|----|----|---------|
| 1 | 0 | 1 | 점 등 |
| 0 | 1 | 0 | 소 등 |
| 1 | 1 | 0 | 타이머 |

⑤ ID 반전 비트(~I4, ~I3, ~I2, ~I1, ~I0)

- 전송신호의 에러검출을 위한 추가비트

실제 전력선 통신에 사용되는 신호는 그림 4와 같이 나타나는데 그림 (a)는 수신기에서 검출한 변조신호의 예이고, 그림 (b)는 송신기 CPU측에서 송출하는 데이터 신호 중 1 펄스만을 검출한 것으로 (a)의 신호 하나를 확대하여 보면 약 40 μs의 시간에 10 펄스가 존재하는 형태이다.

III. 성능평가 및 분석

PLC기술을 이용한 조명제어 스위치의 성능평가를 위하여 주택배선을 모의한 조명계통을 실험실내에 설치하고, 거리에 따른 감쇄 특성 및 부하변동에 따른 신호변화를 분석하였다.

본 연구에서 개발한 조명제어스위치의 송신기는 ON/OFF 제어 8회로, 백열등 조광제어 2회로, 형광등 조광제어 2회로로 구성되므로 일정간격을 두고 수신기 및 전등을 설치하고, 거리에 따른 제어신호의 변화 및 동작 특성을 관측하였다.

그림 5는 수신기의 거리변화에 따른 신호의 변화를 나타낸 것으로 송신기에서 멀어질수록 제어신호의 펄스폭이 좁아지는 특성을 나타내었다.

5 m 이내의 짧은 거리에서는 신호의 펄스폭이 138 μs이고, 0과 1의 제어신호 간격은 각각 333 μs, 152 μs 이었다. 15 m의 거리에서는 신호의 펄스폭이 108 μs 정도 짧아져서 0과 1의 제어신호 간격은 각각 374 μs, 219 μs로 다소 길어지는 특성을 나타내었다. 송·수신기간의 거리가 30 m일 때에는 신호의 펄스폭이 56 μs 더 짧아져서 0과 1의 제어신호 간격은 각각 432 μs, 264 μs로 더욱 길게 측정되었다. 이는 전원선의 표류

인덕턴스의 영향으로 판단된다. 그러나 조명제어에 있어서는 길이 변화에 따른 신호 감쇄의 영향을 받지 않고 정확한 제어가 가능하였다.

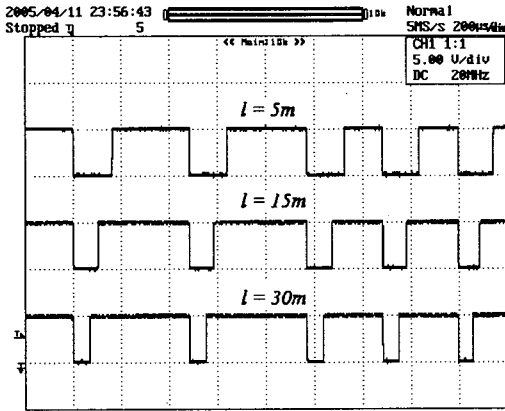


Fig. 5 Pulse width variations with power line length

부하변동에 따른 특성변화를 평가하기 위하여 12회로를 모두 구동시킨 상태에서 조명제어 동작을 분석한 결과 그림 6과 같이 TRIAC의 위상제어에 의한 백열등 조광제어나, 형광등 점등시에는 다소 잡음이 발생하는 특성이 나타났으나 잡음의 영역은 전원전압의 최대값 부근에서 발생하는 것으로 측정되었다.

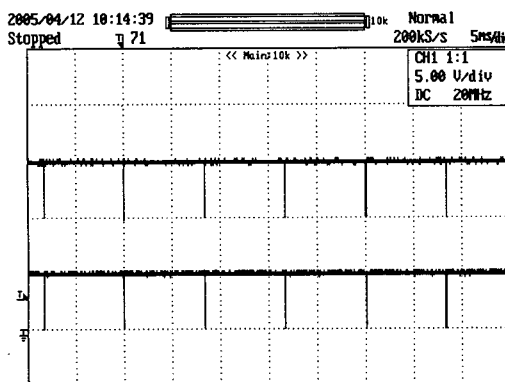
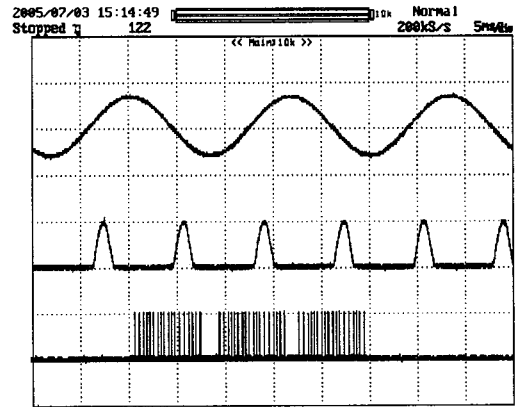


Fig. 6 An example of power line noise

따라서 잡음에 대한 영향을 최소화하기 위해서는 잡음이 발생하지 않는 전원전압의 영점에서 통신신호를 송출하는 방식을 적용하여야 한다. 그러나 본 연구에서 적용한 통신신호는 대략 6.5 ms의 시간간격을 가지므로 영점검출 후 신호를 전송하면 전원전압의 최대

값에 중첩하게 된다. 그러므로 영점검출 후 일정한 시간을 지연시킨 후 통신신호를 전송하여야 하는데 영점검출신호는 영점검출 후 약 2 ms 이후에 CPU로 신호가 전달되므로 최종적으로 영점신호 검출 후 약 3 ms 이후에 신호를 전송하면 전원전압의 최대값에서 감소하는 시점부터 다시 최대값에 도달하기 전에 신호가 전송된다. 이와 더불어 통신신호의 소실이나 왜곡에 따른 에러를 줄이기 위하여 반주기마다 3회 연속으로 통신신호를 전송함으로써 부하변동에 따라 발생하는 잡음의 영향을 최소화하여 안정된 동작특성을 나타냄을 확인하였다. 이러한 신호전송 파형을 그림 7에 나타내었다.



- 상 : 전원전압 파형 [500 V/div, 5 ms/div]
- 중 : 영점검출 신호 [5 V/div, 5 ms/div]
- 하 : 전송신호 파형 [5 V/div, 5 ms/div]

Fig. 7 Phase synchronization between the line voltage and the transmission signal

IV. 결 론

본 연구에서는 전력선 통신기술을 적용한 조명제어 스위치를 개발하였다.

기존의 PLC 응용기술과 달리 전용의 PLC 칩을 사용하지 않고, 저가의 원칩 마이컴을 이용하여 독자적인 통신 프로토콜을 이용함으로써 저가의 회로를 구성할 수 있었다.

최적의 커플링 회로를 구현함으로써 선로 길이에 따른 감쇄는 발생하지만 동작특성과는 무관하였다.

부하변동에 따른 전원 노이즈 발생을 고려하여 영점부근에서 반주기마다 3회까지 통신신호를 전송함으로써 잡음에 대한 영향을 최소화 할 수 있었으며, 부하변동에 상관없이 안정된 동작특성을 나타내었다.

본 시스템은 주택, 아파트 등 옥내배선에서 시험 중에 있으며, 신뢰성평가 후 출시할 예정이다.

참고문헌

- [1] Dostert, K. "Power line Communications", paperback, 2001.
- [2] 최승지, "전력선 통신 채널의 잡음특성에 의한 저속 전력선모뎀의 성능에 관한 연구", 강원대학교 대학원 석사학위논문, 2003.
- [3] 박종연, 장목순 "주파수 직접 확산 기술을 이용한 전력선 통신시스템의 개발", 대한전기학회 논문지, Vol. 47, No. 7, 1998.
- [4] SGS-Thomson, ST7538-Power Line FSK Transceiver, 2000.
- [5] 박송배, 신호이론, 문운당, 2002.
- [6] John Newbury and William Miller, "Multi protocol Routing for Automatic Remote Meter Reading Using Power Line Carrier Systems." IEEE Transactions on Power delivery, VOL. 16, No.1, JANUARY 2001.

저자 소개



길경석(Gyung-suk Kil)

- 1984년 2월 인하대학교 전기공학과 공학사
 1987년 8월 인하대학교 전기공학과 공학석사
 1996년 2월 인하대학교 전기공학과 공학박사
 1996년 4월 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수
 2000년 5월 - 현재 신동아전기(주) 상임기술고문
 ※ 관심분야 : 서지방호기술, 전력설비 열화진단기술



송재용(Jae-yong Song)

- 1997년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학사
 1999년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학석사
 1999년 3월 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학과 박사과정
 ※ 관심분야 : 서지방호기술, 전력설비 열화진단기술



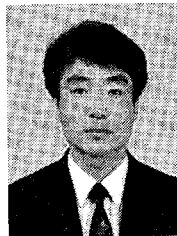
문승보(Seung-bo Moon)

- 2005년 2월 한국해양대학교 전기전자공학부 공학사
 2005년 3월 - 현재 한국해양대학교 전기전자공학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 전력설비 열화진단기술



이경수(Kyung-soo Lee)

- 1995년 2월 부경대학교 기계설계학과 공학사
 2000년 3월 동아전기공업주식회사 근무
 2005년 7월 - 현재 신동아전기(주) 기술 연구소 근무
 ※ 관심분야 : 차단기 설계기술



김창용(Chang-young Kim)

- 1991년 2월 동의대학교 기계설계학과 공학사
 1999년 7월 대양전기(주) 기술연구소 근무
 2005년 7월 - 현재 신동아전기(주) 기술 연구소 근무
 ※ 관심분야 : 전력선통신기술