

전력선 반송통신을 이용한 전기기기 전원 제어 시스템에 관한 연구

°김경엽*, 문복산*, 김영일*, 서인호*, 천행춘*, 강대기**, 유영호***
(한국박용기관학회)

A Study on the Power Line Control System for Electric Machinery using Power Line Communication

°K.Y.Kim* · B.S.Mun* · Y.I.Kim* · I.H.Seo* · H.C.Chun* · D.G.Kang** · Y.H Yu***
(KOSME)

Abstract : Recently, a study on the Power Line Communication has been done by many companies and institutes due to its own merits that we can use the power line as a communication channel. But, there are serious problems about the harsh and unpredictable characteristics - noise, signal distortion and attenuation to be overcome in order that we commercialize the Power Line Communication. In this paper, we analyse the power line characteristics and apply the technology of PLC to control power of electric machinery by using ASK modulation.

Key Words : Power Line Communication, ASK, Noise, Electric Machinery Control

1. 서론

전력선이라는 기존의 네트워크를 이용한다는 장점 때문에 최근들어 더욱 부각되고 있는 전력선 통신은 이미 장거리 송전선을 통하여 음성통신을 하기 위해 이용되어왔다. 국내에서도 1941년 수풍 발전소에서 만주로 나가는 200kV 송전선에 아날로그 통신신호를 중첩시킨 전력선 반송전화를 시설한후 오랫동안 전력회사의 음성통신수단으로 사용해 왔지만 오늘날 송전선에서의 PLC는 거의 사용되지 않고 있다. 전력선 통신기술이 전화의 역사와 유사하지만, 통신전용선에 설치된 통신장비가 전력선에 설치된 것보다 훨씬 많은 것은 전력선의 열악한 통신환경 때문이다. 전력선이란 전력을 공급하기 위한 것이기 때문에 통신을 목적으로 하기에는 불량한 전송매체로서 고신뢰도의 통신성

능을 보장할 수 없다. 하지만 전력선은 모든 수용가에 널리 분포되어있고 이상적인 가입자망 형태를 유지하고 있어 신규통신망 구성을 위한 새로운 투자가 필요 없으므로, 잡음 극복, 임피던스 정합등의 기술적인 문제점들만 해결된다면 가능성있는 분야라고 하겠다.

미국의 경우에는 전력선이 구내 통신망으로, 유럽에서는 대체가입자망으로, 개발도상국에서는 전화망으로 부각되고 있고 전력회사가 중심이 되어 전력선을 이용한 디지털 전화서비스를 추진하고 있다. 또한 선진국의 전력선 통신망에 대한 기술 개발은 지멘스, 노던텔레콤, 알카텔 등 많은 전자, 통신업체가 주도하여 중점적으로 추진하고 있다.

국내 기술은 선진국과의 유사한 수준에 접근하고 있으나 과거 전력선 통신에 대한 인식부족

* 한국해양대학교 대학원

** 포원정보기술주식회사

*** 한국해양대학교

등으로 관련 기술 개발이 활성화되지 못하였고 최근 전력선에 대한 관심이 차츰 고조됨에 따라 국내기술로도 1~10Mbps급의 전력선 모뎀을 개발하여 적용시험 등에 주력하고 있는 실정이다. 특히 집안의 설비를 지능적으로 제어하는 HomeNetwork분야에서 PLC연구가 활발하다.

배전선 반송통신시스템에서 적정의 통신 신뢰도 및 잡음 특성에 의한 영향을 줄이기 위해 사용되는 변조방식은 데이터 통신 채널에서 여러 확률이 비교적 낮으나 하드웨어 구성이 간단한 ASK(Amplitude Shift Keying)방식과 FSK(Frequency Shift Keying)방식이 대부분이며, 고신뢰도가 요구되는 특별한 경우에는 PSK(Phase Shift Keying)방식과 대역확산(spread Spectrum)통신방식이 적용되고 다중채널 전송 목적으로 Bandlimited Orthogonal Signal을 합성하기 위하여 FFT를 이용하여 주파수 영역에서 여러개의 협대역 부반송파들을 동시에 전송하는 OFDM이 있다.

이들은 각기의 방식으로 개발되어 상품화되고 있으나 전력선의 잡음에 의해 통신 데이터의 신뢰성이 떨어져 실용화가 어렵고 고가인 것이 문제이었다. 최근 전력선통신을 이용한 전기 장치의 전원제어장치가 개발되었으나 전기 장치의 전원을 제어하는 단순한 기능을 구현하는데 고가의 전용칩을 사용하여 쌍방향통신이 가능한 등 필요이상의 기능을 가지고 있어 일상생활에 사용하기에는 고가이므로 광범위하게 실용적으로 사용하기가 어렵다.

본 연구에서는 저가의 전력선 통신을 이용한 자기번호 인식형 피제어장치와 이 장치에 전력선 통신을 이용하여 고유한 자기번호와 제어신호를 발신 및 수신할 수 있는 마이크로 프로세서장치를 마련하고 1 대 N통신이 가능한 저가의 통신네트워크를 구성함으로써 다수의 전기 장치의 전원을 개별적으로 원격 집중 제어하는 것을 목적으로 한다.

2. 전력선 반송채널의 특성 및 해석

2.1 잡음 특성

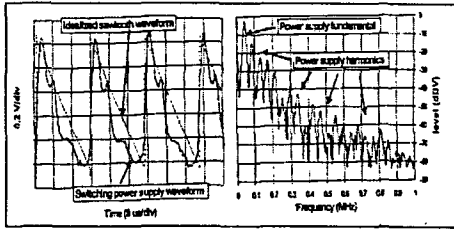
전원에 연결된 전기장비들은 전원에 상당한 잡음을 발생시킨다. 이러한 장비로부터 발생하는 잡음의 특성은 다양하다. 다양한 범위의 장비로부터 발생하는 잡음은 다음과 같은 3가지 범주로 구분할 수가 있다

(1) 임펄스 잡음(Impulse Noise)

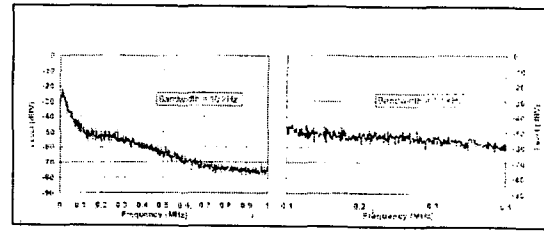
대부분 일반적인 임펄스 잡음의 소스는 트라이악을 사용하여 램프의 밝기를 제어되는 조광기이다. 이러한 트라이악 장치는 램프를 AC 전원 반사이클마다 AC line에 연결시키며 노이즈를 발생시킨다. 램프가 중간정도의 밝기로 설정되었을 때 돌입전류는 최대가 되며 수십볼트의 전압이 전력선상에 주입된다. 하지만 이러한 종류의 임펄스 잡음은 High Pass Filter에 의해 걸러진다.

(2) 톤 잡음(Tonal Noise)

일반적으로 톤 잡음(tonal noise)은 스위칭 전원공급기로부터 발생한다. 이 전원 공급기는 개인용 컴퓨터나 형광등 안정기와 같은 수많은 전자 장비에 존재한다. 이러한 잡음의 기본주파수는 20KHz에서 1MHz사이의 전 범위에 걸쳐 분포되어있다. 예로 전기 치술을 충전할 때 생기는 잡음은 Fig. 1에서 잘 볼 수 있다. 또한 톤 잡음(tonal noise)은 전력선 통신이나 baby monitor와 같은 장비에서 발생한다. 미국이나 일본에서는 이러한 장비들은 일반적으로 150KHz에서 400KHz사이의 주파수에서 동작하는데 그때 7-8볼트의 Vpp 전압이 전력선에 유입이 된다. Fig.2는 전형적인 전력선 통신의 스펙트럼 선도를 보여준다. 톤 잡음(tonal noise)의 소스로 상용 라디오방송도 들수 있는데, 파워라인이 안테나 역할을 해서 통신대역 주파수 신호를 잡아내는데, 이러한 전원전압간섭은 특별한 것은 아니다.



(a) (b)
Fig. 1. 전기기술 충전시 발생하는 잡음



(a) (b)
Fig. 3 진공 청소기 잡음 스펙트럼

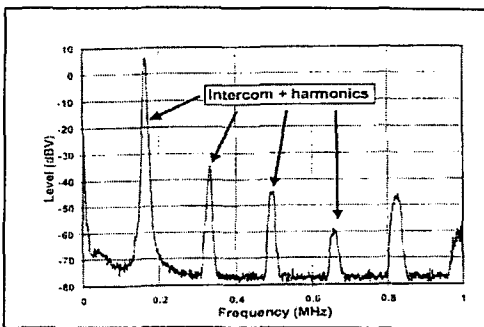


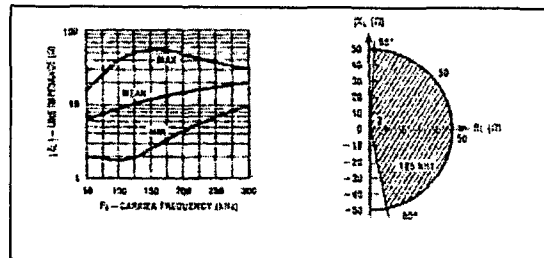
Fig. 2 전력선 통신 스펙트럼

(3) 고주파임펄스잡음 (High frequency impulse Noise)

고주파 임펄스잡음(High frequency Impulse noise)은 다양한 직권 AC 전동기(series-wound AC motor)가 소스라고 할수 있다. 이러한 타입의 전동기는 진공청소기, 전기 면도기 그리고 많은 일상부엌용품과 같은 장비에서 볼수가 있는데, 이러한 전동기로부터 발생하는 정류기 아크는 수 KHz 범위에서 일정한 비율로 임펄스를 발생시킨다. Fig. 3은 진공청소기로부터 발생하는 잡음을 주파수 영역에서 보여주는 것으로서 (a)는 광역 스펙트럼을 보여주는 것이고 (b)는 전력선통신에서 일반적으로 사용되는 부분의 스펙트럼을 확대한 것이다.

2.2 선로 임피던스

전력선은 전력사용의 상태에 따라 폭넓은 임피던스 변화폭을 가지고 있다. 그러나 송신측과 전력선간의 가장 효율적인 결합을 위해서는 예상되는 임피던스 변화폭의 가장 낮은 임피던스를 평가하여야하며, 적절한 통신신호레벨을 유지하기 위하여 반드시 라인 임피던스를 측정하여야만 한다. Fig.4 (a)는 거주지역과 상업지역에서의 115V 60Hz 전원 라인의 임피던스를 Nicholson/Malack research에서 측정한 데이터이며 (b)는 복소수평면에서 라인 임피던스를 도시한 것이다.



(a) (b)
Fig. 4 선로 임피던스

2.3. 신호감쇄

전력선에서 신호의 감쇄를 살펴보면, 대부분 컴퓨터나 텔레비전의 전자기적 방사조절을 담당하는 캐패시터나 대용량 전열기기등의 부하들은 낮은 임피던스 루프를 형성하고 이것은 신호의 싱크(Sink)로 작동하게 되어 손실이 커

지며 손실특성은 대략 1Km당 10-15dB정도로 잡고 있다

2.4 전송방식

여기서는 전력선반송에 대한 데이터 전송의 기본사항인 반송주파수, 전송속도, 제어방식, 회선구성형태, 변조방식에 대해 고찰하고 각종 신호전송방식의 설계 파라메터에 관하여 분석한다.

(1) 반송주파수

높은 주파수는 잡음특성이 우수하고 양방향 통신시스템의 구성이 간단하기 때문에 시스템의 구성시 경제성 측면에서 유리한 방식이다. 따라서 반송주파수로 높은 주파수를 선택하여 시스템이 잡음에 강인할 수 있도록 한다. 따라서 본 논문에서는 선정된 반송주파수는 위와 같은 근거와 법 규제로부터 보호받기 위한 고주파 이용설비의 주파수(10-450[kHz])범위일 것을 고려하여 반송주파수를 320[kHz]로 선정하였다.

(2) 전송속도

전력선 반송 채널과 같은 환경이 열악한 곳에서는 고신뢰도를 유지하면서 고속의 데이터를 전송하는 것은 불가능한 일이므로 감시제어 및 제측해야할 정보의 양에 따라 데이터 전송속도를 선정하게 된다. 참고로 전송속도별 응용분야를 아래의 표에서 제시해 두었다.

표 1. 전력선 통신의 응용분야

전송속도	응용명
저속 (수백 bps- 수십 Kbps)	배전자동화, 원격검침, 쌍방향 전력정보서비스, 注電시스템, 건물 자동화 제어, Home Automation
고속 (수백 Kbps-수 Mbps)	Home Security, 고속LAN, 컴퓨터 주변기기 Interface, A/V 시스템 네트워킹

본 논문에서는 전력선 반송방식을 이용한 홈네트워크에서는 전송해야 할 데이터가 적기 때문에 9600[bps]를 데이터 전송속도로 선정하였다.

(3) 라인 임피던스 결합 회로의 설계

$$Q = \frac{R}{X_L} \quad (1)$$

R = 코일의 저항

X_L = 펄스트랜스의 코일 임피던스

Q = 선택도

이므로 위 식에서 부하가 걸렸을 때 선로임피던스를 1차측으로 합산하여 펄스트랜스의 코일의 인덕턴스 L_1 을 구하면

$$L_1 = \frac{R_q // Z_{LN}'}{2 \times \pi \times F_o \times Q_L} \quad (2)$$

L_1 = 펄스트랜스의 코일의 인덕턴스

F_o = 반송주파수

Q = Q_L (부하가 걸렸을 때의 선택도)

R_q = 펄스트랜스 손실을 모델화한 병렬저항

Z_{LN} = 전력선 선로 임피던스

$|Z_{LN}'|$ = 선로 임피던스 Z_{LN} 의 반사 임피던스

로 바꾸어 쓸수 있다.

Q_L 과 Band Width(Half power)와의 관계는

$$Q_L = \frac{1}{BW(\% of F_o)} \quad (3)$$

가 된다.

반송주파수의 편차를 $\pm 2.2\%$ 로 반송주파수의 시정수를 4.3%로 감안한다면, $BW(\% of F_o) = 8.7\%$ 가 되어,

식 (3)에서 Q_L 은

$$Q_L = 11.5 \quad (4)$$

가 된다.

윗식에 근거하여 다음의 사양을 만족하는 필스트랜스를 설계한다.

$$Z_{LN} = 14[\Omega] \text{ (턴수비 7:1을 기준으로 해서)}$$

$$F_o = 320[\text{KHz}]$$

필스트랜스의 무부하시 선택도 $Q_u = 35$ 이고 1차측 권선의 직렬 저항 $R_{qs} = 1[\Omega]$ 일 때

$$R_q = R_{qs} \times (1 + Q_u^2) = 1226[\Omega] \quad (5)$$

$$|Z_{LN}'| = 7^2 \times 14 = 686[\Omega] \quad (6)$$

$$R_q // |Z_{LN}'| = \frac{1}{\frac{1}{1226} + \frac{1}{686}} = 439[\Omega] \quad (7)$$

따라서, 식(2)에서 L_1 은

$$L_1 = 18[\mu\text{H}] \quad (8)$$

이 된다.

표 2. 전력선반송통신시스템의 설계규격

항목	내용	비고
반송주파수	320kHz	고조파 이용설비
전송속도	9600bps	
전송제어방식	폴링방식	
회선구성형태	multidrop	
변조방식	ASK	

표 2는 이상의 설계를 기준으로 하여 본 연구에서 규정한 규격이다.

3. 시스템의 구성

본 원격 전기 장치 전원 제어시스템은 전기장치에 탑재된 피제어장치를 전자적으로 원격제어하는 전원 제어시스템으로서 다음과 같은 부

분으로 구성되어있다.

자기 번호 인식형 피제어장치에 의해 전기기기의 전원을 제어하기 위하여 두 개의 스위치를 장치한 자기 번호 발신 2 스위치(ID_GC2), 12개의 스위치를 장치한 자기번호 발신 12 스위치가 있다.

자기번호인식형 피제어장치에 의해 전기기기의 전원을 제어하기 위하여 스위치장치가 두 개 이상 설치되면 제어신호가 동시에 발생되어 충돌할 우려가 있고 이를 방지하기 위하여 고가의 충돌감지 및 회피가 가능한 통신 프로토콜을 사용하여야 한다.

그러나 본 시스템에서는 저가의 통신시스템을 구현하기 위하여 스위치 장치를 서버 클라이언트 구조로 네트워크를 구성함으로써 저가의 통신프로토콜을 사용하여 시스템을 구성하는 것으로 한다. Fig.8의 자기번호발신스위치장치는 Main으로서 서버로 동작하고 자기번호발신2스위치 (ID_GC) 및 12스위치(ID_GC12), 자기번호 인식형 피제어장치(ID_U)는 모두 클라이언트로 동작한다.

Fig. 9는 시스템구성도이고 Fig. 5 - Fig. 8은 시스템 구성 부품이다. Fig. 10은 서버 소프트웨어의 흐름도이고 Fig. 11은 자기번호인식형피제어장치(ID_U)의 소프트웨어 흐름도이다.

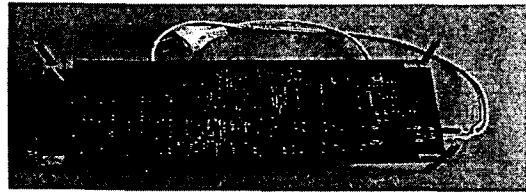


Fig. 5 자기번호발신12스위치장치(ID_GC12)

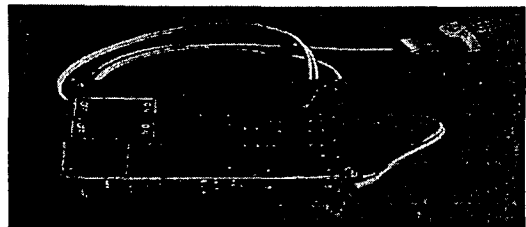


Fig. 6 자기번호발신2스위치 장치(ID_GC2)

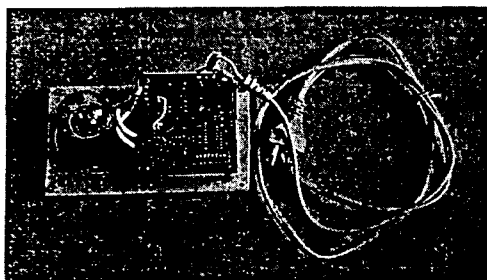


Fig. 7 자기번호인식형피제어장치(ID_U)

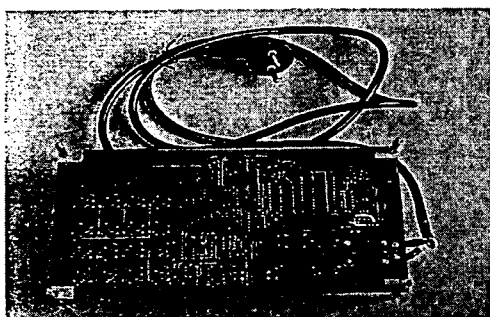


Fig. 8 자기번호발신 스위치장치(MAIN)

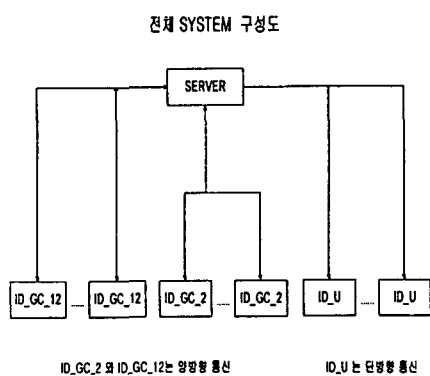


Fig. 9 시스템 전체 구성도

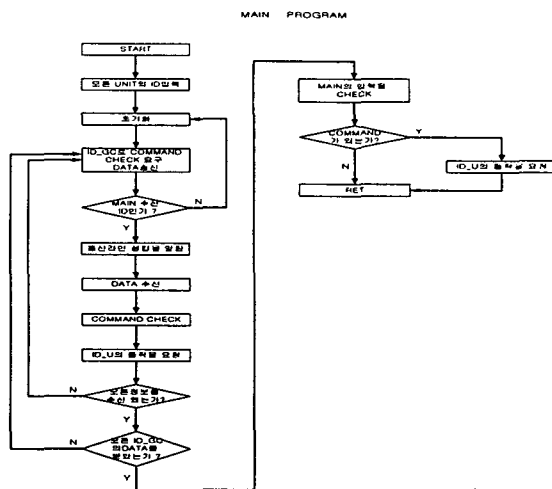


Fig. 10 자기번호발신 스위치 장치(MAIN)

ID_U MAIN PROGRAM

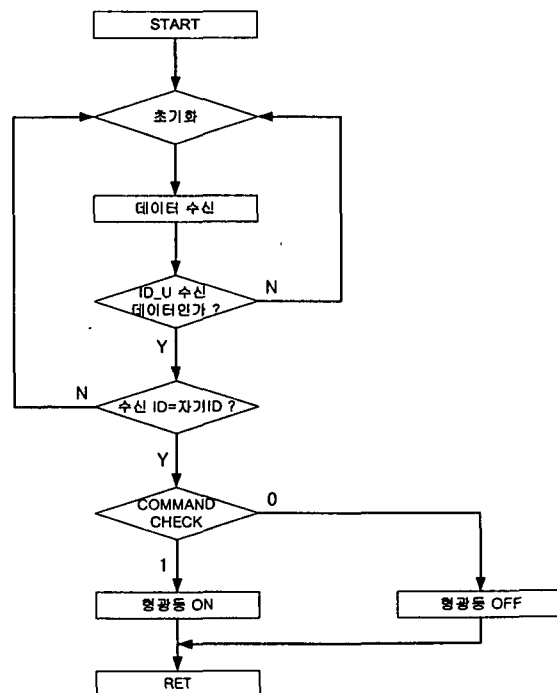


Fig. 11 자기번호인식형피제어장치(ID_U)

4. 실험 및 고찰

본 실험은 다음과 같은 조건에서 적용되었다.

1. 송신측과 수신측은 동일한 상에서 연결하였다.
2. 송신측과 수신측은 각각 별개의 콘센트를 사용하였으며, 멀티탭 없이 직접 연결하였다.
3. 적용환경은 실험실이며, 그외 주변부하조건은 변경이 없었다.

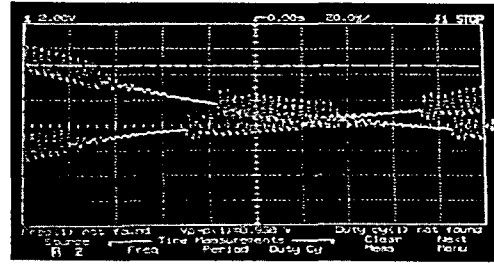


Fig.15 전력선에 실린 신호

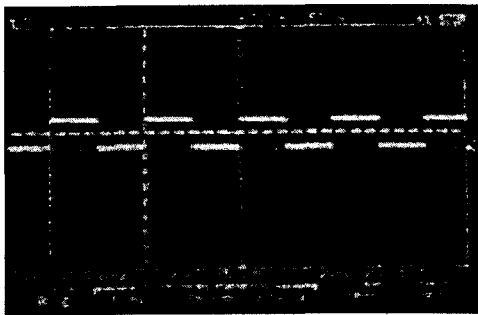


Fig. 12 9600[bps]의 제어신호

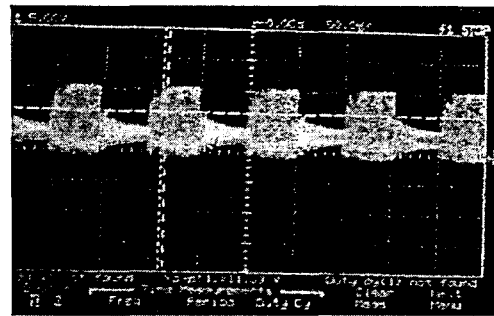


Fig.16 수신측에서 받은 신호

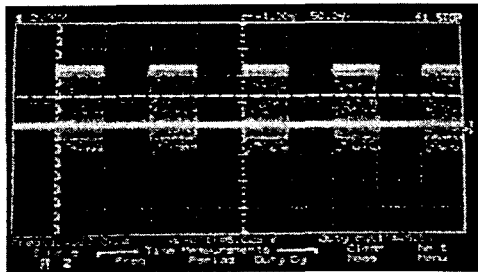


Fig.13 반송파가 실린 신호

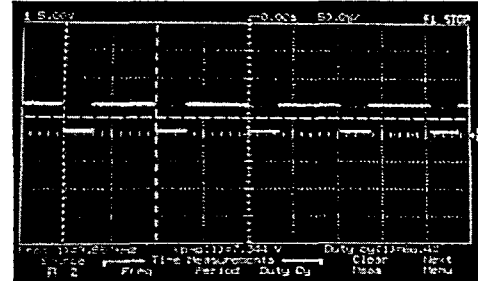


Fig. 17 수신측에서 복조된 신호

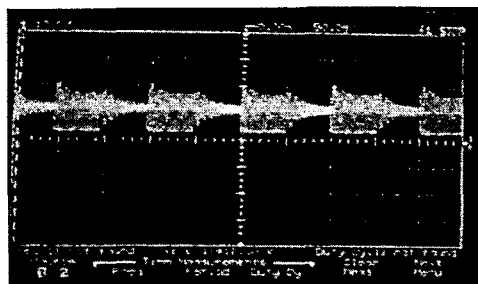


Fig.14 송신측 코일에 인가된 신호

Fig.12은 송신측에서 보내는 제어신호파형이며, Fig.13은 이 제어신호에 320[kHz]의 반송파를 실은 파형이다. 이 신호가 펄스트랜스의 코일에 인가되었을때의 파형이 Fig.14이며 펄스트랜스 1차측을 지나 전력선에 결합된 파형이 Fig.15이다. 이 결합된 신호가 전력선으로부터 분리되어 나온 파형이 Fig.16이고, 이 신호는 하이패스필터와 증폭기를 거치게 되고 최종 복조된 신호가 Fig. 17이다. Fig. 12에서 Fig.17까지의 그림을 분석하여 보면 9600[bps]로 발신된 제어신호가 전력선을 통과하여 수신측에서 복조를 알 수가 있다.

5. 결론

이상의 구성품을 이용하여 자기번호 인식 피제어장치(ID_U)가 장치된 조명등을 하나의 콘센트에 설치하고 자기신호발신스위치장치를 다른 콘센트에 설치하여 전원제어를 실험해 본 결과 양호하게 제어되는 것을 확인할 수 있었다.

현재 다양한 전기기기를 사용하는 환경에서 실험을 계속하고 있는 중에 있으며 아파트, 공판장, 빌딩전원제어장치등 광범위하게 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

※ 본 PLC를 이용한 통신시스템 및 전기기기 전원제어장치는 특허출원중입니다.

참고문헌

1. Phil Sutterlin and Walter Downey, "A Power Line Communication Tutorial Challenges and Technologies", Echelon Corporation
2. 오상기, "마이크로프로세서를 이용한 배전선 반송채널용 FSK 통신제어시스템 구현에 관한 연구", 원광대학교, 1994
3. 현덕화, 유인협, 박병석, "전력선을 이용한 통신기술의 동향", 전기저널, 2000. 9.
4. National Semiconductor, " LM1893/LM2893 Carrier-Current Transceiver", 1995
5. Intellon, "Intellon SSCP200 and SSCP300 HardWare Design Reference", 1998