

단일 칩 전력선 모뎀을 이용한 가정에서의 전력선 통신

박종연, 최승지  
 강원대학교 전기전자공학

Power Line Communications with a Single-Chip Power Line Modem in Household

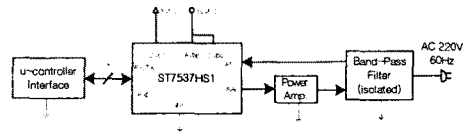
Chong-Yeun Park, Seung-Ji Choi  
 Division of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University.

**Abstract** - 전력선 통신의 경우 X-10, LonWorks, CEBus, iCAL PLX 등의 가정자동화 네트워크를 위한 프로토콜이 있으며 이와 함께 Philips社의 TDA5051AT, ST社의 ST7537HS1 그리고 National Semiconductor社의 LM1893/LM2893의 단일 칩 전력선 모뎀이 있다. 이러한 단일 칩 전력선 모뎀은 간단한 주변회로 및 컨트롤러만으로 가정기기의 제어 시스템을 구성할 수 있으므로 개발이 용이하고 비용이 저렴하다는 등의 장점을 가지고 있다.

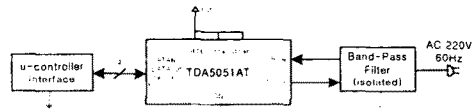
본 논문에서는 이러한 단일 칩 전력선 모뎀의 중에서 ST社의 ST7537HS1, Philips社의 TDA5051AT를 선정하여 가정 내에서의 통신에 대하여 성능을 비교, 검토하였다. 성능의 비교, 검토는 가정 내의 AC 220V, 60Hz 전원 전압의 영 전위 및 최대 전위 지점에서 데이터를 전송할 경우에 나타나는 에러의 수로 확인하였다.

'Consumer Band'의 전 대역 중에서 사용자의 선택으로 특정 주파수를 통신 신호로 사용할 수 있도록 칩이 설계되어 있다.

그림 1 은 각 모뎀의 응용 예에 대한 블록도이다. 각각의 특징을 살펴보면 다음과 같다.



(a) ST7537HS1의 응용 블록도



(b) TDA5051AT의 응용 블록도

그림 1. 각 모뎀의 응용 블록도

1. 서 론

본 논문에서 사용된 두 개의 모뎀 칩은 모두 가정자동화(Home Automation)를 위한 전력선 모뎀 칩이지만 각각이 여러 면에서 큰 차이를 가지고 있다. 따라서 단순히 서로의 성능을 가정에서의 실험을 통한 에러의 수로서 비교하는 것은 적절하지 못하다. 하지만 단상의 AC 220V를 사용하여 전력선 통신을 구현하고자 하는 개발자가 적절한 모뎀을 선정 및 시스템을 구현하는데 있어서 시행착오를 줄이는데 도움이 될 것이다. 본 논문에서 사용된 전력선 모뎀 칩인 ST7537HS1과 TDA5051AT의 특징을 표 1에 비교하였다.

표 1. ST7537HS1과 TDA5051AT의 특징

	ST7537HS1	TDA5051AT
Manufacturer	SGS-Thomson	Philips
Modulation	FSK	ASK(OOK)
Baud Rate	2,400bps	1,200bps
Communication Method	Half-Duplex	Half-Duplex
Band	125kHz - 140kHz	95kHz - 148.5kHz
Output Power	500mW	100mW
Schematic	Complex	Simple
Package	PLCC28	SO16
Cost	\$10	\$4.5

ST7537HS1의 경우 CENELEC이 규정한 EN50065-1에 제시된 125kHz - 140kHz 대역의 규약인 'Access Protocol'에 적합하도록 칩이 설계되었다. 'Access Protocol'은 CSMA(Carrier Sense Multiple Access)로서 각 모뎀간의 상호 간섭을 일으키지 않도록 하기 위해 전력선에 규정된 크기 및 주파수의 신호가 일정시간동안 사용되지 않을 경우만 통신 신호를 발생시킬 수 있는 규약이다.[1] 반면, TDA5051AT는 EN50065-1에 제시된

먼저 그림 1의 (a)는 전류 증폭기와 10V, 5V 두 개의 전원을 사용한다는 것이 특징이다. 또한 u-Controller Interface에서 데이터 송수신을 위한 것 외에 EN50065-1 규약에 적합하도록 하기 위한 인터페이스를 제공한다. 반면, 그림 1의 (b)의 경우 5V 단일전원을 사용하며 외부의 전류 증폭기 없이 내부의 증폭기만을 사용하며 u-Controller와 간단한 인터페이스만을 제공하고 있다.

출력 전력은 전력선의 임피던스를 저항(1옴, 20옴, 100옴)으로 하여 출력 신호의 전압, 전류를 측정하여 얻은 것이다. 출력 전력은 전력선의 임피던스에 따라 달라지며 1옴일 때 약 500mW, 100mW로 최대였다. 통신이 가정 내에서만 이루어져야 하는 응용의 경우 큰 출력 신호는 오히려 근접한 가정에 설치된 모뎀에 간섭신호가 되므로 각 모뎀의 주소할당을 적절히 하거나 가정의 전원 입력단에 필터를 설치하는 등 이에 대한 고려가 필요할 것이다.

모뎀의 성능을 검증하기 위해 임의의 아파트 및 단독 주택에서 실험을 행하였으며 AC 220V, 60Hz 전원 전압의 영 전위(Zero Voltage)와 최대 전위(Peak Voltage)에서의 데이터를 송수신한 결과로 성능을 확인하였다. 영 전위와 최대 전위에서 비교한 이유는 다음과 같은 전력선 채널의 특성으로 영 전위에서의 최대 전위에서의 통신 환경이 다르기 때문이다.

우선 AC 220V, 60Hz 전원 전압을 이용한 정류회로를 보면 정류 다이오드가 ON 상태가 되면 평형 커패시터가 전력에 병렬로 나타나는 결과가 된다. 이로써 전파정류 회로의 경우 1/120Hz의 주기로 임피던스 변화가 생

기며 반파정류 회로의 경우 1/60Hz의 주기로 임피던스 변화가 생기게 된다. 이러한 임피던스 변화는 수신단에서의 전력스펙트럼이 캐리어 주파수(Carrier Frequency)를 기준으로 120Hz나 60Hz의 정수배를 중간주파수로 하는 복제 스펙트럼들을 나타나게 한다.[5] 두 번째는 전력선 잡음 중에서 가장 치명적인 잡음으로 알려져 있는 충격성 잡음(Impulsive Noise)에 관한 것이다. 사용자의 수동 스위치 조작에 의한 기기의 ON/OFF 나 트라이악 등을 이용하여 전원 전압을 ON/OFF하는 경우 등이 이에 해당한다. 이러한 스위칭에 의한 잡음의 크기는 스위칭이 전원 전압의 최대 전위에서 일어날 경우 가장 크다. 세 번째는 전력선에 나타나는 잡음의 대부분은 주기적이라는 것이다.[6][7] 이에 의해 최대 전위에서 나타난 큰 잡음은 장기간 최대 전위에서의 통신을 방해하게 되므로 최대 전위에서의 에러의 수를 증가시키는 것이다.

## 2. 실험 및 결과

### 2.1 가정 A, B, C 에서의 에러 발생 수 비교

#### 2.1.1 실험 방법

실험은 가정에서 임의의 콘센트에 통신 신호를 수신하는 모뎀과 PC를 고정시키고 통신 신호를 발생하는 모뎀을 각 콘센트마다 옮겨가며 실행되었다. 가정 내의 동기 구 및 가전기기를 모두 동작시킨 상태에서 실험을 행하였다. 그림 2는 이러한 실험을 위한 구성을 나타낸다.

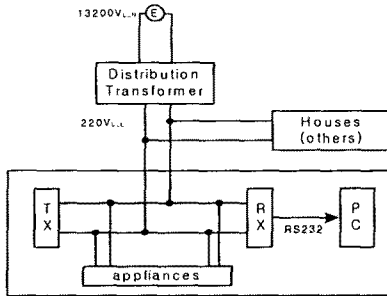


그림 2. 실험을 위한 시스템의 구성도

데이터의 송신 및 수신 시점은 동일한 영 전위 검출회로를 사용하여 얻었으며, 각 시점에서의 송신은 충분한 여유를 두어 2ms동안 진행되며 수신은 1ms동안 이루어졌다. 8.3ms마다 1ms동안 이루어지는 데이터 수신은 매번 8번의 샘플링을 하여 7번 이상 옳은 경우를 정확한 데이터 전송으로 하였다.

#### 2.1.2 실험 결과

3곳의 가정에서 이루어진 TDA5051AT에 대한 실험결과를 보인다. 가정 A에서는 영 전위 및 최대 전위에서 전혀 에러가 발생하지 않았고, 가정 B에서는 에러는 발생하나 발생하는 빈도가 너무 낮아 에러를 수치화 하는 것이 불가능하였다. 가정 C에서는 5개의 콘센트에서 실험한 결과 2개의 콘센트에서 에러가 많이 발생하여 그중에 한 콘센트에 대해 집중적으로 측정을 시행하였다.(4/19[평일] 오후 2시 - 4시, 비움)

표 2는 1회 시행을 3분 동안 데이터 송수신 한 경우 발생한 에러의 횟수 및 연속 에러 발생 횟수를 나타낸 것이다. 즉, 3(분)×60(초)×120 = 21,600 번의 전송에 대한 에러를 나타내는 것이다.

영 전위에서의 에러의 평균 횟수는 82.6회로서, 최대 전위에서의 에러 발생 횟수의 평균 187.4회에 비해 절반 이하로 에러가 발생하였다. 연속 에러 발생 횟수는 일정 시간동안(약 166ms - 249ms) 많은 에러가 연속적으로

로 나타나는 경우의 횟수이다.

표 2. 에러 발생 수 및 연속 에러 발생 수

시행	Zero Point		시행	Peak Point	
	에러 발생 수	연속 에러		에러 발생 수	연속 에러
1	80	7	1	203	12
2	82	6	2	168	10
3	80	4	3	180	11
4	100	5	4	194	12
5	71	4	5	192	11

그림 3은 평균적으로 나타난 연속 에러의 형태를 영 전위에서의 최대 전위에 대해서 나타낸 것이다. 최대 전위에서 발생하는 에러의 형태는 영 전위에서 보다 상당히 연속적으로 나타나며 더 오랜 시간 발생하는 것을 알 수 있다.

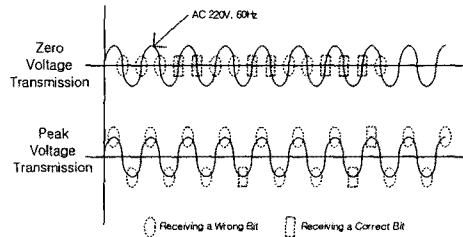


그림 3. 연속 에러의 형태

다음은 위의 표 2와 그림 3의 결과를 얻은 콘센트에서 동일한 시스템을 사용하여 약 2주일 뒤(5/1[노동절] 오후 2시 - 4시, 맑음)에 두 모뎀을 비교한 것이다. 실험을 행한 가정에서 동작시킨 기기는 전과 동일하였다.

ST7537HS1은 영 전위와 최대 전위 모두에서 전혀 에러가 발생하지 않았다. 그리고 TDA5051AT는 영 전위에서 에러가 전혀 나타나지 않았으며 최대 전위에서는 평균 6.25회 발생하였다. TDA5051AT의 결과가 표 2에서와 달리 크게 차이가 나는 것은 통신환경이 그만큼 변화되었기 때문인 것으로 생각된다.

### 2.2 인위적 스위칭에 의한 에러 발생 수 비교

#### 2.2.1 실험 방법

본 실험 또한 가정 내에서 이루어졌으며 송신모뎀과 수신모뎀이 물리적인 전기 배선이 약 5m 떨어진 상태에서 수신모뎀과 약 1m 떨어진 곳에 26W용 컴팩트 형광등을 위치시켜 1분 동안 25회를 ON/OFF한 경우에 생긴 에러의 횟수이다. 데이터 송수신은 위에서와 같이 8.3ms마다 이루어졌다. 이러한 실험은 가정에서의 전력선 통신에 가장 큰 장애를 일으키는 수동 스위치의 동작에 의한 에러를 확인하기 위한 것이다.

#### 2.2.2 실험 결과

그림 4는 영 전위와 최대 전위에 대해 각 7회 실험을 한 것에 대한 에러의 수이다. TDA5051AT는 영 전위에서 평균 4회의 에러가 발생하였으며 최대 전위에서 평균 8회의 에러가 발생하였음을 보여준다. ST7537HS1은 영 전위에서는 전혀 발생하지 않았으며 최대 전위에서도 단지 2회만 나타난 것을 볼 수 있다.

두 모뎀간의 물리적 배선거리를 약 15m 정도로 하여 실험하였을 경우, 에러의 수는 상당히 증가하였으며 연속적인 에러 또한 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이 경우도 ST7537HS1과 TDA5051AT의 에러 발생

를이 앞에서와 비슷한 정도로 나타났다. 일반 가정에서 각 콘센트간의 전기 배선은 15m이상일 경우가 대부분이므로 가정에서의 통신에 이러한 스위칭에 의한 에러는 치명적이라 할 수 있다.

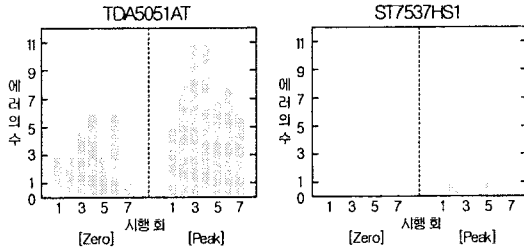


그림 4. 인위적 스위칭에 의한 에러의 수 비교

### 2.3 시스템 개발시 유의점

#### 2.3.1 ST7537HS1

ST7537HS1의 응용을 위해서는 직류 전원 공급을 위한 6VA 용량의 전원용 변압기가 필요하다. 이 정도의 변압기는 무게 및 부피 때문에 PCB에 실장하기 위해서는 많은 문제에 부딪히게 된다. 이 때문에 전원용 변압기를 사용하지 않는 비절연형 시리즈 레귤레이터나 스위칭 모드 파워서플라이를 이용한 전원회로를 고려하여야 할 것이다.

그리고 과 전압 보호용 다이오드(P6KE6V8CA)를 연결하여 전류 증폭기의 출력단 전압을 반드시 제한해 주어야 한다. 연구 중에 이 다이오드를 연결하지 않은 경우 전류 증폭기의 출력단 트랜지스터가 과전류로 인하여 파괴되는 경우가 많았다. 또한 기본적으로 출력 트랜지스터는 증폭에 의한 열이 많이 발생하므로 파워 트랜지스터를 사용하는 것이 안전한 동작을 위한 방법이다.

#### 2.3.2 TDA5051AT

TDA5051AT는 [발전기 주파수/64]에 해당하는 캐리어 주파수가 얻어지는데 이 주파수는 60Hz의 정수배 사이에 있도록 선택되어야 한다. 이것은 전력선에서 발생하는 잡음의 스펙트럼 특성에 기인한 것으로 이러한 잡음의 특성은 [5][6]에 기술되어 있다.

TDA5051AT의 변조 속도는 95kHz - 148.5kHz의 범위에서 600buads가 일반적이다. 그리고 복조기는 디지털 필터로 이루어져 복조 시간 지연에 의해 복조 속도가 제한된다. 이러한 이유로 클럭 주파수에 따라 최대 전송속도는 달라질 수 있는데, 110kHz - 120kHz의 전송 주파수 대역에서는 1200bps가 최대이며, 140kHz - 148.5kHz의 대역에서는 2400bps가 최대이다.[2]

마지막으로, 칩의 완전한 Power On Reset을 실행하기 위해서는 수 us 동안 DATA<sub>n</sub> 핀을 Low Level 로 유지하여야 한다.[2]

## 3. 결 론

단상의 AC 220V, 60Hz의 전원 전압의 영 전위와 최대 전위에서의 에러 발생 수를 비교한 결과 두 배 이상의 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 에러의 형태에서도 차이가 있었다. 이로서 전원 전압의 전위에 따라 통신환경이 다름을 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 차이를 고려하여 데이터 포맷을 만들거나 적절한 코딩기법을 선택하면 에러를 줄이는데 도움이 될 것이다.

가정자동화를 위한 단일 칩 전력선 모델 중에서 FSK 방식의 ST7537HS1과 ASK방식의 TDA5051AT의 성능을 비교하였는데 개발시 모델의 장단점을 고려하여 단점

을 보완할 수 있는 방법을 모색하여 사용하여야 할 것이다.

끝으로, 본 논문에서는 영 전위 와 최대 전위에 대하여 1ms 동안 송신 및 수신되는 데이터에 대하여 에러의 수를 비교하였는데 향후 더욱 세분화된 전위에서의 비교 연구가 요구된다. 또한 이러한 각각의 전위의 시점에서 발생하는 잡음의 크기 및 유지 시간 그리고 전력선에 나타나는 임피던스 변동 등에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 강원대학교 BK21 사업의 일환으로 수행되었음.

### [참 고 문 헌]

- [1] CENELEC, Signalling on low-voltage electrical installations the frequency range 3kHz to 148.4kHz, EN50065-1, January 1991.
- [2] Micat Electronics, TDA5051A Application Note, Feb.11, 1998. <http://www.micat.com/>
- [3] SGS-Thomson, ST7537HS1 - Home Automation Modem, 1995. <http://www.st.com/>
- [4] Philips, TDA5051A - Home Automation Modem, May 31, 1999. <http://www.semiconductors.philips.com/>
- [5] J. B. O'Neal, Jr, "The Residential Power Circuit as a Communication Medium," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. CE-32, No.3, August 1986.
- [6] Roger M. Vines, H. Joel Trussell, Louis J. Gale, J. Ben O'Neal, JR., "Noise on Residential Power Distribution Circuits," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC 26, No.4, November 1984.
- [7] M. Chan, R. Donaldson, "Amplitude, Width and Interarrival Distribution for Noise Impulse on Intra-building Power Line Communication Network," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 31, No.3, August 1989.