

전력선 통신 시스템을 위한 신호 감쇠 저하 장치 연구

高宗宣, 金周煥, 尹星九, 李起元

A Study on the Signal Anti-reduction Equipment in Power Line Communication

Jong-Sun Ko, Ju-Hwan Kim, Sung-Koo Youn, Gi-Won Lee

요 약

본 논문은 기존의 전력선을 이용한 전력선 반송 통신 시스템의 신호 감쇠 저하 방법을 연구한다. 제안된 시스템은 별도의 통신 선로를 설치할 필요가 없고 정보화 시대에 발맞춰 원격 검침, 가정 자동화 등 여러면에서 효율적으로 사용될 수 있다. 기존 시스템은 커패시터에 의한 반송 전류의 증가와 더불어 통신전압의 강하로 정보전달의 어려움을 가지고 있다. 제안된 시스템은 내부저항이 작고 무효전력을 공급할 수 있으며 송수신단 상호간의 저임피던스 문제가 없는 특수한 구조의 스위칭 증폭기 시스템을 가진다. 본 연구는 콘덴서 부하에 의한 PLC(Power Line Carrier) 통신 장에 문제를 해결하는데 그 목적이 있다.

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 and increasing carrier current. Proposed idea is a special type switching amplifier system which has a low inner resistance. It can provide reactive power and does not have low impedance between the transceivers. This new system is proposed to overcome the loss of conductor load in a PLC system.

Key Words · PLC System, Anti-reduction Equipment, Switching Amplifier System

1. 서 론

정보화 사회가 되어감에 따라 컴퓨터 통신, 가정 자동화 및 공장 자동화등 산업사회는 원격 조정 시스템화가 되어 가고 있으며 이에 따라 통신선의 설치가 필요 불가결하게 되었다. 예를 들어 종전의 빌딩을 건축할 때는 건물에 통신선로를 별도로 만들지 않았다. 다만 전력선과 상·하수도관 설치가 대부분을 이루었다. 그러나 요즘의 정보화 사회는 통신망을 갖춘 세대라고 불리워질 만큼 통신체계의 역할이 크게 부각되어 가고 있다. 이에 따라 계획에 없던 통신체계를 새로 정립한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 또 통신망을 새로 구축하더라도 막대한 비용이 소요된다^{[1][2]} 전력선을

이용한 통신방법은 외국에서 1920년대 초부터 제안되어 왔다^[3]. 부분적으로 실용화가 되었지만 완벽한 시스템은 아직 존재하지 않고 근거리용의 초보적인 단계에 있다^[4]. 우리나라에서는 삼성에서 1989년에 전력량의 자동 검침과 전력선의 이상감지를 검출하기 위해 시도되었다. PLC 시스템은 별도의 통신 선로를 설치할 필요 없이 이미 설치된 전력선을 이용하므로 별도의 통신선을 설치하는 비용의 부담이 없고 전송 터미널도 기존 벽에 설치된 소켓을 그대로 이용한다는 장점을 가진다. 그러나, 전기적 잡음 등에 의한 문제에서 현대역 통신 방식을 광대역 통신 방식으로 개발하여 해결하고 있으나 실제 회로를 구현함에 있어서 내부 저항에 의한 전압 강하로 정보를 전달하는데 어려운 점이

발생한다^[6].

전력선을 이용한 PLC 통신 시스템에 있어서, 부하단에 존재하는 커패시터 부하는 반송 주파수에 대해서 저 임피던스로 작용하여 통신에 장애를 야기한다. 본 연구는 이러한 통신 장애 문제를 해결하기 위한 것으로서, 특수한 구조의 스위칭 증폭기 시스템을 제안하고 개발하여 이 문제를 해결하고자 한다^{[7][8]}. 2장에서는 PLC 시스템의 개략도와 스위칭 인버터의 구조 그리고 광대역 통신용 증폭기에 대해서 언급되었다. 3장에서는 모의 실험과 실험 결과, 4장은 결론으로 구성된다.

2. 본 론

2.1 PLC 시스템 구성

공장 및 가정에서 사용되는 부하들 중 전원 공급장치나 전동기 구동 시스템은 흔히 커패시터가 사용된다. 또한 사무실의 다량의 PC에도 능가 커패시터가 존재한다. 이러한 커패시터는 PLC 통신 시스템의 반송 주파수에서 저 임피던스로 작용하여 반송 전류를 증가시킵니다. 아울러 통신 전압의 강하를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 송수신단 증폭기의 내부 저항이 매우 작아야 하며, 또한 송수신단 증폭기가 무효전력을 공급할 수 있어야 한다. 그러나 송수신단 증폭기의 내부 저항을 작게 하면 증폭기가 송수신단 상호간에 저 임피던스 부하로 작용한다는 문제가 발생한다.

본 연구에서는 내부 저항이 작으며 무효 전력을 공급할 수 있고, 아울러 송수신단 상호간의 저 임피던스 문제가 없는 특수한 구조의 스위칭 증폭기 시스템을 제안하고 개발하여 커패시터 부하에 의한 PLC 통신 장애 문제를 해결하고자 한다. 기존 PLC 시스템과 제안된 시스템의 블록선도는 다음과 같다.

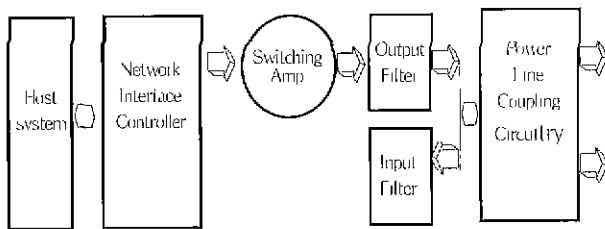


그림 1 PLC 시스템 블록선도
Fig. 1 Block diagram of a PLC system

이 시스템의 전체 개략도를 보면 그림 2와 같다.

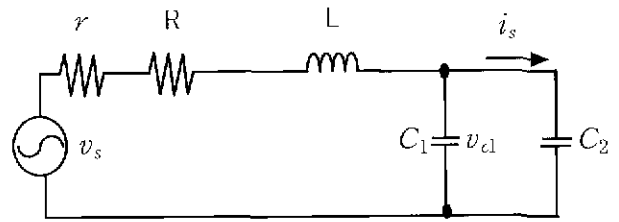


그림 2 부하등가회로
Fig. 2 A load equivalent circuit

그림 2에서 송신단과 수신단의 전력선 상에서는 진력선상의 잡음 특성, 임피던스 특성 및 신호 감쇠 특성등을 고려해야 한다. 먼저 전력선 상의 회로의 방정식을 구해보면 다음과 같다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri + r + \frac{1}{C_e} \int idt = v, \quad (1)$$

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 측정단의 전류는 측정단의 커패시터 C_2 에 영향을 받는다. 따라서 측정단의 커패시터를 임의로 조절함에 따라 측정단의 전류를 감지하기에 용이하다. 이 측정된 전류파형의 정보를 전압파형으로 바꿔 정보를 추출한다. 전력선상의 잡음의 원인은 전력선에 연결되어 동작하는 디지털 기기, 모터의 구동 정지시 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 선정등에 세심한 고려가 필요하다. 따라서 각 전기기기에서 반송 주파수에 따

른 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 적은 전기기기로 유입되기 때문에 통신 시스템 구축시 문제가 되며 이때 해결 방법은 반송 주파수를 중심으로 신호의 대역폭을 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. 그림 3은 브리지 인버터의 개념도와 간단한 구성 예를 보여 주고 있다[7][8].

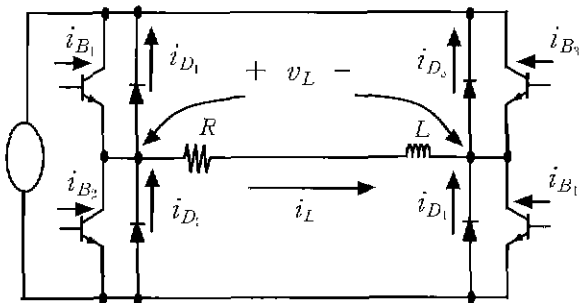


그림 3 브리지 인버터의 간단한 구성 예
Fig. 3 Basic configuration example of a bridge inverter

1번과 4번 소자를 한 신호에 의해 동작시키고 2번과 3번을 같은 신호로 동작시킨다. 1의 소자가 온 상태가 되면 전압이 좌에서 우로 인가된다. 따라서 선로 양단에 양의 전압이 걸리고 반대로 2번 소자 그룹이 온 상태이면 음의 전압이 걸린다. 각 소자의 전압상태, 온오프에 무관하게 역전압이 발생하면 다이오드 1과 4

를 통해 전류 경로가 형성된다. 이러한 동작특성은 기존 선형 증폭기로 구현한 PLC용 증폭기의 동작을 충분히 해낼 수 있다. 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) 스위칭 증폭기

그림 4는 위상 정보를 사용하는 광대역통신용 새로운 증폭기의 블록선도를 나타내고 있다[2][5]. 그림 3의 트랜지스터에 비해 주파수가 매우 빠른 전계효과 트랜지스터(FET)를 적용하여 시스템을 구성하였다. 광대역통신용 칩세트에서 나오는 신호를 So라 하고 이 신호가 비교기를 거쳐 스위칭 제어 신호로 바뀐다. 이 제어 신호로 브리지 인버터를 구동하여 5V 양방향 신호를 발생시키면 내부저항이 매우 작은 신호를 얻게된다. 제어 발생기 부분은 그림 5에 나타냈다. 비교기 신호는 인버터 스위칭 신호로 바꾸는 기능을 가진다. 이때 Ts 신호에 따라 전체를 동기하는 기능을 넣었다. 전체 블록에 나타난 송수신 전환과 동시에 각 소자를 운용하는 형태로 구현하여 안정한 전환을 얻었다.

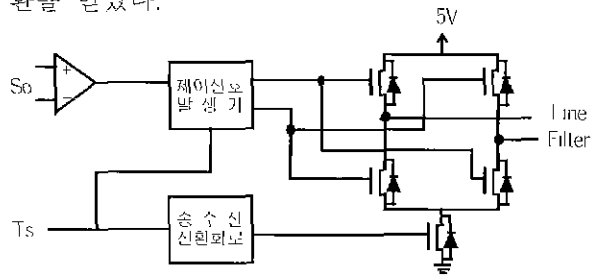


그림 4 광대역통신용 새로운 증폭기의 블록선도
Fig. 4 Block diagram of a new amplifier for SSC

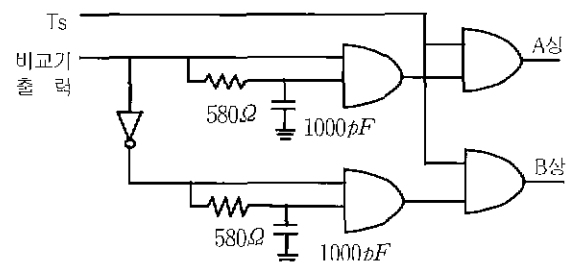


그림 5 제어신호 발생기
Fig. 5 Control signal generator

3. 모의실험 및 실험결과

그림 6~8은 내부 저항이 있는 기존 시스템에 부하 커패시터가 주는 영향을 모의 실험한 것이다. 그림 6은 커패시터 부하가 비교적 작을 때 1V정도의 수신단 전압을 보이고 있다. 그러나 그림 7에서 알 수 있듯이 약간의 커패시터의 변화에 더욱 수신 신호의 크기가 감소한다. 그림 7(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 8처럼 2Vp-p 이상으로 되어 약 2배의 개선이 이뤄진다. 따라서 내부 저항이 작으면 작을수록 전압 강하는 더욱 많이 줄어든다.

그림 9~11은 실험 파형을 나타낸다. 본 실험에서는 기존 Intellon사의 전력선 통신용 모뎀 P400을 그대로 쓰고 출력 앰프인 P111의 양극성 신호를 이용하였다^[5]. 두 개의 시스템 특성을 비교하기 위하여 무부하, 부하, 신호유입방지필터(Blocking Filter)를 각각 연결하여 수신단 전압을 측정하였다. 부하의 경우는 $50\mu\text{F}$ 의 역률 보상 커패시터를 송수신단의 중간에 넣었다.

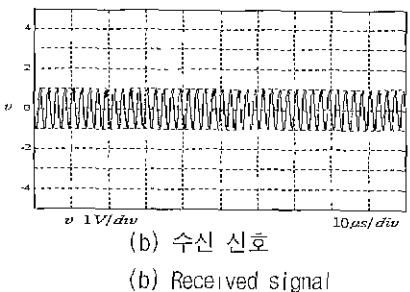
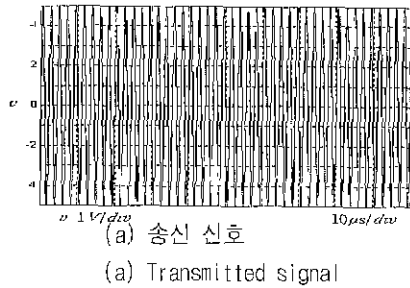


그림 6 $L=85\mu\text{H}$ $C=0.0087\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=25\Omega$ 일 때의 송수신단의 입력 파형
Fig 6 Input waveform of the transmitting and receiving node
($L=85\mu\text{H}$ $C=0.0087\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=25\Omega$)

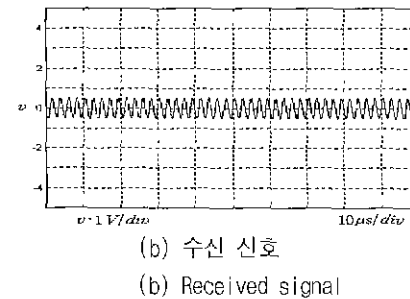
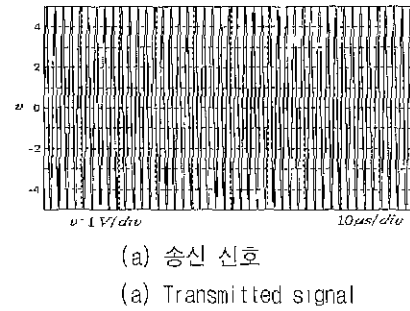


그림 7 $L=85\mu\text{H}$ $C=0.0158\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=25\Omega$ 일 때의 송수신단의 입력 파형
Fig. 7 Input waveform of the transmitting and receiving node
($L=85\mu\text{H}$ $C=0.0158\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=25\Omega$)

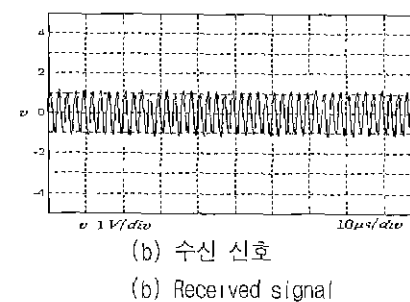
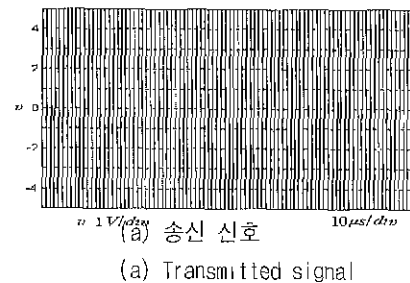


그림 8 $L=85\mu\text{H}$ $C=0.0158\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=0.02\Omega$ 일 때의 송수신단의 파형
Fig 8 Input waveform of the transmitting and receiving node
($L=85\mu\text{H}$ $C=0.0158\mu\text{F}$ $R=0.62\Omega$ $r=0.02\Omega$)

전력선은 컴퓨터 등 부하가 다량으로 걸쳐있는 원광대 공대 전력선을 그대로 사용하고 송수신 거리는 편의상 근거리로 하였다. 대신 그 사이에 부하나 신호유입방지필터(Blocking Filter)를 강하게 걸었다. 그림 9는 기존 시스템 수신 전압과 제안된 시스템의 수신 전압파형을 보였다. 그림 9(b)는 그림 9(a)에 비하여 수신전압이 높게 나타남으로 기존 전력선에 있는 부하의 영향을 적게 받음을 알 수 있다. 전력선 필터와 기생 인덕턴스, 커패시터의 영향으로 기본파에 매우 근사한 파형임을 보인다. 그림 10은 50 μ F의 역률 보상 커패시터를 송수신단의 중간에 넣었을 때 수신 파형을 비교한 그림이다. 기존 방식이 2Vp-p 일 때 제안된 방식에서는 수신 전압이 4Vp-p임을 보인다. 즉 200%의 성능 향상이라 할 수 있다. 완전히 10Vp-p를 내지 못하는 고주파가 분포된 임피던스에 의한 감소를 피할 수 없기 때문이다.

끝으로 용량성 부하 제거용 신호유입방지필터(Blocking Filter)를 각각 연결하여 수신단 전압을 측정 한 결과를 그림 11에 보였다. 그림 11(a)는 전혀 수신 파형이 넘어 오지 못한다. 반면에 그림 11(b)에서 제안된 시스템인 경우는 0.8Vp-p가 수신됨을 알 수 있다. 또한 통신 시스템에서 유효 데이터를 잘 수신하였다. 이곳에 실린 고조파는 수신 필터에 의해 제거되므로 수신기에는 정보가 전달되나 그림 11(a) 경우는

수신 에러를 발생한다. 마지막으로 그림 12는 제작한 시스템을 송수신단에 직접 연결하여 실험을 하는 장면이다.

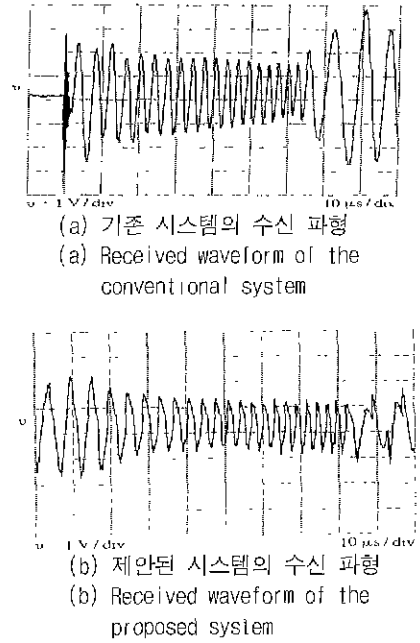


그림 9 전력 선상의 수신 신호 비교
Fig. 9 Comparison of received signal on the power line

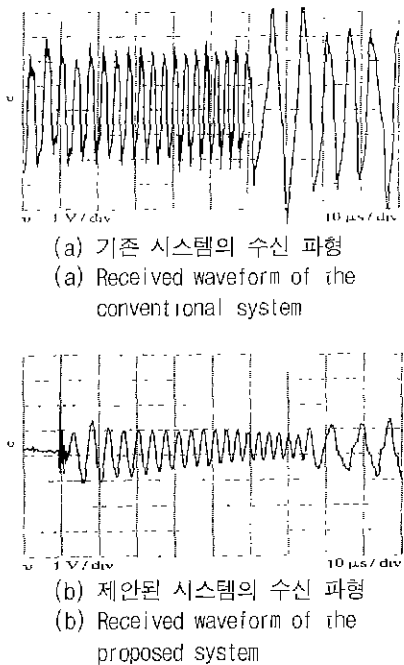


그림 11 부하로써 신호유입방지필터(Blocking Filter)가 있을 때
Fig. 11 A load with blocking filter

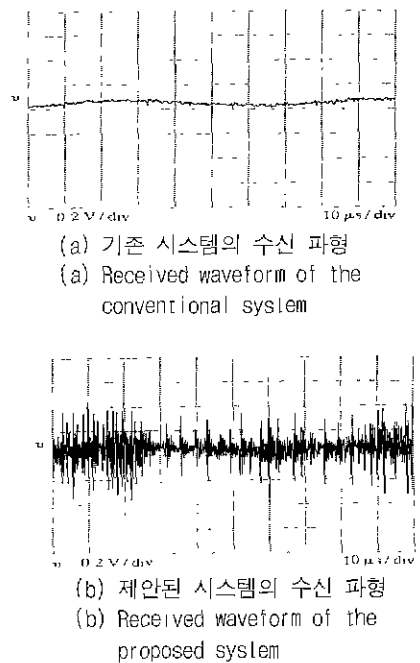


그림 10 부하로써 50 μ F의 역률 보상 콘덴서가 있을 때
Fig. 10 A load with power rate compensation condenser at 50 μ F

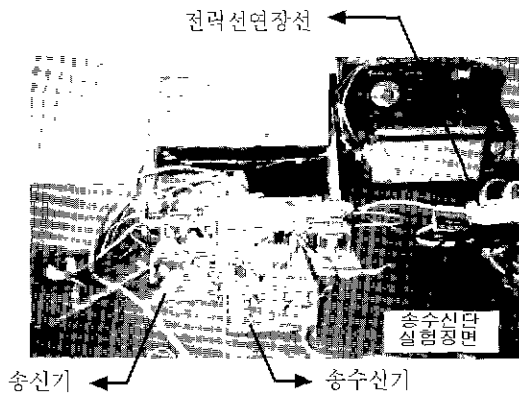


그림 12 송수신단의 실험 장치
Fig. 12 Experimental equipment of the transmitting and receiving node

4. 결 론

본 논문은 기존의 선형 증폭기인 전력선 통신용 모델에서 스위칭 증폭기를 적용하여 내부저항이 작은 시스템을 개발하여 신호 전원의 감쇠가 거의 발생하지 않는 장치를 제작하였다. 전력선을 이용한 PLC 통신 시스템에 있어서, 부하 단에 존재하는 커패시터 부하는 반송 주파수에 대해서 저 임피던스로 작용하여 통신에 장애를 야기한다. 본 연구는 이러한 통신 장애 문제를 해결하기 위한 것으로써, 브리지 인버터를 이용한 스위칭 증폭기 시스템을 제안하고 설계 제작하였다. 본 시스템은 내부 저항이 극히 작아 신호 전원의 감쇠가 거의 발생하지 않는다. 따라서 기존 방식에 비해 더 큰 부하에 동작 가능하고 상대적으로 원거리 송신에 유리하다. 또 브리지 인버터가 가지는 환류 다이오드는 적으나 발생할 수 있는 무효전력 성분을 전원 측에 되돌리는 길을 제공한다. 인버터의 특성상 발생하는 송수신 신호의 충돌은 스위칭 소자를 접지 방향에 역으로 연결한 후 Ts 신호에 맞춰 스위치를 온-오프함으로써 그 문제를 해결하였다. 향후 스위칭 특성을 이용하여 고주파에서 인덕턴스 영향을 줄이는 연구가 필요하다고 사료된다.

이 논문은 한국과학재단 공모과제 98-2-07-01-01-1과 2000년 원광대학교 교비의 일부 지원에 의해서 연구됨.

5. 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] J. T. Tengdn. "Distribution Line Carrier Communications - A Historical Perspective," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. PERD-2. No. 2, April, 1987.
- [5] Denny Radford, Member IEEE "New Spread Spectrum Technologies Enable Low Cost Control Applications For Residential And Commercial Use" Intellon Corporation Ocala, Florida 34482 USA
- [6] "SSC P400 Hard ware Design Reference - Technical Reference Note #0026." Intellon
- [7] Marvin J. Fisher "Power Electronics" PWS-KENT PUBLISHING COMPANY 1991.
- [8] B. K. Bose "Power Electronics and AC Drives" Prentice-Hall, 1986

저 자 소개



고종선(高宗宣)

1960년 3월 20일생 1984년 서울대 전기공학과 졸업, 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사), 1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1983-1995년 삼성전자 생산기술센터 선임연구원 1995년-1996년 삼성그룹 삼성경영기술대 사내 교수(부장). 1999.2-2000.1 미국 Tennessee 주립대(UT), Post-Doc 1996년-현재 원광대학교 공과대학 전기전자공학부 교수.



김주환(金周煥)

1973년 12월 22일생. 1999년 원광대 제어계측공학과 졸업. 현재 원광대학교 공과대학 전기전자공학부 석사과정.



윤성구(尹星九)

1973년 5월 17일생. 1998년 원광대 전자공학과 졸업. 현재 원광대학교 공과대학 전기전자공학부 석사과정.



이기원(李起元)

1961년 12월 12일생. 1984년 서울대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(박사). 1990년-1991년 삼성전자 통신연구소 부가통신연구실 과장. 1991년-1992년 삼성전자 컴퓨터부문 산업전자부 과장. 1992년-1993년 삼성전자 컴퓨터부문 산업전자부 기술고문. 1992년-현재 기인시스템(주) 대표이사.