

신뢰적인 전력선 통신을 위한 라인 커플러의 개발

최원호, 임병노, 박종연  
강원대학교 전기전자전공

Development of the line coupler for reliable power line communication system

Choi won ho, Im byoung no, Park Chong-yeun  
Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University

**Abstract** - This paper presents an adaptive line coupler to match input impedance of the Power line Communication(PLC) modem between access impedance of the power line. This line coupler provides maximum signal power transmitting capability, high reliability. The structure of this coupler is simple and designed to make a easy and low cost. The proposed line coupler is suitable for Amplitude Shift Keying(ASK) or Phase Shift Keying(PSK) modem. To figure out our models, the analysis of the transmitting features of power line channel is performed in the time domain at the carrier frequency. As a result of this study, we present the values of capacitors in the capacitor bank and adaptive line coupler circuit.

1. 서 론

전력선 통신은 설비의 절감과 설치의 편의성에 힘입어 활용도가 높다는 점에서 수년간 활발하게 연구되고 있다. 그러나 전력선의 채널로서의 악조건으로 인하여 상용화에 어려움이 있다. 최근 획기적인 코딩방식과 변조방식에 힘입어 잡음은 많이 극복하여 가고 있으나 전력선과의 임피던스 매칭 문제는 여전히 남아있다. 전력선의 임피던스는 부하의 종류와 모델의 연결 위치에 따라 변화하는데 그 변화폭이 매우 크고 임피던스가 매우 낮아서 임피던스 변화를 고려하지 않은 기존의 라인커플러를 사용한 전력선 통신 시스템은 모델과 전력선간의 mismatch를 유발시킴으로서 모델의 통신거리 및 신뢰성을 변화시키는 요인이 될 수 있다.[1-5] 이러한 이유로 임피던스 변화에 따라 모델의 출력전력을 최대로 전송할 수 있도록 설계된 송신 라인커플러가 요구되는 실정이다. 기존의 시스템에서는 전력선의 임피던스에 따라 출력부 증폭기의 증폭도를 가변 하는 방식으로 문제를 해결하려 하고 있으나 이러한 방식은 전력선의 임피던스 변화 범위를 모두 포함할 수 있는 증폭기의 요구조건이 너무나 엄격하여 구현이 어렵고 비용이 증가하는 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 가능한 한 간단한 구조를 가지며 설계가 간편하고 비용이 적게 드는 매칭형 라인커플러를 고안하였다.

2. 본 론

2.1 라인커플러의 기능

전력선 통신에서 라인커플러는 전력선과 모뎀사이에서 위치하면서 220V/60Hz의 유입차단, 대역통과필터 그리고 전력선과 임피던스 매칭의 기능을 가지는 회로를 의미한다.[6]

위에서 나타난 라인커플러의 주요 기능 중 60Hz의 차단과 통신대역 주파수만을 통과시키는 필터로서의 기능은 전력선에 존재하는 각종 잡음을 차단하기 위한 목적을 가지고 있으며 전력선과의 임피던스 매칭기능은 신호전력을 수신측에 최대로 전달하기 위한 목적을 가지고 있다. 저속 전력선 통신에서 가장 많이 사용되는 주파수 대역은 유럽의 CENELEC 규격 C-band인데 C-band 에서 허용되는 통신 신호의 크기는 122dBuV로 제한된다.[1] 제한된 신호전압을 가지고 최대의 신호전력을 전력선으로 유입시키는 것이 최대의 전송거리를 의미하게 됨으로 결국, 라인커플러에 의한 전력선과 모뎀간의 임피던스 매칭은 모뎀의 통신거리를 최대로 유지하기 위해서 필수적인 기능이라고 할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 변화하는 전력선 임피던스에 대응하여 매칭이 가능한 라인커플러를 설계하고자 하였다.

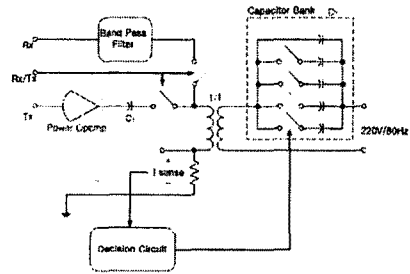
2.2 통신채널로서의 전력선 임피던스

라인커플러에 의한 전력선과 모뎀간의 임피던스 매칭문제가 통신거리의 유지에 의미하게 되기 때문에 매우 중요한 문제이며 이를 달성 할 수 있는 올바른 라인커플러의 설계를 위해서는 필수적으로 전력선의 임피던스 특성을 고려하여야 한다. 현재까지 발표된 논문에 따르면 저속 전력선 통신에서 사용되는 CENELEC 규격의 C밴드대역에서 전력선 임피던스는 보통 1Ω~50Ω 사이로 측정되고 있다[1-3]. 또한, 전력선 임피던스의 실수성분은 수음을 넘지 않는 것으로 알려져 있으며 리액턴스 성분은 주로 인덕턴스로 나타나고 있다.[1-3] 이러한 결과는 모뎀의 출력에 연결된 라인커플러의 출력 임피던스의 리액턴스 성분을 전력선 입력 임피던스의 리액턴스 성분과

서로 상쇄시킨다면 122dBuV의 작은 전압으로도 충분히 큰 신호전력을 전력선에 유입시킬 수 있음을 의미하게 된다. 그러므로 본 논문에서는 라인커플러의 목적을 전력선의 리액턴스 성분만을 상쇄시키는 것으로 관점을 축소하여 간단한 제어기법으로 최대의 신호 전력을 전송하고자 하였다.

2.3 제안하는 라인커플러의 구조 및 동작설명

그림 2는 본 논문에서 제안하는 임피던스 적응형 라인커플러의 회로이다. 그림 2에서의 트랜스포머와 Band-pass filter 는 기존의 연구결과를 그대로 적용하여 설계 및 제작하였다.[6] 그림 2에 나타난 전력증폭기의 출력임피던스를 0에 가깝게 한 뒤  $C_2$ 를 가변함으로써 전력선의 임피던스 중 리액턴스 성분을 상쇄시키는 방법을 사용하면 이때 측정되는 신호전압의 크기는 전력선의 임피던스 중 실수성분의 크기에 거의 종속적이다. 그러므로 전압의 크기는 고려하지 않고 최대의 신호전류가 전력선으로 주입되는 상황만을 고려하여도 된다. 즉, 최대의 신호전류가 전력선으로 주입되는 상황이 리액턴스 성분이 상쇄될 경우임으로 단순히 전력선으로 주입되는 전류크기에 따라  $C_2$ 를 결정하는 제어가 가능함을 의미하고 있다.



〈그림 2〉 제안하는 라인커플러의 구조

제안하는 라인커플러는 전류의 크기만을 측정하여 커패시터 बैं크의 스위칭 동작을 통한  $C_2$ 값의 가변을 결정하는 방식을 채택하고 있다. 전력선의 리액턴스 값의 범위나 폭은 예측이 매우 어렵고  $C_2$ 의 값이 너무나 큰 값으로 설정될 때에는 60Hz성분의 전압이 시스템내부로 유입되는 문제가 발생하기 때문에 이러한 문제를 고려하여 많은 실험을 통한 경험적 값으로 커패시터 बैं크 내 커패시터들의 값을 설정하여야 한다. 그림 2에서 볼록으로 표현된 대역통과필터는 수신시에만 동작된다. 송, 수신시에 요구되는 커플러의 특성을 동시에 만족시키기가 매우 어려운 문제이기 때문에 송신 시에는 수신측 회로를 스위치로 개방시키고 수신시에는 송신회로를 개방시키는 구조를 택하였다. 제안하는 라인커플러의 동작은 다음과 같다.

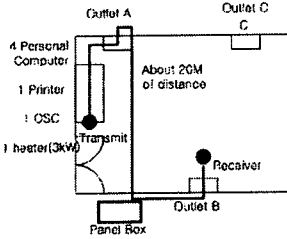
1. 통신대역의 신호를 일정시간동안 출력하는 동시에 출력전류를 측정한다.
2. 조합 가능한 스위칭을 모두 행하면서 1번 과정을 반복한다.
3. 검출된 전류가 가장 클 때의 커패시터 값으로 커패시터 बैं크의 값을 변화시킨다.

이러한 방법은 커패시터 बैं크의 값을 최종 값으로 선택하는데 걸리는 시간이 길어진다라는 단점을 가지고 있으나 판단기준이 전류의 크기로 단일 기준이며 방법이 반복적이므로 간단한 프로그램으로 구현가능하다는 장점을 가진다. 또한 실험에 의하면 전력선의 임피던스는 위치나 부하에 따라 변화하는 것이 일반적이며 시간에 따라서는 크게 변화하지 않으므로 위와 같은 과정을 모델이 매번 출력 할 때마다 시행하는 것이 아니라 모뎀이 전력선에 연결 될 때 혹은 사용자가 임의로 모뎀을 Reset 시킬 때 만 이루어지도록 만들면 통신 속도에 크게 지장을 초래하지 않을 것으로 추측된다.

2.4 실험

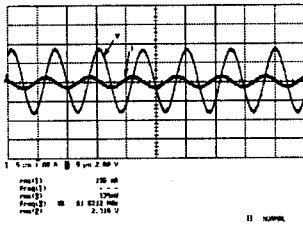
제안하는 라인커플러의 성능을 알아보기 위하여 그림 3과 같은 환경에서 실험하였다. 그림 3에서의 A,B,C는 벽면콘센트를 의미한다. 측정된 연구동의 경우 상전압 110V 변압기를 사용하여 전원공급을 하고 있으며 콘센트에서는 상간전압인 208V를 공급하고 있다. A와 B콘센트는 같은 상으로 그림

3의 구성은 단상통신과 같으며 이때, Transmit 회로는 그림 2의 제안하는 커패시터를 사용하였다. 그림 3의 환경에서 측정된 결과를 그림 4, 5 그리고 6에 각각 나타내었다. 그림 4는 Outlet A에서  $C_2$ 를 150nF으로 설정하고 신호를 송신할 때의 신호전압과 전류이다.  $C_2$ 의 값이 너무 작아 전력선의 리액턴스 성분과  $C_2$ 의 리액턴스를 합하여도 거의  $C_2$ 의 리액턴스만 보이는 것을 볼 수 있다.

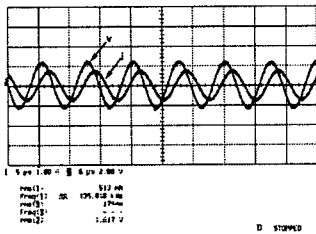


〈그림 3〉 실험을 위한 구성도

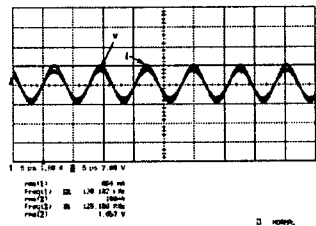
그림 3에서의 A,B,C는 벽면콘센트를 의미한다. 측정된 연구동의 경우 상 전압 110V 변압기를 사용하여 전원공급을 하고 있으며 콘센트에서는 상간 전압인 208V를 공급하고 있다. A와 B콘센트는 같은 상으로 그림 3의 구성은 단상통신과 같으며 이때, Transmit 회로는 그림 2의 제안하는 커패시터를 사용하였다. 그림 3의 환경에서 측정된 결과를 그림 4, 5 그리고 6에 각각 나타내었다. 그림 4는 Outlet A에서  $C_2$ 를 150nF으로 설정하고 신호를 송신할 때의 신호전압과 전류이다.  $C_2$ 의 값이 너무 작아 전력선의 리액턴스 성분과  $C_2$ 의 리액턴스를 합하여도 거의  $C_2$ 의 리액턴스만 보이는 것을 볼 수 있다. 이때 전류는 200mA(RMS)로 작은 반면 전압은 크게 걸리는 것을 볼 수 있다. 그림 5는 Outlet A에서  $C_2$ 를 370nF으로 설정하고 신호를 송신할 때의 신호전압과 전류이다. 그림 4와는 반대의 상황으로  $C_2$ 가 너무 크다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 Outlet A에서  $C_2$ 를 조절하여 전력선의 리액턴스 성분과 상쇄 시킨 후 신호를 송신할 때의 신호전압과 전류이다. 이때의  $C_2$ 의 값은 220nF으로 전압과 전류는 동상을 이루며 전류는 최대로 흐르게 된다.



〈그림 4〉  $C_2$ 가 150nF일때 송신신호의 파형

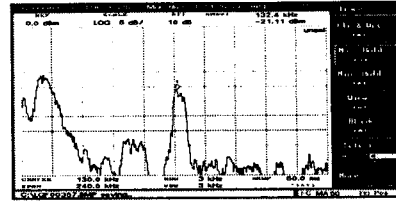


〈그림 5〉  $C_2$ 가 370nF일때 송신신호의 파형

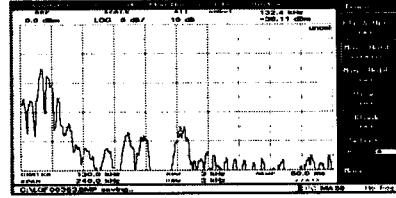


〈그림 6〉  $C_2$ 가 220nF일때 송신신호의 파형

제안된 방법으로 신호전력을 전력선에 유입시켰을때 동일한 지점에서 수신신호의 크기가 얼마나 차이가 나는지를 확인하기 위하여 그림 3의 Receiver측에서 수신신호를 측정해 보았다.  $C_2$ 를 220nF으로 설정하여 전력선의 리액턴스 성분을 상쇄하였을 때 지점 B에서 측정된 수신신호는 그림 7과 같이 크기는 -21dBm 이다. 그림 8은  $C_2$ 가 150nF일때의 경우 수신스펙트럼이다. 이때의 수신신호의 크기는 -38dBm으로 줄어든 것을 확인할 수 있다.



〈그림 6〉  $C_2=220nF$  일 때 수신신호의 스펙트럼



〈그림 7〉  $C_2=150nF$  일 때 수신신호의 스펙트럼

위와 같은 방식을 다양한 구조와 부하에 대한 반복 실험을 통하여 커패시터 뱅크를 구성하는 커패시터 값들을 적절히 선정하였다. 실험결과, 그림 6과 같이 전력선에 주입되는 신호의 전압, 전류 간 위상차가 거의 0일 때 전력선 임피던스의 실수성분 차이로 인하여 각각의 그 크기는 변화하였으나 주어진 상황에서 최대의 전력을 전송할 수 있음을 확인하였다. 이러한 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 전력선의 리액턴스 성분을 감소시키도록 커패시터의 임피던스 값을 조정하는 것이 전력선의 임피던스 변화에 따른 통신거리 변화에 대한 해결책이 될 수 있음을 확인하였다.

### 3. 결 론

전력선 임피던스를 측정된 결과, 실수성분은 수 옴을 넘지 않으며 리액턴스 성분은 주로 인덕턴스로 나타나고 있다. 라인커플러의 기능중 하나인 전력선과의 정확한 임피던스 매칭을 실제로 구현하는 것은 매우 어려운 문제이므로 본 논문에서는 라인커플러의 임피던스 매칭기능을 전력선의 리액턴스 성분만을 상쇄시키는 것으로 관점을 축소하여 주어진 상황에서 최대의 신호전류를 전력선에 유입시킬 수 있도록 라인 커플러의 임피던스를 조절하는 방법을 사용하였다. 전력선의 임피던스는 부하와 위치에 따라서 크게 변화하고 짧은 시간에 따른 변화는 미미하므로 제안된 라인커플러를 사용할 경우 모델의 위치와 부하의 변화에 따른 통신거리의 변화를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 제안된 라인커플러 회로는 커패시터 뱅크 및 스위치의 물리적 크기가 크기 때문에 모델의 전체적 크기가 커진다는 단점이 있다.

### 감사의 글

본 연구는 2006년도 기초전력연구원의 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며 기초전력연구원에 감사드립니다.

### [참고 문헌]

- [1] Klaus Dostert, "Powerline Communication", Practice Hall PTR, 2001.
- [2] Michael Arzberger, Klaus Dostert, Torsten Waldeck, Manfred Zimmerman, "Fundamental Properties of the Low voltage Power Distribution Grid", 2nd ISPLC pp.45-50, 1997.
- [3] Olaf G. Hooijen, "A Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, November 1998.
- [4] F.Munoz, R.G. Carvajal, A. Torralba and L.G. Franquelo, "ADAPT-mixed-signal ASIC for I-impedance adaptation in power line communications using fuzzy logic", The 25th Annual Conference of the IEEE IJCON '99 Proceedings, 1999.
- [5] Chan Tat-Wai, Lim Tian-Yew, "Application of A-Band LV power line standards for remote metering at populous residential buildings", IEEE Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2002.
- [6] 최원호, 박준용, 박종연, "GIC를 이용한 전력선 통신용 송수신 분리형 라인커플러의 개발", 대한전자공학회 하계종합학술대회 제26권 1호 pp.238-241 2003.8