

페라이트 코어와 스위칭 증폭기를 이용한 PLC 신호 감쇠 저하 시스템

고종선, 김영일
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

The Signal Anti-reduction System in PLC Using Ferrite Core and Switching Amplifier

Jong-Sun Ko, Young-Il Kim
Department of Electrical Electronic and Information

ABSTRACT

In this paper, a communication system that is not using the communication line but power line is presented. It will be very useful for an information-oriented society with tele-metering and home automation. Conventional system has a difficulty in transmitting information due to decreasing communication voltage. Proposed idea is a special type switching amplifier system which has a low inner resistance and using high efficient ferrite core in a coupling circuit. This new system is proposed to overcome the loss of conductor load and coupling circuit in a PLC system.

1. 서 론

정보화 사회가 되어감에 따라 PC통신, 가정 자동화 및 공장 자동화 등 산업사회는 원격조정 시스템화가 되어 가고 있으며 이에 따라 통신선의 설치가 필요 불가결하게 되었다. 현대 정보화 사회는 통신망을 갖춘 세대라고 불려질 만큼 통신체계의 역할이 크게 부각되어 가고 있다. 이에 따라 계획에 없던 통신체계를 새로 설치한다는 것은 쉬운 일이 아니며 막대한 비용이 소요된다^{[1][2]}. 전력선을 이용한 통신방법은 외국에서 1920년대 초부터 제안되어 왔다^[3]. 이 PLC 시스템은 이미 설치된 전력선을 이용하므로 별도의 통신선을 설치하는 비용의 부담이 없고 전송 터미널도 기존 벽에 설치된 소켓을 그대로 이용할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나, 전기적 잡음 등에 의한 문제를 협대역 통신 방식을 광대역 통신 방식으로 개발하여 해결하고 있으나 실제 회로를 구현하는데 있어서 내부 저항과 용량성 부하에 의한 전압 강하로 정보를 전달하는데 어려운 점이 발생한다^[4].

PLC 통신 시스템에 있어서, 부하 단에 존재하는 커패시터 부하가 반송 주파수에 대해서 저 임피던스로 작용하므로 전송신호의 감쇠를 발생시키며 송수신기와 전송

선로간의 통신신호 커플링시 손실이 발생한다. 본 연구는 이러한 통신 장애 문제를 해결하기 위한 것으로서, 특수한 구조의 스위칭 증폭기 시스템과 고효율 페라이트 코어를 이용한 신호 감쇠 방지 장치를 제안한다^{[6][7]}.

2. 본 론

2.1 PLC 시스템 구성

공장 및 가정의 부하 중 전원 공급장치, 전동기 구동 시스템 그리고 사무실의 다량의 PC에도 등가 커패시터가 존재한다. 이러한 커패시터는 PLC 통신 시스템의 반송주파수에서 저 임피던스로 작용하여 통신 전압의 강하를 야기한다. 이 문제를 해결하기 위해서 송수신단 증폭기의 내부 저항이 매우 작아야 하며, 무효전력을 공급할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 내부 저항이 작고 무효 전력을 공급할 수 있는 특수 구조의 스위칭 증폭기 시스템을 제안하고 개발하여 커패시터 부하에 의한 PLC 통신 장애 문제를 해결하고 고효율 코어를 이용하여 전송신호 감쇠를 최소화 하고자 한다. 제안된 시스템은 선형 증폭기를 스위칭 증폭기로 교체하였고 커플링 회로에 페라이트 코어를 추가하였다. 제안된 시스템의 블록선도는 그림 1과 같다.

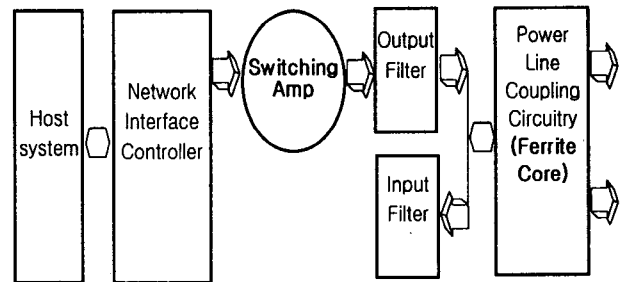


그림 1 PLC 시스템 블록선도
Fig. 1 Block diagram of a PLC system

이 시스템의 전체 개략도를 보면 그림 2와 같다.

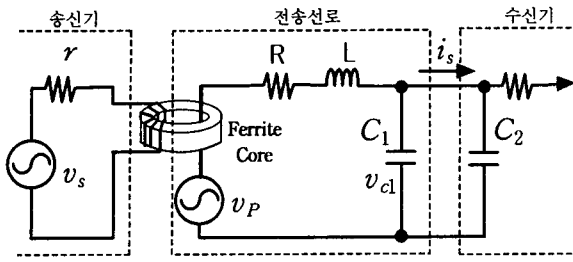


그림 2 부하등가회로
Fig. 2 A load equivalent circuit

그림 2에서 송신단과 수신 단의 전력선 상에서는 전력 선상의 잡음 특성, 임피던스 특성 및 신호 감쇠 특성을 고려해야 한다. 먼저 전력선 상의 회로의 방정식을 구해보면 다음과 같다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri + ri + \frac{1}{C_e} \int idt = v_s \quad (1)$$

이 미분방정식을 라플라스 변환하여 부하 양단전압을 구하면 다음과 같다.

$$V_{cl}(s) = \frac{1}{LC_e s^2 + (r+R)C_e s + 1} V_s(s) \quad (2)$$

여기서 $C_e = C_1 + C_2$ 이다.

위 식에서 부하의 전류 I_s 는 다음과 같이 구해진다.

$$\therefore I_s(s) = \frac{sC_2 V_s(s)}{LC_e s^2 + (r+R)C_e s + 1} \quad (3)$$

이처럼 측정 단의 전류는 측정단의 커패시터 C_2 에 영향을 받는다. 따라서 측정단의 커패시터를 임의로 조절함에 따라 측정단의 전류를 감지하기에 용이하다. 각 전기기기에서 반송 주파수에 따른 데이터 전송의 결과 잡음은 주파수가 높아짐에 따라 감소함을 알 수 있었다. 전력선상에서의 임피던스 특성은 반송 주파수에 크게 영향을 미친다. 일반 전력선으로 사용하는 케이블을 고주파 영역에서 사용할 때 저항성분을 무시하면 특성 임피던스는 다음 식에 의해 구해진다^[2].

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4)$$

그러나 전력선을 지배하는 것은 전력선 케이블 자체의 특성 임피던스가 아니라 전력선에 연결되어 있는 전기기기에 의해 결정되기 때문에 전력선의 임피던스는 상당히 다르게 나타난다. 임피던스의 절대값이 작으면 통신시스템 연결시 많은 신호 성분이 임피던스가 작은 전기기기로 유입되기 때문에 통신 시스템 구축시 문제가 되며 이때 해결 방법은 반송 주파수를 중심으로 신호의 대역폭

을 포함할 수 있는 큰 Q값을 가지는 신호유입방지필터(Blocking Filter)를 연결하면 된다.

본 연구에서는 선형 증폭기의 내부 저항 및 무효 전력 문제를 4상환에서 동작하는 전브리지 스위칭 증폭기를 이용하여 해결한다. 송수신단 상호간의 저 임피던스 문제는 부하 라인에 스위칭 소자를 하나 더 추가함으로써 간단히 해결한다. 기존 방식에서는 20~50Ω의 내부 저항을 피할 수 없는 반면에 제안된 방법에서는 포화 영역에서 동작시켜 내부저항은 거의 영이 된다.

2.2 광대역통신(Spread Spectrum Communication)용 저저항 스위칭 증폭기

그림 3은 위상 정보를 사용하는 광대역통신용 새로운 증폭기의 블록선도를 나타내고 있다^{[2][4]}.

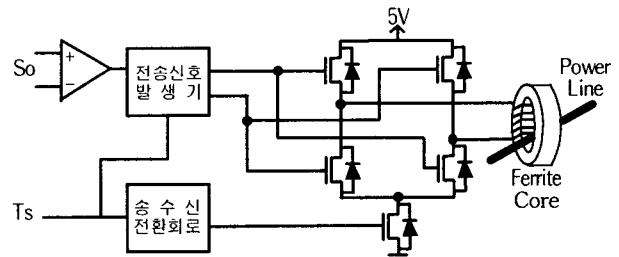


그림 3 광대역통신용 새로운 증폭기의 블록선도
Fig. 3 Block diagram of a new amplifier for

트랜지스터에 비해 주파수가 매우 빠른 전계효과 트랜지스터(FET)를 적용하여 시스템을 구성하였다. 최근에 1MHz로 스위칭이 가능한 소자도 나와 있다. 광대역통신용 칩셋에서 나오는 신호를 S_o 라 하고 이 신호가 비교기를 거쳐 스위칭 제어 신호로 바뀐다. 이 전송신호로 브리지 인버터를 구동하여 5V 양방향 신호를 발생시키면 내부저항이 매우 작은 신호를 얻게된다. 비교기 신호는 인버터 스위칭 신호로 바꾸는 기능을 가진다. 이때 T_s 신호에 따라 전체를 동기하는 기능을 넣었다. 전체 블록에 나타난 송수신 전환과 동시에 각 소자를 운용하는 형태로 구현하여 내부저항이 매우 작고 안정한 전환을 얻었고 이 신호를 고효율의 페라이트 코어를 이용하여 커플링 시켜 신호감쇠를 막을 수 있었다. 전송신호 발생기는 그림 4처럼 인버터 구동회로를 간단히 이용한다.

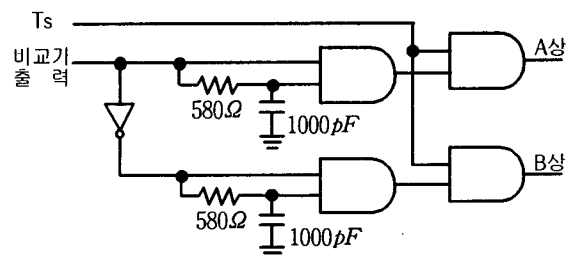


그림 4 전송신호 발생기
Fig. 4 Transmission signal generator

3. 모의실험 및 실험결과

그림 5~7은 내부저항이 있는 기존 시스템에 부하 커패시터가 주는 영향을 모의 실험한 것이다. 그림 5는 커패시터 부하가 비교적 작을 때 10Vp-p의 송신전압에 대하여 2Vp-p의 수신전압을 보이고 있다.

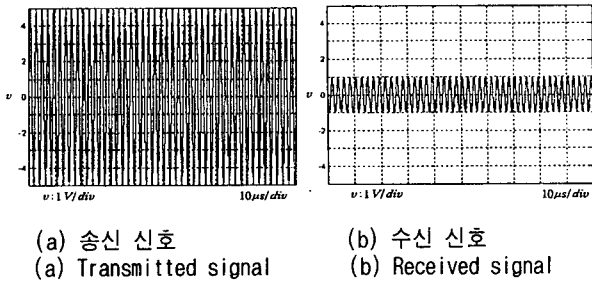


그림 5 $L=85\mu\text{H}$ $C=0.0087\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=25\Omega$ 일 때의 송수신단의 파형
 Fig. 5 waveform of the transmitting and receiving node ($L=85\mu\text{H}$ $C=0.0087\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=25\Omega$)

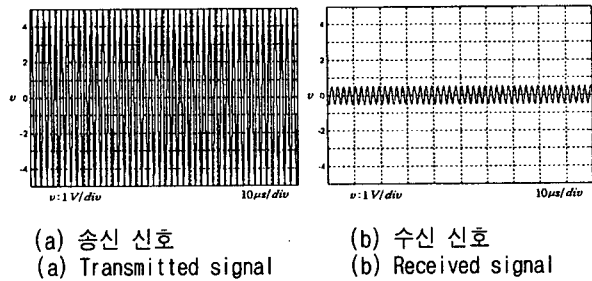


그림 6 $L=85\mu\text{H}$ $C=0.0158\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=25\Omega$ 일 때의 송수신단의 파형
 Fig. 6 waveform of the transmitting and receiving node ($L=85\mu\text{H}$ $C=0.0158\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=25\Omega$)

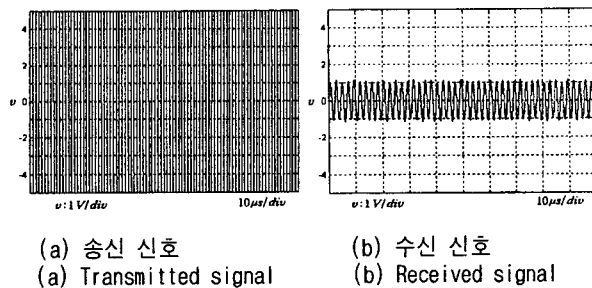
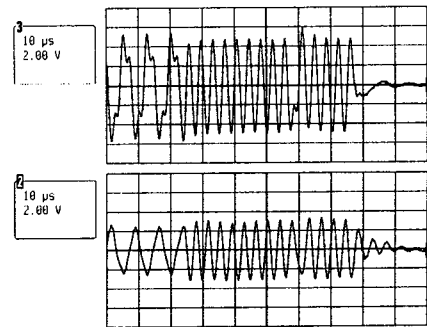


그림 7 $L=85\mu\text{H}$ $C=0.0158\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=0.02\Omega$ 일 때의 송수신단의 파형
 Fig. 7 Waveform of the transmitting and receiving node ($L=85\mu\text{H}$ $C=0.0158\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=0.02\Omega$)

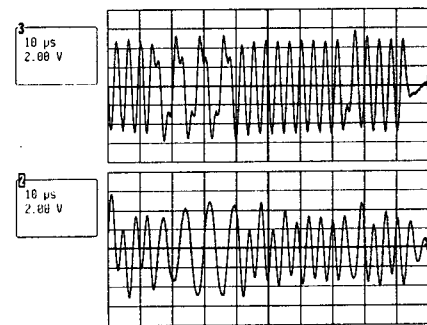
그러나 그림 6에서 알 수 있듯이 약간의 커패시터의 변화에 더욱 수신 신호의 크기가 감소한다. 그림 6(b)에서 알 수 있듯이 부하 커패시터의 영향으로 전류가 내부

저항이 있는 증폭기에서는 전압 강하가 일어나 $r = 25\Omega$ 일 때 1Vp-p 이하로 시스템 전압이 강해진다. 이때 내부저항을 작게 만들면 그림 7처럼 2Vp-p 이상으로 되어 약 2배의 개선이 이뤄진다. 따라서 내부 저항이 작으면 작을수록 전압 강하는 더욱 많이 줄어든다.

본 실험에서는 기존 Intellon사의 전력선 통신용 모델 P400을 그대로 쓰고 출력 앰프인 P111의 양극성 신호를 이용하였고 삼화전자의 L-82 페라이트 코어를 사용하여 전송선로에 통신신호 커플링하였다^{[4][5]}. 두 개의 시스템 특성을 비교하기 위하여 무부하인 경우와 부하가 있을 때의 수신단 전압을 측정하였다. 그림 8은 기존 시스템 송수신 전압과 제안된 시스템의 송수신 전압파형을 보였다. 그림 8(b)는 그림 8(a)에 비하여 수신전압이 높게 나타남으로 기존 전력선에 있는 부하의 영향을 적게 받을 수 있다.



(a) 기존 시스템의 파형
 (a) Waveform of the conventional system

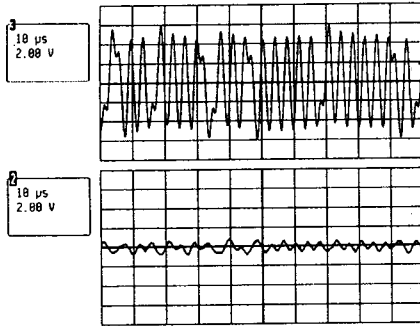


(b) 제안된 시스템의 파형
 (b) Waveform of the proposed system

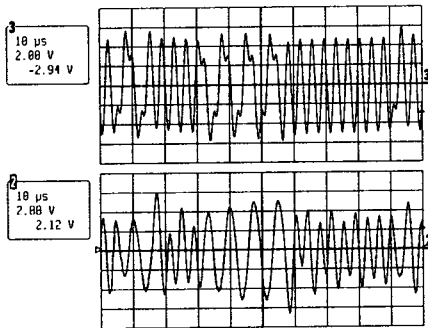
그림 8 무부하시 전력 선상의 수신 신호 비교
 Fig. 8 Comparison of received signal on the power line with no load

부하의 경우는 50µF의 역률 보상 커패시터를 송수신단의 중간에 넣었다. 전력선은 컴퓨터 등 부하가 다량으로 걸쳐있는 원광대 공대 전력선을 그대로 사용하고 송수신 거리는 편의상 근거리로 하였다. 대신 그 사이에 부하나 신호유입 방지필터(Blocking Filter)를 강하게 걸었다.

그림 9는 50 μ F의 역률 보상 커패시터를 송수신단의 중간에 넣었을 때 수신 파형을 비교한 그림이다. 기존 방식이 2Vp-p 일 때 제안된 방식에서는 수신 전압이 약 8Vp-p임을 보인다. 즉 400%의 성능 향상이라 할 수 있다. 완전히 10Vp-p를 내지 못하는 고주파가 분포된 임피던스에 의한 감소를 피할 수 없기 때문이다.



(a) 기존 시스템의 파형
(a) Waveform of the conventional system



(b) 제안된 시스템의 파형
(b) Waveform of the proposed system

그림 9 부하가 있을 때 전력 선상의 수신 신호 비교
Fig. 9 Comparison of received signal on the power line with load

마지막으로 그림 10은 제작한 시스템을 송수신단에 직접 연결하여 실험을 하는 장면이다.

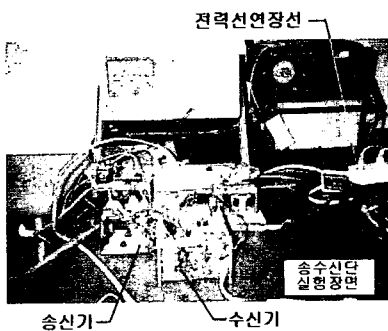


그림 10 송수신단의 실험 장치
Fig. 10 Experimental equipment of the transmitting and receiving node

4. 결 론

본 논문은 기존의 선형 증폭기를 스위칭 증폭기로 적용하여 내부저항이 작은 시스템을 개발하고 고효율의 페라이트 코어를 이용해 신호 전원의 감쇠가 거의 발생하지 않는 장치를 제작하였다. PLC 통신 시스템에 있어서, 부하 단의 커패시터 부하는 반송 주파수에 대해서 저 임피던스로 작용하여 통신에 장애를 야기하는데 본 연구는 이러한 통신 장애 문제를 해결하기 위한 것으로써, 브리지 인버터를 이용하여 내부저항이 극히 작은 스위칭 증폭기를 제안하고 여기에 고효율의 페라이트 코어를 사용하여 송수신단과 전송선로 사이에서 커플링시 발생하는 신호 감쇠를 최소화하여 기존 방식에 비해 더 큰 부하에 동작 가능하고 상대적으로 원거리 송신에 유리한 시스템을 제안하고 설계 제작하였다. 인버터의 특성상 발생하는 송수신 신호의 충돌은 스위칭 소자를 접지 방향에 역으로 연결한 후 동기신호에 의해 스위치를 on/off 함으로써 해결하였다. 향후에는 1MHz 스위칭이 가능한 FET로 고속전송에 적용하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Masaoki Tanaka "High Frequency Noise Power Spectrum, Impedance & Transmission Loss of Power Line in Japan on Intrabuilding Power Line Communications" *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol. 34, No. 2, May 1988.
- [2] K. C. Abraham & S. Roy, "A Novel High-Speed PLC Communication Modem," *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 7, No. 4, pp 1760~1768, October 1992.
- [3] 서민상, 성석경, 안병규 "전력선 통신을 이용한 plant 감시 제어 시스템" 전력전자 학술대회 논문집, pp. 17~19, 1997, 7.
- [4] Denny Radford, Member IEEE "New Spread Spectrum Technologies Enable Low Cost Control Applications For Residential And Commercial Use" *Intellon Corporation* Ocala, Florida 34482 USA.
- [5] "SSC P400 Hard ware Design Reference - Technical Reference Note #0026," *Intellon*
- [6] Marvin J. Fisher "Power Electronics" PWS-KENT PUBLISHING COMPANY 1991.
- [7] B. K. Bose "Power Electronics and AC Drives" *Prentice-Hall*, 1986.