

논문 2007-44IE-4-5

전력선 통신환경에서의 구동회로 개선에 관한 연구

(A study on the improvement of Drive circuit in the Power Line Communication)

임 승 하*

(Seung-Ha Lim)

요 약

전력선 통신에서는 전력을 공급하기 위해 설치된 전력선을 통신 매체로 사용하기 때문에 채널 환경이 열악하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 원활한 통신을 위해 신호 감쇠를 저감하는 결합기를 적용한 gate 구동회로를 설계하였다. 결합기의 수신 동작과 송신 동작을 등가회로 해석하여 구동회로에 적합한 임피던스를 갖도록 설계하였다. 그 결과 전력선에 연결된 수 많은 전자 제품들의 상호 작용으로 인한 임피던스 변화에 대한 환경을 개선하여 전력선 통신에서의 BER(Bit Error Rate)을 45% 향상하여 더 원활한 통신을 할 수 있도록 하였다.

Abstract

The Channel environment is poor in the power line communication because power line proposed power supply use a communication medium. In this paper, we designed gate drive circuit used coupler reducing the signal diminution for the good communication. We analyzed receiving and transmitting operation of the coupler and designed the drive circuit with the suitable impedance. As a result, we improved the environment of impedance variation due to the inter reaction of many electron products. So, to improve BER(45%) enabled us to communicate smoothly in power line communication.

Keywords : PLC, Gate Drive Circuit, Coupler

I. 서 론

전력선 통신(PLC: Power Line Communication)은 별도의 랜선이나 무선통신 장비 없이 콘센트에 전원만 꽂으면 전력선을 통해 음성과 데이터를 고주파 신호에 실어 나르는 통신기술이다^[1-2]. 전력을 공급하는 전력선을 매개체로 음성과 데이터를 전송하기 때문에 통신선의 추가적 설치없이 기존에 설치되어 있는 전력선을 사용할 수 있어 투자비용이 저렴하고, 전 세계적으로 동일한 표준을 사용할 수 있는 장점이 있다. 그래서 통신 인프라가 취약한 저개발 국가나 저속 통신망을 사용하고 있는 국가에서는 PLC 기술을 전략적으로 채택하려고 있다^[3-4]. 하지만 PLC는 전력을 공급하기 위해 설치

된 전력선을 통신 매체로 사용하기 때문에 일반적인 통신 기술만으로는 쉽게 해결할 수 없는 문제들이 존재한다. PLC에는 높은 부하와 잡음 및 간섭 현상, 가변 임피던스와 신호 감쇠 현상 등의 특수한 환경을 극복하고 제한된 전송 전력을 통해 데이터를 전송해야 하는 어려움이 있다. 잡음으로는 전력상 망에 접속되어 있는 범용 모터나 기타 잡음에 의해 발생하는 배경 백색 잡음, 조명기기의 제광장치(dimmer)에 있는 SCR 등에 의해 발생하는 전력선 기저 대역(baseband)의 고조파 성분 잡음과 전력선 망 상에서 높은 주파수에 영향을 미치는 모든 가전기기의 부하 스위칭에 의해 발생하는 랜덤 임펄스 잡음 등이 있다. 그래서 전력선 통신을 위해서는 열악한 채널 특성을 파악하고 이를 극복하기 위한 변복조, 채널 코딩, 필터링, 프로토콜, 그리고 전력선과 통신 신호를 결합하는 Coupling 기술 등에 대한 연구가 필수적이다^[5-6].

* 정회원, 부천대학 전자과

(Electronics, Bucheon college)

접수일자: 2007년8월21일, 수정완료일: 2007년11월30일

PLC는 시스템을 구축함에 있어서 새로운 배선을 하기 위한 시간과 비용을 절약할 수 있지만 PLC는 통신용 케이블이나 광섬유를 이용한 데이터 전송에 비해 전송용량이 떨어진다. 원인으로서는 높은 부하와 간섭 현상, 잡음, 가변하는 임피던스와 신호 감쇠 등이 있다^[1-2]. 그중에서도 전력선에 연결된 수많은 전자 제품들의 상호 작용으로 인하여 급격한 임피던스 변화를 일으키고, 잡음을 발생시키는 특수한 환경 등이 신호의 전송을 매우 어렵게 한다^[7-8].

PLC에서는 열악한 채널 환경에서도 정상 동작을 하여야 하므로 신호의 구동 회로의 설계가 매우 중요하다. 그래서 데이터양이 많지 않은 저속 전력선 통신 시스템에서는 대부분 대역 확산 방식과 위상 변조 방식이 사용된다^[9-10]. 이런 통신 방식은 정보가 신호의 크기가 없고, 신호의 위상 변화에 있으므로 본 논문에서는 D급 증폭기를 이용하여 신호 감쇠를 저감하는 결합기를 적용한 구동회로를 설계하였다. 그래서 열악한 채널 환경에서의 전력선 통신에서도 신호의 감쇠를 줄여 원활한 통신이 되도록 하였다.

II. 구동 회로

1. 구동회로(Drive Circuit)

디지털 통신은 아날로그 통신에 비해 잡음에 의해서 신호가 왜곡되더라도 복원이 용이하다. 그러나 디지털 통신이라도 실제 채널을 통해 신호를 전달할 때에는 아날로그 신호를 이용한다. 그래서 아날로그 전단부 회로를 통해 디지털 신호를 아날로그 신호로 바꾸어서 전송한다^[11]. 송신부는 디지털-아날로그 변환기(D/A Converter), 대역 통과 필터(Band Pass Filter), 라인 드라이버(Line Driver) 즉, 구동 회로(Drive Circuit)로 이루어져 있고, 수신부는 대역 통과 필터, 자동 이득 제어기(Automatic Gain Controller), 아날로그-디지털 변환기(A/D Converter)로 이루어져 있다^[12].

2. D급 증폭 회로(Class D Amplification Circuit)

그림 1은 D급 증폭기를 이용한 구동회로이다. 그림 4의 D급 증폭기를 이용한 구동회로는 채널의 임피던스가 커져도 출력전압이 VCC를 넘지 않고 전류구동방식이므로 신호의 감쇠가 적으며, 스위칭 소자를 사용하여 동작점의 위치를 바꾸었으므로 소비전력이 적은 장점을 가지고 있다. 하지만 D급 증폭기도 스위칭 전력 손실에 의해 큰 열이 발생하였다. 수신할 때 송신신호가 없으

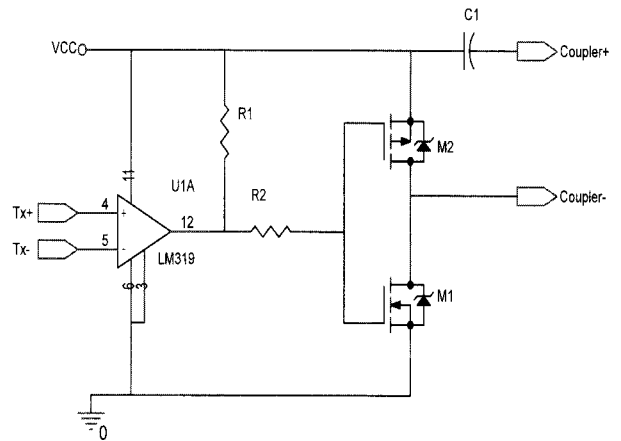


그림 1. D급 증폭기를 이용한 구동회로
Fig. 1. The Drive Circuit using the Class D Amplifier.

므로 M2는 항상 ON 상태이므로 수신 시 모뎀의 임피던스가 작아서 원활한 통신을 할 수 없었다.

3. Gate 구동회로(Gate Drive Circuit)

그림 2는 본 논문에서 사용한 Gate 구동 회로는 전류 구동 방식으로 신호의 감쇠가 적으면서 채널의 임피던스가 변하더라도 출력 전압의 첨두치가 공급 전원으로 고정된다. 트랜지스터의 동작점의 위치를 활성영역에서 포화 영역과 차단 영역으로 바꾸었으므로 전력 소비가 적다^[5]. 수신 시 모뎀의 임피던스가 작아지는 문제를 해결하는 방법으로 모뎀에서 나오는 신호를 이용하였다. 모뎀의 1번 핀에서 나오는 이 신호는 신호를 송신할 때는 High이고 신호를 송신하지 않을 때는 Low인 신호이다. 구동회로의 전원을 이 신호를 이용하여 단락과 개방을 하면 송신하는 시간외에는 모뎀의 임피던스를 크게 할 수 있다.

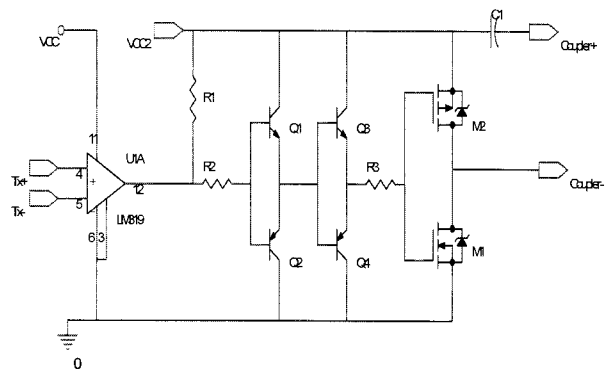


그림 2. Gate 구동 회로
Fig. 2. The Gate Drive Circuit.

III. 결합기(Coupler)

1. 결합기

전력선 통신에서는 다른 통신 선로와 다르게 50~60 [Hz] 전력 신호가 항상 존재한다. 따라서 전력선과 구동회로 사이에는 결합기가 필요로 한다. 저속의 전력선 통신 주파수가 100~400[kHz] 이므로 결합기를 주파수 대역에 적합하도록 구성해야 한다. 트랜스포머의 특성에서 자화 인덕턴스와 누설 인덕턴스는 구성될 회로의 주파수 특성에 매우 중요한 요소이다. 자화 인덕턴스는 신호를 수신할 때 차단 주파수를 결정하므로 적절히 선택해야 하고, 누설 인덕턴스는 고주파 특성 저하를 가져오기 때문에 최대한 작게 해야 한다.

실제 전력선 통신용 트랜스포머는 이상적인 것이 아니므로 이것을 고려하여 동작 특성을 근사적으로 표현할 수 있는 등가 회로가 필요하다.

그림 3은 트랜스포머의 누설인덕턴스를 고려한 등가 회로이다. $L_1\ell$ 과 $L_2\ell$ 는 1차측과 2차측 누설 인덕턴스이고 L_m 은 자화 인덕턴스이다.

그림 4는 결합기의 회로도이다. 수신할 때에 결합기는 고역 통과 필터로 동작하여 50~60[Hz]의 교류 220[V]를 제거하고 통신 주파수 대역의 신호를 얻는다. C_1 과 T_1 의 자화 인덕턴스에 의해 차단 주파수가 결정되고 R_1 은 교류 전원이 차단되었을 때 C_1 에 충전된 전하가 방전할 수 있도록 하는 큰 저항이다.

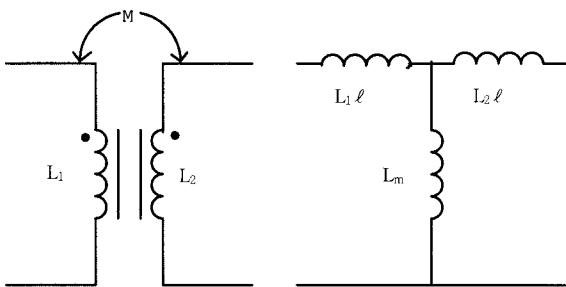


그림 3. 트랜스포머의 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit of transformer.

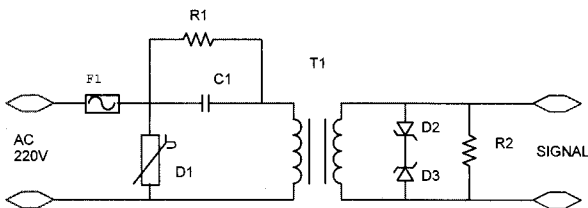


그림 4. 결합기
Fig. 4. Coupler.

D1은 바리스터로 전력선에서 발생하는 고압의 서지 전압으로부터 결합기를 보호하기 위한 소자이다. D2, D3는 제너 다이오드로 전력선 모뎀을 보호하기 위해 일정한 전압 이하로 제한한다.

2. 수신 동작 해석

그림 5는 결합기의 수신 등가 회로이다. R_2 는 모뎀 수신부의 임피던스이고 $L_1\ell$ 과 $L_2\ell$ 는 누설 인덕턴스이다.

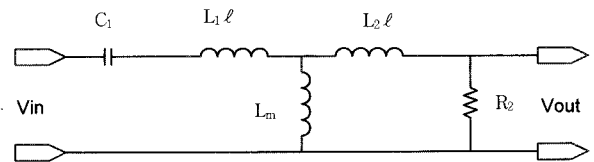


그림 5. 결합기의 수신 등가 회로
Fig. 5. The Equivalent circuit of receiving part of the Coupler.

그림 5의 전달 함수는 다음과 같다.

$$H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{sL_m}{sL_m + \frac{1}{sC_1} + sL_1\lambda} \times \frac{R_2}{sL_2\lambda + R_2} \tag{1}$$

$$= \frac{S^2 \frac{L_m}{L_m + L_1\lambda}}{s^2 + \frac{1}{(L_m + L_1\lambda)C_1}} \times \frac{\frac{R_2}{L_2\lambda}}{s + \frac{R_2}{L_2\lambda}}$$

(1) 식에서 고주파수 극점은 다음과 같다.

$$p(s) = s + \frac{R_2}{L_2\lambda} \tag{2}$$

고주파수 극점 (2)식에서 R_2 가 작고 누설 인덕턴스 $L_2\ell$ 가 크면 극점은 저주파수로 이동하여 통신 주파수에 영향을 미치게 된다. 따라서 R_2 를 크게 하고 $L_2\ell$ 을 최대한 작은 값으로 해야 한다. 수신 동작의 전달 함수에서 고주파 극점을 제외한 부분은 2차 고역 통과 필터 형태의 함수이다. 여기서 전달함수는 다음과 같이 간단하게 표현 할 수 있다.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{1}{L_m C_1}} \tag{3}$$

차단주파수는 (3) 식과 같이 트랜스포머의 자화 인덕턴스 L_m 과 C_1 에 의해서 결정된다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_m C_1}} \tag{4}$$

3. 송신 동작 해석

전력선에 신호를 인가하기 위해서는 통신 주파수 대역 100~400[kHz]에서 결합기 자체의 감쇠는 최소가 되어야 한다. 따라서 결합기의 직렬 임피던스는 0, 병렬 임피던스는 ∞가 되어야 전력선에 최대 신호를 인가할 수 있다.

그림 6은 결합기의 송신 등가 회로이다. 자화 인덕턴스 L_m 은 통신 주파수에서 높은 임피던스를 가지므로 무시할 수 있으며, 누설 인덕턴스 $L_1 \ell$, $L_2 \ell$ 에 의해서 신호의 감쇠가 발생하므로 누설 인덕턴스를 최소한으로 해야 한다.

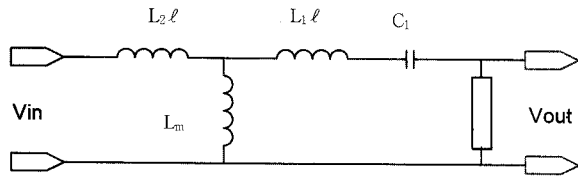


그림 6. 결합기의 송신 등가 회로
Fig. 6. The Equivalent circuit of transmitting part of the Coupler.

IV. 실험 및 결과

차단 주파수는 8[kHz]가 되도록 트랜스포머의 자화 인덕턴스를 결정하였고 누설 인덕턴스는 1[μH]보다 작게 제작하였다. 설계한 부품의 규격은 표 1과 같다.

표 2는 송신 할 때 결합기의 감쇠 특성을 보기 위해

표 1. 결합기의 부품
Table 1. Materials of the coupler.

부품	규격
트랜스포머 (T1)	Toroidal Core, 턴수 1:1, 자화 인덕턴스 390[μH], 누설 인덕턴스 1[μH]
커패시터 (C1)	1[μF] 275[VAC]
저항(R1)	470[kΩ] 0.5[W]
바리스터 (D1)	Z301 300[VAC]
다이오드 (D2,D3)	1.5KE15A, 15[V]

표 2. 부하 임피던스에 따른 감쇠
Table 2. Decrease due to the load impedance.

부하 임피던스	감쇠 [dB] 100 [kHz]	감쇠 [dB] 400 [kHz]
5 [Ω]	0.00	-0.44
10 [Ω]	0.00	-0.03

표 3. 기존 시스템에 사용된 결합기의 부품
Table 3. Materials of the coupler in the exiting system.

부품 번호	부품	사양
T1	트랜스포머	490μH
C1	커패시터	220nF
R1	저항	470kΩ
D1	바리스터	
D2,D3	제너 다이오드	

표 4. 기존 시스템에 사용된 각 부품의 임피던스
Table 4. The impedance value of each material used the exiting system.

부품 번호	사양	임피던스 (100kHz)	임피던스 (400kHz)
T1	490μH	307.9Ω	1.23kΩ
L1	4.9μH	3.1Ω	12.3Ω
C1	220nF	7.2Ω	1.8Ω
R1	470kΩ	470kΩ	470kΩ

표 5. 설계된 부품의 임피던스
Table 5. The impedance value of designed materials.

부품 번호	사양	임피던스 (100kHz)	임피던스 (400kHz)
T1	390μH	245Ω	980Ω
L1	1μH	0.63Ω	2.51Ω
C1	1μF	1.59Ω	0.40Ω
R1	470kΩ	470kΩ	470kΩ

5[Ω], 10[Ω]의 부하에 대한 신호의 감쇠를 실험한 결과이다.

부하 임피던스가 작을수록 감쇠가 증가한다. 기존의 시스템의 결합기의 부품은 표 3과 같다.

표 4는 기존 시스템에 사용된 각 부품의 임피던스를 계산한 것이다^[9]. 자화 인덕턴스 T1과 R1은 병렬로 연결되어 있으므로 클수록 좋고, L1과 C1은 직렬로 연결되어 있으므로 작을수록 좋다. 하지만 기존의 시스템의 경우, 누설인덕턴스(L1)와 커패시터(C1)의 임피던스가 무시 못 할 정도로 크다고 할 수 있다.(전력선 임피던스는 보통 10Ω~100Ω 사이에 분포한다)

기존 시스템에서 수신할 때에는 모뎀의 임피던스가 크므로 문제가 되지 않지만, 송신할 때에는 전력선의 임피던스가 낮기 때문에 아주 큰 문제라고 할 수 있다. 송신전력의 낭비를 가져오기 때문에 전력 효율 저하와 통신이 제대로 이루어지지 않는 원인이 된다. 그래서 본 논문에서는 Gate 구동 회로에서의 결합기의 부품을 다음과 같이 설계하였다. 표 5는 설계된 부품의 임피던

표 6. 기존과 설계된 시스템의 BER

Table 6. The BER of the exiting and designed system.

Noise Voltage	BER [10^{-6}]	
	기존 시스템	설계된 시스템
1000	248.7	136.5

스이다.

표 5에서와 같이 전력 효율 저하 방지와 원활한 통신을 위해 누설인덕턴스를 작게 하면서 자화인덕턴스를 최대한 크게 하였다. 또한 커패시터(C1)의 임피던스도 훨씬 작아진 것을 확인할 수 있었다.

표 6은 노이즈전압을 1000V를 인가하였을 때, 기존 시스템과 설계된 시스템에서의 BER을 측정하는 것이다. 측정 결과 에러율이 45% 향상되어 더 원활한 통신을 할 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

전력선 통신에서는 전력을 공급하기 위해 설치된 전력선을 통신 매체로 사용하기 때문에 채널 환경이 열악하다고 할 수 있다. 이를 극복하기 위해서는 구동회로 연구가 필수적이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 원활한 통신을 위해 신호 감쇠를 저감하는 결합기를 적용한 gate 구동회로를 구현하였다. 전력선과 통신 신호를 결합하는데 필요한 Coupling 기술을 연구하여, 결합기의 수신 동작과 송신 동작을 등가회로 해석하였으며 이것을 이용하여 구동회로에 적합한 임피던스를 갖도록 설계하였다. 그 결과 전력선에 연결된 수많은 전자 제품들의 상호 작용으로 인한 임피던스 변화에 대한 환경을 개선하여 전력선 통신에서의 BER을 45% 향상하여 더 원활한 통신을 할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

- [1] 권옥현, 박재현, 장래혁, "PLC 관련 기술의 동향과 전망," 전자공학회지 제23권 12호, pp. 1479-1792, Dec. 1996.
- [2] 김기두, 이종성, "전력선 통신(PLC) 기술 개요" 대한전자공학회지, The Magazine of the IEEK 2001, v.028, n.011, pp.62-72, pp. 1016-9288, 2001.
- [3] Klaus Dostert, "New PLC approaches for High Speed Indoor Digital Network," ISPLC2001, pp. 253-258, April 2001.
- [4] <http://www.keyintelecom.com>
- [5] 추승호, "전력선 모뎀의 아날로그 전단부 설계에

관한 연구," 서울대학교, 2001.

- [6] 천동완, 박영진, 김관호, 신철재, "전력선통신을 위한 고압 배전선로의 임피던스 특성," 전자공학회 논문지 제42권 TC편 11호, pp. 67-78, Nov. 2005.
- [7] H. Philipps, "Development of a statistical Model for Power Line Communication Channel," ISPLC2000, pp. 153-160, April 2000.
- [8] H. C. Ferreira, H. M. Frove, O. Hooijen, and A. J. Han Vinck, "Poer Line Communication : Overview," IEEE 4th AFRICON'96, Stellenboshc, vol. 2, pp. 558-563, Sept. 1996.
- [9] 최태섭, 안인수, "PLC에서의 임피던스 저하 개선에 관한 연구," 전자공학회 논문지 제42권 TE편 제3호, pp. 7-12, Sep. 2005.
- [10] 김일수, "전력선 모뎀의 Analog Front End 최적 설계에 관한 연구," 국민대학교, 2002.
- [11] 송인호, 최창호, "120kV/70A MOSFETs Switch의 구동회로 개발," 전력전자학회 논문지, 제8권, 제1호, Feb. 2003.
- [12] 박영진, 김관호, "고속 전력선 통신용 옥내 저전압 전력선 임피던스 측정 및 특성 연구," 대한 전자공학회 논문지 TC편 제41권 8호, pp.619-623, Aug.. 2003.

저 자 소 개

임 승 하(정회원)

제42권 TE편 제3호 참조

현재 부천대학 전자과 교수