

## 전력선 채널의 주기적 임피던스 변화 요인 분석

정광현, 박종연, 최원호  
 강원대학교 전기전자 공학부

### The analysis of the cyclic short-term impedance variation factors on the power line channel

Kwang-hyun Jung, Chong-Yeon Park, Won-ho Choi  
 Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University

**Abstract** - 본 논문에서는 전력선을 통신 채널로 사용하였을 때 일어나는 신호의 주기적인 감쇠에 대하여 다루었다. 기존의 연구들은 채널의 주기적인 노이즈에 의한 감쇠에 관하여 다루었다. 그러나 신호의 주기적 감쇠는 부하에 따라 주기적으로 변화하는 임피던스에 의한 영향 또한 고려해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 부하에 의한 채널의 주기적인 임피던스 변화를 신호감쇠의 주된 원인을 실험적으로 밝혀내었다. 또한, 주기적인 신호감쇠에 따른 어려움을 감소시키기 위한 방법을 부하들을 분류하여 논의 하였다.

#### 1. 서 론

최근 세계적으로 전력선 통신기술을 홈 네트워킹(Homenetworking), 원격자동제어 등에 적용하여 상용화하기 위한 연구가 꾸준히 이루어져 왔다. 그러나 전력선의 통신 채널로서의 약조건 때문에 발생하는 문제들로 인하여 상용화에는 아직 어려움이 있다. 일반적으로 각종 기기들을 제어하고 상태를 체크하기 위한 저속 전력선 통신과 PC와 그 주변기기 간의 데이터 통신 및 동영상/이미지를 전송하기 위한 고속 전력선 통신으로 나눌 수 있으며, 이 두 가지 상황 하에서 전력선은 서로 다르게 분석되어야 한다. 본 논문은 전자의 통신 환경에서의 채널에 대한 분석만을 다루었다.

기존의 연구들에 의하여 전원의 주기와 같은 주기를 가지고 신호의 감쇠가 일어나 어려움이 증가하는 사실이 알려져, 그 원인을 분석하는 연구들 또한 많이 진행되어 왔다.[1]-[5] 그러나 대부분의 연구들은 주기적인 신호감쇠의 원인을 주기적인 노이즈로 규정하여, 그 노이즈를 분석하는데 초점을 맞추었다.[1]-[3]

전력선 통신에서 신호의 감쇠는 노이즈에 의한 감쇠, 전력선 임피던스 변화에 따른 임피던스 미스 매칭(mismatching)에 의한 신호의 감쇠 두 종류로 분류 할 수 있고, 채널 임피던스 변화는 부하의 사용여부에 의한 긴 시간 동안의 변화와 부하의 특성에 의한 주기적인 변화로 구분되어 질 수 있다. 부하의 사용여부에 따른 채널 임피던스 변화는 그 변화 폭이 비교적 작으므로 극복이 가능하지만, 부하의 특성에 의한 주기적인 임피던스 변화는 순간적이고 상당히 크므로, 특히 ASK(Amplitude Shift Keying)에 있어서 BER(Bit Error Rate)을 높이는 큰 원인이 될 수 있다. 따라서 주기적 채널 임피던스의 변화를 부하의 관점에서 원인을 규명하고, 실험적인 증명을 차례대로 한 후 개선을 위하여 부하별로 분류를 하고, 분류에 따른 개선책을 논의 하도록 하겠다.

#### 2. 본 론

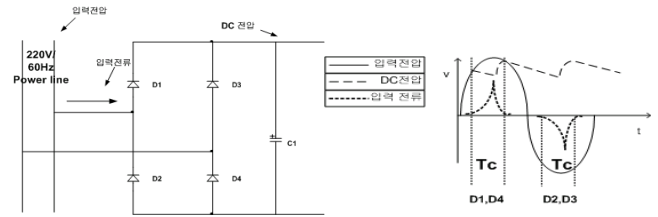
##### 2.1 부하의 특성에 따른 채널의 임피던스 변화

전력선에는 여러 가지 부하들이 연결되어 있어 전력선을 채널로 사용할 때 채널의 특성은 부하들에 의하여 결정된다. 따라서 채널의 변화는 부하들에 의하여 결정되므로, 변화에 영향을 큰 부하들의 구조를 파악하여야 한다. 본 논문의 관점인 주기적인 임피던스 변화에 큰 영향을 미치는 부하는 여러 가지 부하로 측정해 본 결과 입력 단에 전파정류 회로가 직접 붙어 있는 경우가 나타났다.

##### 2.1.1 부하의 구조 및 영향

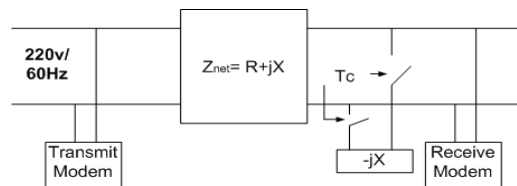
대부분의 기기들은 부하에 맞는 전력을 공급하기 위하여 전력선에서 공급받은 AC를 DC로 변환하여 부하에 공급하는 장치가 필요하므로 그림 1과 같은 전파정류회로가 필요하다. 전파정류회로에는 평활한 DC를 얻기 위하여 평활 커패시터인 C1이 필수적이며, 큰 커패시터 값을 사용한다.

전파정류회로는 그림 1의 아래 그림과 같이 입력전압이 출력 DC전압보다 작아 질 때(Tc)에만 D1,D4 혹은 D2,D3 두 개의 다이오드가 서로 교번하며 도통하여 전류를 부하로 흘려주게 된다. 이때 부하가 원하는 전력을 공급하기 위하여 전류는 순간적으로 많이 흐르게 되고, 또한 전력선 측에서 볼 경우 Tc 에는 C1이 순간적으로 보이게 된다.



〈그림 1〉 전파정류 회로와 동작 파형

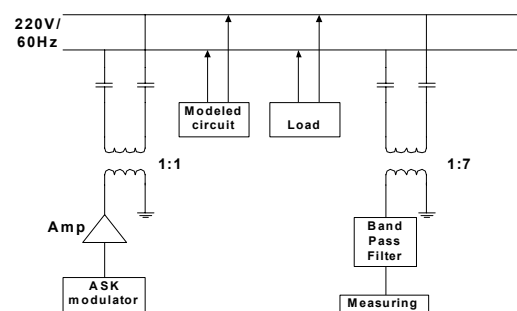
Tc의 순간에 보이는 C1은 결국 그림 2에서 나타낸 것처럼 전력선 채널의 기존 임피던스를 순간적으로 변화시키게 된다. 커패시터가 병렬로 추가되는 것은 결국 전체의 임피던스를 낮게 만드는 것을 의미하며, 이것은 순간적으로 전류가 많이 흐르기 때문이라고도 할 수 있다. 따라서 Tc의 순간에는 송신된 신호가 수신측에 감쇠되어 나타나게 된다. C1에 의한 신호의 감쇠는 기존 채널의 임피던스에 따라 상대적으로 영향을 미치게 되며, 전원의 주기에 동기적으로 전원의 2배의 주기를 가지고 나타난다.



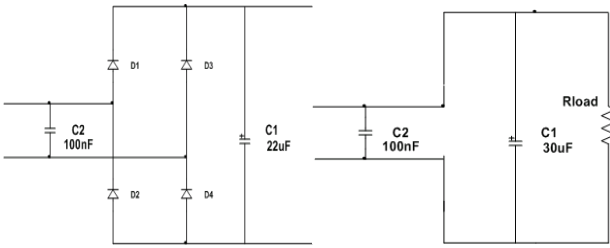
〈그림 2〉 부하의 영향에 의한 전력선 채널의 간단한 모델링

##### 2.1.2 실험 및 측정

앞장에 설명한 것과 같이 부하의 입력단 구조를 모델링한 임피던스와 실제의 부하를 놓고 측정을 하였을 때 신호의 감쇠 정도로써 모델링이 정확하게 되었는지 알 수 있다. 따라서 그림 3a와 같이 실험환경을 구성하였다. 그림에 나타난 것처럼 송신 시 출력 단에는 증폭기를 두고 수신단에 커플링 트랜스포머의 턴수비를 다르게 하여 신호의 측정이 잘 되도록 하였다. 또한 수신단의 밴드패스 필터를 거쳐 다른 노이즈에 의한 영향을 배제하도록 하였다. 또한, 송신된 신호는 125kHz로 ASK(Amplitude Shift Keying) 복조된 파형이다. 모델링 및 실험된 부하는 CFL(Compact Fluorescent Lamp)를 택하였고, 그 입력단 구조는 그림 3b와 같이 그림 1의 구조에서 입력단에 고주파를 위한 커패시터가 추가되어 있는 형태이다.

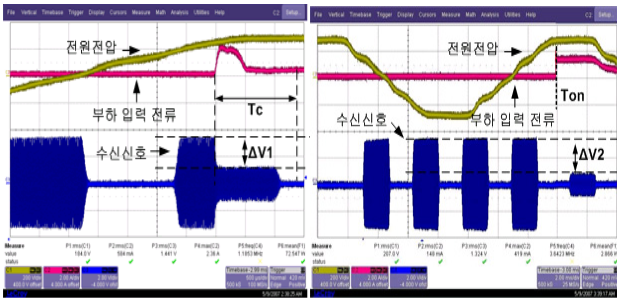


〈그림 3.a〉 측정된 회로



〈그림 3.b〉 부하의 입력단 구조    〈그림 3.c〉 모델링 된 부하

실험을 위하여 그림3.c와 같이 모델링 하였다. 실제 실험시 C1의 값은 30uF 을 사용하여 실제 부하로 측정된 값 보다 감쇠가 조금 더 생긴다. 측정된 파형은 다음의 그림 4와 같다. 그림 4.a는 실제 부하로 측정된 것이며, 전원 주기의 Peak 지점 즉, 그림 1의 Tc의 지점에서 신호의 감쇠가 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 그림 4.b는 모델링된 부하로써 측정된 것으로써, Ton의 시간에서 모델링된 회로를 전력선에 병렬로 연결하여 측정된 것이다.

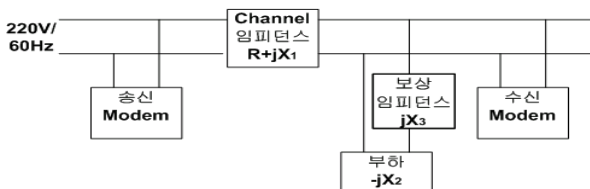


〈그림 4.a〉 CFL 부하일 때    〈그림 4.b〉 모델링된 부하일 때

측정 결과는 다음과 같다. 실제 부하에서의 감쇠된 양  $\Delta V1 = 2.3V$ , 모델링된 부하에서 신호의 감쇠된 양  $\Delta V2 = 2.6V$   $\Delta V1$  과  $\Delta V2$  의 차이는 모델링 시 C1의 값을 22uF에서 30uF으로 변경하였기 때문이다.

### 2.2 분류 및 논의 사항

일반적으로 용량이 큰 부하의 경우 커패시터의 값이 용량이 작은 부하의 경우보다 크므로, 부하를 용량에 따라 분류하고 입력단의 평활 커패시터 값을 표1에 나타내었다. Tc의 순간에 보이는 커패시터의 영향을 적게 하기 위해서는 전력선과 부하의 사이에 알맞은 임피던스를 추가하여 커패시터의 영향을 상쇄시켜야 한다. 이는 전력선과 부하의 사이에 분류에 따른 알맞은 인덕터를 직렬로 삽입하여 이루어 낼 수 있다. 즉, 다음의 그림5와 같이 나타낼 수 있으며, 표 1에 내부 커패시터 값에 따른 분류에 맞게 보상되는 임피던스 또한 나타내었다.

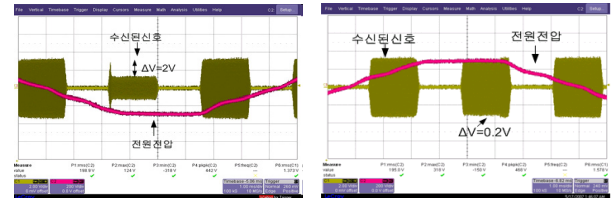


〈그림 5〉 부하의 임피던스 보상

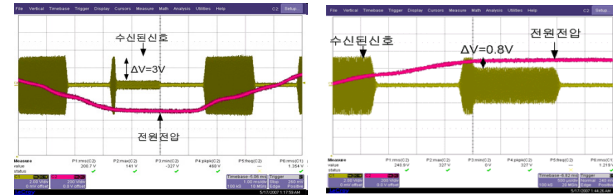
〈표 1〉 부하에 따른 분류와 보상 임피던스

부하의 분류	내부 capacitor 값	추가 보상 임피던스
작은 부하	10uF 이하	영향이 적음
중간 부하	10uF ~ 100uF	80uH
큰 부하	100uF 이상	10uH

중간 부하와 큰 부하로 분류된 부하(내부 커패시터 22uF, 220uF)를 놓고 표 1에 값에 따라 임피던스를 보상한 후 실험 된 파형은 그림 6과 같다. 그림 6의 a 는 중간 부하일때, c는 큰 부하 일 때 수신된 신호의 파형이며, b,d는 각각 임피던스를 보상한 후 수신된 신호의 파형이다.



〈그림 6.a〉 수신된 파형(중간부하)    〈그림 6.b〉 보상된 파형(중간부하)



〈그림 6.c〉 수신된 파형(큰 부하)    〈그림 6.d〉 보상된 파형(큰 부하)

그림 6에서 보듯이 부하의 내부 커패시터로 인한 신호의 감쇠  $\Delta V$ 가 보상 임피던스로 인하여 작아진 것을 알 수 있으며, 구현 시 부하 전류로 인하여 인덕터가 포화되지 않도록 임피던스를 구현하여야 한다. 위와 같은 방법 이외에 채널의 주기적인 임피던스 변화에 맞추어 송신 신호의 전력을 변경 하는 방법이 있다. 신호감쇠의 시점에서 송신신호의 전력을 충분히 크게 해준다면, 수신측에서 신호의 감쇠는 일어나지 않을 것이다. 따라서 보상 임피던스를 사용하는 방법 외에 신호의 감쇠  $\Delta V$ 로써 송신 신호의 전력을 조절하는 시스템을 구성하여 주기적인 신호감쇠 문제를 해결할 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전력선 채널의 주기적인 신호감쇠의 원인을 분석하고, 문제를 해결하기 위하여 부하의 특성에 따라 분류하여 개선책을 논의 하였다.

전력선 채널의 주기적인 신호감쇠는 주기적인 노이즈와 주기적인 채널의 임피던스 변화에 있다. 주기적인 채널의 임피던스 변화는 부하의 구조에 따라 결정되며, 입력단에 역률 보상회로 없이 전파정류 회로가 직접 연결되어 있는 경우의 영향이 가장 크다. 입력단에 전파정류 회로가 직접 연결되어 있는 부하는 전파정류 회로의 특성상 전원전압이 최대가 되는 구간에서 내부의 커패시터가 전력선 채널 측에 나타내게 된다. 이때 나타나는 커패시터로 인하여 전력선 채널의 임피던스가 순간적으로 작아지게 되고 이로 인하여 수신측에서는 더욱 많은 전력을 가진 신호를 송신해야 한다.

그러나 송신측의 전력이 한정되어 있으므로, 수신측에서는 신호의 주기적인 감쇠가 일어나게 되는 것이다. 신호의 주기적인 감쇠는 신호의 크기로써 신호를 구분하는 ASK 변조 방식을 사용하는 통신시스템에 치명적으로 BER을 높게 된다. 따라서 부하에 따른 주기적인 임피던스 변화를 적게 하기 위해 부하의 입력단에 임피던스를 추가하여 부하 내부의 커패시터를 보상하여야 하며, 그 임피던스는 부하에 따라 분류하여 다르게 적용하여야 한다.

### [참 고 문 헌]

[1] Kazuhiro MORIYAMA, Hajime KUBOTA, Kohichi SAKANIWA, "Generative Mechanism of Harmonic Noise and Periodic Signal Fading and its Model in Power line communication", IEEE International symposium power line communication, pp.91-104, 1998.  
 [2] Osamu OHNO, Masaaki KATAYAMA, Takaya YAMAZATO, Akira Ogawa, "A Simple model of Cyclostationary Power-line Noise of Communicaiton System", IEEE International symposium power line communication, pp.115-122, 1998.  
 [3] Roger M. Vine, H. Joel Trussell, Louis J.Gale, and J Bem O'Neal, Jr., "Noise on Residential Power Distribution Circuit", IEEE Trans. Electromagn.Compat., vol EMC-26,No.4, pp.161-168, 1984  
 [4] Francisco Javier Canete Corripio, Jose Antonio Cortes Arrabal, Luis Diez del Rio, Jose Tomas Entrambasaguas Munoz, "Analysis of the Cyclic Short-Term Variation of Indoor Power Line Channels", IEEE Journal on selected areas in communications. VOL. 24, NO.7. pp 1327-1338,JULY 2006.  
 [5] Hirashi NiWA, Masaaki KATAYAMA, Takaya YAMAZATO, Akira OGAWA and Noriyuki ISAKA, "A Spread-Spectrum System with Dual Processing Gains Designed for Cyclic Noise in Power Line Communications", IEICE trans. Fundamental, Vol. E80-A, No 12, Dec, 1997.