

페라이트 코어와 스위칭 증폭기를 이용한 PLC 신호 감쇠 저하 시스템

高宗宣, 金榮一*, 金圭謙

A Signal Anti-reduction System in PLC using Ferrite Core and Switching Amplifier

Jong-Sun Ko, Young-Il Kim, and Gyu-Gyeom Kim

요 약

본 논문은 근거리 통신에 있어서 새로운 통신선을 설치하여 이용하는 대신에 기존의 전력선을 이용하는 통신시스템에 대하여 신호감쇠 저감방법을 다룬다. 이 시스템은 정보화 시대가 되어감에 따라 원격검침이나 가정자동화 등에 매우 유용하다. 기존의 시스템은 정보를 전달하는데 있어서 신호전압의 감쇠로 인한 문제점을 가지고 있다. 제안된 시스템은 작은 내부저항을 가지는 특수한 구조의 스위칭 증폭기 시스템과 커플링 회로에 고효율의 페라이트 코어를 사용하였다. PLC시스템의 부하손실과 커플링 회로에서의 손실을 막기 위해 이 새로운 시스템을 제안하였다.

ABSTRACT

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

Key Words : PLC System, Anti-reduction System, Switching Amplifier System, Ferrite Core

1. 서 론

정보화 사회가 되어감에 따라 컴퓨터 통신, 가정 자동화 및 공장 자동화 등 산업사회는 원격조정 시스템화가 되어 가고 있으며 이에 따라 새로운 통신선의 설

치가 필요 불가결하게 되었다. 예를 들어 기존에는 새로운 건물을 건축 할 때는 건물에 통신선로를 별도로 만들지 않았다. 다만 전력선과 상·하수도관 설치가 대부분을 이루었다. 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 설치되어 있는 전력선을 이용하므로 새로운 통신선을 설치하는 추가비용의 부담이 없고 전송 터미

*원광대 전자공학과 석사과정

E-mail : weist7@hanmir.com

접수일자 : 2001. 8. 3

1차심사요청일 : 2001. 8. 4 2차심사요청일 : 2001. 9. 10

심사완료일 : 2001. 9. 25

널 또한 기존 건물의 벽에 설치되어 있는 소켓을 그대로 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.¹⁴⁾ 그러나, 전기적 잡음 등에 의한 문제를 협대역 통신 방식을 광대역 통신 방식으로 개발하여 해결하고 있으나 실제로 시스템을 구성하는데 있어서 내부 저항과 용량성 부하에 의한 전압 강하로 인한 신호의 손실로 인해 정보를 전달하는데 어려운 점이 발생한다.¹⁵⁾

전력선을 이용한 PLC 통신 시스템에 있어서, 부하단에 존재하는 커패시터 부하가 반송 주파수에 대해서 저 임피던스로 작용하므로 전송신호의 감쇠를 발생시키며 송수신기와 전송선로간의 통신신호 커플링 시에도 손실이 발생한다.¹⁷⁾ 본 연구는 이러한 통신 장애 문제를 해결하기 위한 것으로서, 특수한 구조의 스위칭 증폭기 시스템과 고효율 페라이트 코어를 이용한 신호 감쇠 방지 장치를 제안한다.

2. 본 론

공장 및 가정에서 사용되는 부하들 중 전원 공급장치나 전동기 구동 시스템 등에는 흔히 커패시터가 사용된다. 또한 사무실에서 사용하는 다량의 PC에도 등가 커패시터가 존재한다. 이러한 커패시터는 PLC 통신 시스템의 반송주파수에서 저 임피던스로 작용하여 반송전류를 증가시킨다. 기존 시스템의 증폭기는 내부 저항이 20Ω 이상의 OP-Amp를 사용하고 있으므로 이러한 부하전류의 증가로 인해 그림 2의 r에 의하여 신호전압이 송신단에서 감소하게 된다.¹⁷⁾ 그러나 제안된 시스템은 스위칭 Amp를 사용하므로 내부저항이 매우 작아 이런 문제를 약화시킬 수 있다. 기존 시스템은 앞에서 언급한 OP-Amp의 내부저항으로 인하여 통신 신호 전압의 강하를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 송수신단 증폭기의 내부 저항이 매우 작아야 하며, 또한 송수신단 증폭기가 무효전력을 공급할 수 있어야 한다. 그러나 송수신단의 양방향으로 작동하게 되면 수신시 증폭기의 내부 저항을 작게 할 경우 증폭기가 송수신단 상호간에 저 임피던스 부하로 작용한다는 문제가 발생한다.

본 연구에서는 내부 저항이 작고 무효 전력을 공급할 수 있으며 송수신단 상호간의 저 임피던스 문제가 없는 특수한 구조의 스위칭 증폭기 시스템을 제안하고 개발하여 커패시터 부하에 의한 PLC 통신 장애 문제를 해결하고 높은 투자율을 갖는 고효율의 페라이트 코어를 커플링 회로에 이용하여 송신기와 전송선로에 발생하는 전송신호 감쇠를 최소화 하고자 한다. 제안된 시스템은 기존 시스템의 OP-Amp로 구성된 선

형 증폭기를 풀 브리지 인버터를 이용한 스위칭 증폭기로 교체하였고 커플링 회로에 고효율의 페라이트 코어를 추가하였다. 자기회로에서 투자율이 높으면 이로 인해 등가회로에서 누설 인덕턴스가 줄어드는 효과가 있다. 따라서, 이 고효율의 페라이트 코어는 높은 투자율에 의해 누설 인덕턴스의 양이 급격히 줄어들어 인덕턴스의 신호전압 강하 역시 줄어들게 된다.

제안된 시스템의 블록선도는 그림 1과 같다.

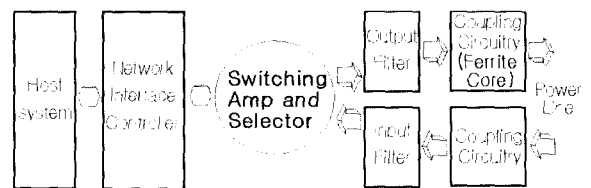


그림 1 PLC 시스템 블록선도
Fig. 1 Block diagram of a PLC system

이 시스템의 전체 개략도를 살펴보면 그림 2와 같다.

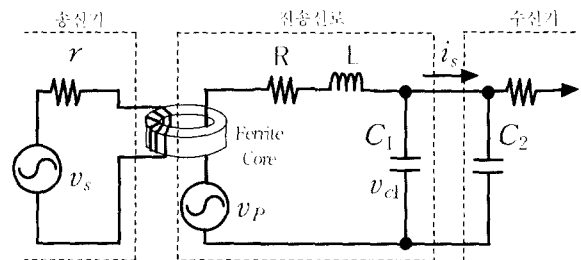


그림 2 부하등가회로
Fig. 2 A load equivalent circuit

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

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

이 미분방정식을 라플라스 변환하여 부하 양단전압을 구하면 다음과 같다.

$$V_{Cl}(s) = \frac{1}{LC_c s^2 + (r+R)C_c s + 1} V_s(s) \quad (2)$$

여기서 $C_c = C_1 + C_2$ 이다.

위 식에서 부하전류 I_s 는 다음과 같이 구해진다.

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

이처럼 측정 단의 신호는 측정 단의 커패시터 C_2 에 의해 영향을 받아 변하게 된다. 따라서 측정 단의 커패시터 C_2 를 임의로 조절함에 따라 측정 단의 전류를 감지하기에 용이하다. 이 측정된 전류 파형의 정보를 전압 파형으로 바꿔 수신신호를 얻게 된다. 전력선상의 잡음의 원인은 전력선에 연결되어 동작하는 디지털 기기, 모터의 구동 정지 시에 발생하는 노이즈, 다른 통신기기에서 발생시키는 잡음 등, 전기기기에서 발생하는 잡음이 대부분이고 또 기기마다 잡음전압이 다르게 나타난다. 데이터를 전송하기 위해서는 이러한 잡음에 대한 적당한 신호/잡음비 확보와 적절한 반송 주파수의 선정 등에 세심한 고려가 필요하다. 따라서 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 구할 수 있다^[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 연결 시 많은 신호 성분이 임피던스가 적은 전기기기 측으로 유입되기 때문에 통신 시스템 구축 시 문제가 되며 이때 해결 방법은 반송 주파수를 중심으로 신호의 대역폭을 포함할 수 있는 큰 Q 값을 가지는 신호유입방지필터(Blocking Filter)를 연결하면 된다.

본 연구에서는 선형 증폭기의 내부 저항 및 무효 전력 문제를 4상한에서 동작하는 전 브리지 스위칭 증폭기와 송수신 선택 스위치를 추가하여 해결한다. 아울러 높은 주파수 대역의 고효율 페라이트 코어를 사용하여 누설 인덕턴스로 인한 신호의 감소를 저감시키고 이와 더불어 전송라인의 임피던스를 감소시키는 효과도 얻는다.

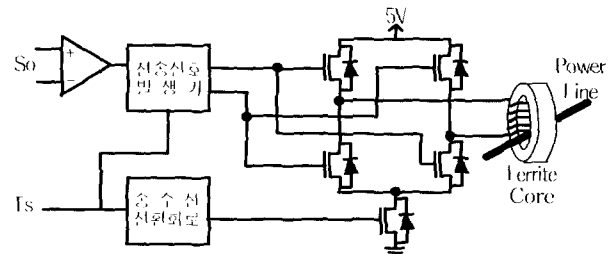


그림 3 광대역통신용 새로운 증폭기의 블록선도
Fig. 3 Block diagram of a new amplifier for SSC

그림 3은 제안된 시스템에 사용된 위상 정보를 사용하는 광대역통신용 새로운 증폭기의 블록선도를 나타내고 있다^[2,5].

트랜지스터에 비해 동작 주파수가 매우 빠른 전계효과 트랜지스터(FET)를 적용하여 스위칭 증폭기 시스템을 구성하였다. 최근에는 1MHz까지 스위칭이 가능한 소자도 나와 있다. 광대역통신용 칩셋에서 나오는 신호를 So라고 하고 이 신호가 비교기를 거쳐 스위칭 제어 신호로 바뀐다. 이 전송신호로 브리지 인버터를 구동하여 5V 양방향 신호를 발생시키면 내부저항이 매우 작은 신호를 얻게 된다. 비교기 신호는 인버터 스위칭 신호로 바꾸는 기능을 가진다.

이때 Ts 신호에 따라 전체를 동기 시키는 기능을 넣어 송수신 신호의 충돌을 막았다. 전체 블록에 나타난 송수신 전환과 동시에 각 소자를 운용하는 형태로 구현하여 내부저항이 매우 작고 안정한 전환을 얻었고 이 신호를 고효율의 페라이트 코어를 이용하여 커플링시켜 송수신기와 통신선로간의 전달신호의 감쇠를 막을 수 있었다. 전송신호 발생기는 그림 4처럼 인버터 구동회로를 간단히 이용한다.

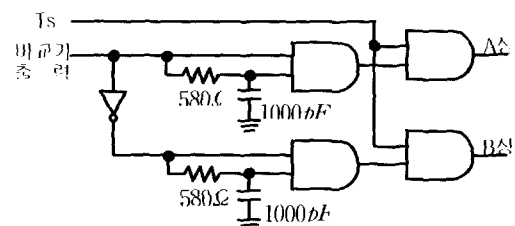
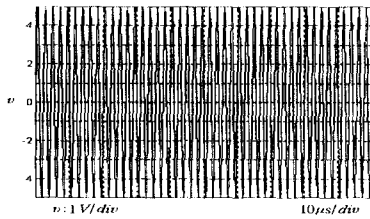


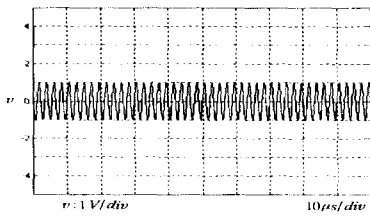
그림 4 전송신호 발생기
Fig. 4 Transmission signal

3. 모의실험 및 실험결과

그림 5~7은 내부저항이 있는 기존 시스템에 부하 커패시터가 주는 영향을 모의 실험한 것이다.

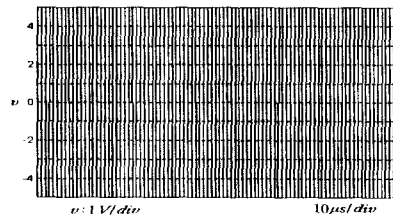


(a) 송신 신호
(a) Transmitted signal

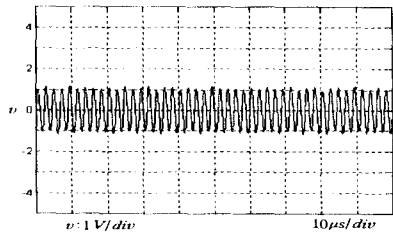


(b) 수신 신호
(b) Received signal

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
($L=85\ \mu\text{H}$ $C=0.0087\ \mu\text{F}$ $R=0.62\ \Omega$ $r=25\ \Omega$)

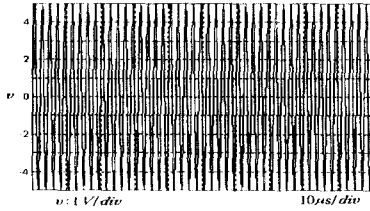


(a) 송신 신호
(a) Transmitted signal

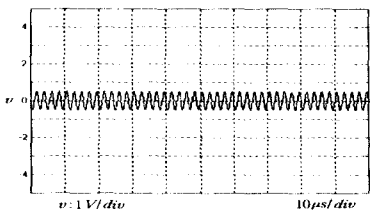


(b) 수신 신호
(b) Received signal

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
($L=85\ \mu\text{H}$ $C=0.0158\ \mu\text{F}$ $R=0.62\ \Omega$ $r=0.02\ \Omega$)



(a) 송신 신호
(a) Transmitted signal



(b) 수신 신호
(b) Received signal

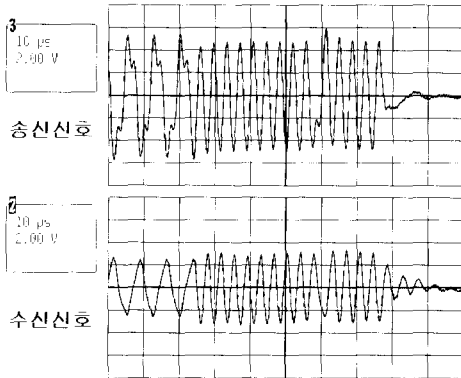
그림 6 $L=85\ \mu\text{H}$ $C=0.0158\ \mu\text{F}$ $R=0.62\ \Omega$ $r=25\ \Omega$ 일 때의 송수신단의 파형
Fig. 6 waveform of the transmitting and receiving node
($L=85\ \mu\text{H}$ $C=0.0158\ \mu\text{F}$ $R=0.62\ \Omega$ $r=25\ \Omega$)

그림 5는 내부저항 $r = 25\ \Omega$ 일 때 커패시터 부하가 비교적 작은 경우 10Vp p의 송신전압에 대하여 2Vp p의 수신전압을 보이고 있다.

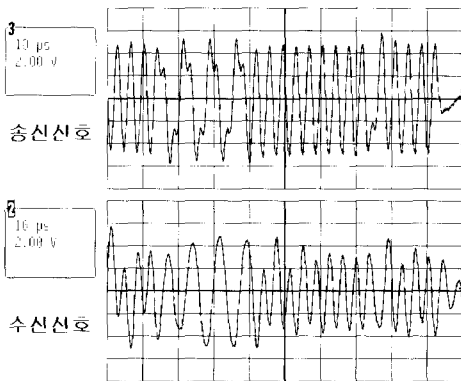
그러나 그림 6에서 알 수 있듯이 약간의 커패시터의 변화에도 수신 신호의 크기가 많이 감소하게 된다. 그림 6(b)에서 알 수 있듯이 부하 커패시터의 영향으로 전류가 내부 저항이 있는 증폭기에서는 전압 강하가 일어나 $r = 25\ \Omega$ 일 때 1Vp p 이하로 시스템 전압이 강해진다.

이때 내부저항을 작게 만들면 그림 7(b)와 같이 2Vp p 이상으로 되어 약 2배의 개선이 이뤄진다. 따라서 내부 저항이 작을수록 전압 강하는 더욱 많이 줄어든다.

본 실험에서는 기존 Intellon사의 전력선 통신용 모듈 P400을 그대로 사용하고 출력 앰프인 P111의 양극성 신호를 이용하였고 삼화전자의 SN-20 페라이트 코어를 사용하여 전송선로에 통신신호를 커플링 하였다^[5]. 두 시스템의 특성을 비교하기 위하여 부하가 없는 경우와 부하가 있을 때의 수신측 전압을 측정하였다.



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

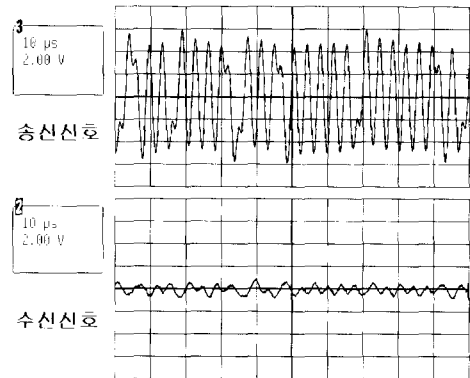


(b) 제안된 시스템의 파형
(b) Waveform of the proposed system

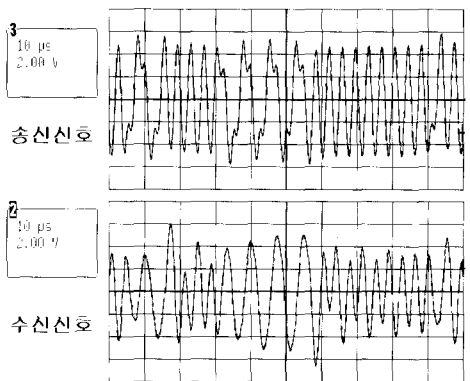
그림 8 무부하시 전력 선상의 신호 비교
Fig. 8 Comparison of signal on the power line with no load

그림 8은 기존 시스템 송수신 전압과 제안된 시스템의 송수신 전압 파형을 보였다. 그림 8(b)는 그림 8(a)에 비하여 수신전압이 높게 나타남으로 기존 전력선에 있는 자체 부하의 영향을 적게 받음을 알 수 있다. 실험에 사용된 전력선은 컴퓨터 등 부하가 다양으로 걸쳐있는 기존 전력선을 그대로 사용하고 송수신 거리는 편의상 근거리로 하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 제안된 시스템에는 패라이트 코어를 사용하였고 그 결과로 기존의 경우보다 신호감쇠가 줄어들음을 알 수 있다.

그림 9는 다량의 컴퓨터 등 부하가 설치된 건물의 2개 층에서 실험할 때의 수신 파형을 비교한 그림이다. 기존 방식이 2Vp-p일 때 제안된 방식에서는 수신전압이 약 8Vp-p임을 보인다. 즉 400%의 성능 향상이라 할 수 있다. 완전히 10Vp-p를 내지 못함은 고주파가



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

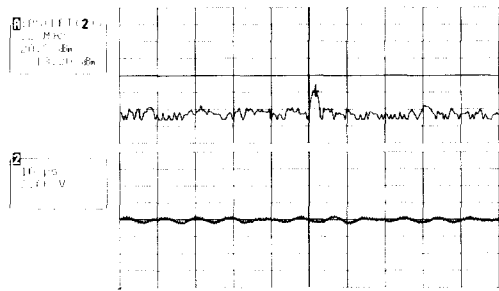


(b) 제안된 시스템의 파형
(b) Waveform of the proposed system

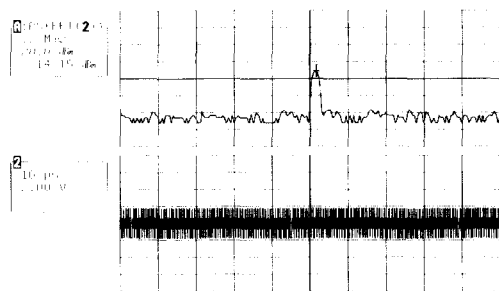
그림 9 부하가 있을 때 전력 선상의 신호 비교
Fig. 9 Comparison of signal on the power line with load

분포된 임피던스에 의한 감소를 피할 수 없기 때문이다. 그림 9(a)의 경우 비록 2Vp-p의 수신전압을 얻을 수 있지만 영점을 지나는 신호가 부정확하여 정확한 신호전송이 어려우며 재전송 등의 절차로 전송속도가 급격히 떨어질 가능성이 많다.

그림 10은 푸리에 변환한 파형으로 위 그림은 FFT의 주파수 응답이고 아랫 그림은 시간영역의 파형이다. 그림 10(a)는 기존 송신방식으로 그림에서 알 수 있듯이 스위칭이 없으므로 노이즈 성분은 적으나 보내려는 신호의 크기는 그 주파수에서 -13.20dB이다. 그러나 그림 10(b)의 제안된 시스템에서는 스위칭에 의한 노이즈성분은 전 주파수 영역에서 나타나 보내려는 신호의 주파수에서의 신호의 크기가 14.15dB로 잘 전달되고 있음을 알 수 있다.



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



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

그림 10 주파수 응답 파형 비교
Fig. 10 Comparison of Frequency Response signal

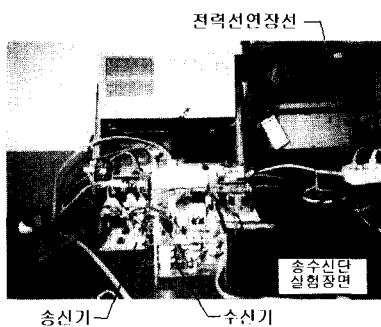


그림 11 송수신단의 실험 장치
Fig. 11 Experimental equipment of the transmitting and receiving node

마지막으로 그림 11은 제작한 시스템을 송수신단에 직접 연결하여 실험하는 장면이다.

4. 결 론

본 논문은 기존의 선형 증폭기를 스위칭 증폭기로 적용하여 내부저항이 작은 시스템을 개발하고 고효율

의 페라이트 코어를 이용해 신호 전원의 감쇠가 거의 발생하지 않는 장치를 구현하였다. 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 것이다. 브리지 인버터를 이용하여 내부저항이 극히 작은 스위칭 증폭기를 제안하고 여기에 고효율의 페라이트 코어를 사용하여 송수신단과 전송선로 사이에서 커플링시 발생하는 신호 감쇠를 최소화하였다. 제안된 방식은 기존 방식에 비해 더 큰 부하에 동작 가능하고 상대적으로 원거리 송신에 유리한 시스템임을 실험을 통해 보였다. 인버터의 특성상 발생하는 송수신 신호의 충돌은 스위칭 소자를 접지 방향에 역으로 연결한 후 동기신호에 의해 스위치를 절환 함으로써 해결하였다. 향후에는 제안된 방식을 1MHz 스위칭이 가능한 FET를 사용하여 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, October 1992, pp. 1760~1768.
- [3] 서민상, 성석경, 안병규 "전력선 통신을 이용한 plant 감시 제어 시스템" 전력전자 학술대회 논문집, 1997, 7, pp 17~19.
- [4] 박종연, 주병훈 "전력선 통신을 이용한 조광 제어 시스템" 전력전자학회 논문지, Vol. 5, No. 6, 2000, 12, pp 632 ~637.
- [5] J. T. Tengdin, "Distribution Line Carrier Communications - A Historical Perspective", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. PERD 2, No. 2, April 1987.
- [6] Denny Radford, Member IEEE "New Spread Spectrum Technologies Enable Low Cost Control Applications For Residential And Commercial Use" Intellon Corporation Ocala, Florida 34482 USA.
- [7] "SSC P400 Hard ware Design Reference Technical Reference Note #0026", Intellon.
- [8] Marvin J. Fisher, "Power Electronics", PWS-KENT PUBLISHING COMPANY 1991.
- [9] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drives", Prentice Hall, 1986.

저 자 소 개



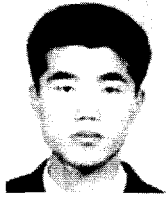
고종선(高宗宣)

1960년 3월 20일생. 1984년 서울대 전기 공학과 졸업, 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1983년~1995년 삼성전자 생산기술센터 선임연구원. 1995년~1996년 삼성그룹 삼성경영기술대 사내 교수(부장). 1999년 2월~2000년 1월 미국 Tennessee 주립대(UT), Post-Doc. 1996~현재 원광대학교 공과대학 전기전자 및 정보공학부 조교수.



김영일(金榮一)

1974년 8월 15일생. 1998년 원광대 전자 공학과 졸업. 2001년 현재 동 대학원 전자공학과 컴퓨터 및 제어시스템 전공 석사과정.



김규겸(金圭謙)

1972년 1월 19일생. 1996년 원광대 전자 공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 전자공학과 컴퓨터 및 제어시스템 전공 박사과정.