

저전력 대기모드를 지원하는 전력선통신 모뎀 개발에 관한 연구1)

윤재식, 위정철, 원동선, 박중하, 송용재  
(주)플레넷

The Study On Developing Low Power PLC Modem based on Stand-by Mode Function

Yoon Jae-Shik, Wee Jung-Chul, Won Dong-Sun, Park Chung-Ha, Song Yong-Jae  
PLANET System Co., Ltd

**Abstract** - 최근 홈 네트워킹 기술과 연동된 가전제품 및 서비스에 대한 니즈가 증대됨에 따라 다양한 디지털 가전기기가 개발되고 있다. 특히 국내외적으로 많은 홈 네트워킹 관련 제품들이 생산되고 있으며, 이는 궁극적으로 이기종 네트워크 환경에서 유무선 통신의 구분 없이 다양한 기기를 네트워크에 접속할 수 있는 서비스를 제공한다. 기존 중·저속 전력선 모뎀의 경우 홈네트워크에서 전력선으로 들어오는 신호를 수신하기 위해 전력소모가 가장 많은 Main Processor에서는 항상 Wake-On 상태를 유지하고 있다. 하지만 중·저속 전력선 모뎀의 송수신을 관장하는 Main Processor를 보게 되면 크게 통신 프로토콜을 관장하는 Main CPU와 실제 전력선 신호 송수신을 관장하는 PLC Core로 나뉠 수 있다. 홈네트워크상에서 전력선으로 들어오는 신호를 수신하기 위해서는 PLC Core는 항상 Wake-On 상태를 유지해야 하지만 Main CPU의 경우는 전력소모를 최소화하기 위해 Idle 상태를 유지하더라도 Host Controller와의 Stand-by & Wake On 신호와 인터럽트 발생기능을 이용하게 되면 전력선 통신에 문제가 없이 대기모드를 지원하는 저전력 전력선 통신 모뎀 개발이 가능하다. 이에 본 연구에서는 저전력 대기모드를 지원하는 전력선 통신 모뎀 개발에 관한 연구를 하고자 한다.

1. 서 론

홈 게이트웨이는 디지털 홈 가전기기에 초고속 통신망 접속 기능을 제공하며 각종 기기들을 하나로 네트워크화 하는 중요한 기능을 담당하게 된다. 이 홈 게이트웨이는 항상 네트워크에 연결되어 있어야 하는 특성 때문에 사용자가 직접 서비스를 받지 않더라도 동작 상태를 유지해야 한다. 따라서 홈 서버나 홈 게이트웨이는 여러 가지 복합적 기능이 제공되므로 전력 소모량이 상당하다. 여러 연구에 따르면 미국의 네트워크 인프라에서의 전력 소모량은 5<sup>24</sup> TWh/yea가 되어 \$0.1/KWh로 계산해서 \$0.5 ~ 2.4B/year가 지출되는 것으로 예측하고 있다. 전 유럽 전체에서는 전력 소비를 23 TWh/year로 예측하고 있다. 전력선 통신은 전력을 매체로 하기 때문에 신규선로의 포설 없이 가전기기 및 정보화 서비스 모뎀들의 네트워크화에 용이할 뿐만 아니라 커버리지 확장에도 뛰어나다. 그리고 추가 배선의 불필요로 인한 가격 경쟁력을 바탕으로 홈 네트워크에 있어 적합한 솔루션으로 평가받고 있으며, 특히 기층 건물에 대하여 홈 네트워크 시설 구축이 신속하고 설치가 빠르다. 이러한 기술적 장점과 더불어 전력선 매체 환경에 대한 오랜 기술 분석 및 전력선통신 서비스 산업 분석을 통해 현재는 국내외적으로 전력선 통신기술을 홈 네트워크의 중심에 놓고 있다.

이러한 요구를 충족시키기 위해서 본 논문에서는 저전력 대기모드를 지원하는 전력선통신 모뎀 개발에 관한 연구를 하고자 한다.

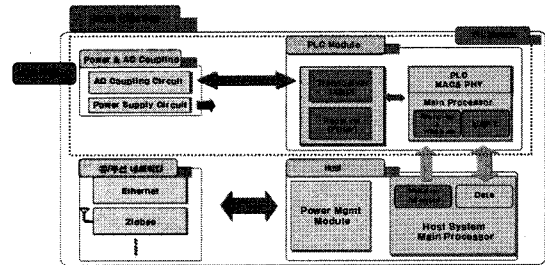
2. 본 론

2.1 홈게이트웨이

2.1.1 홈게이트웨이 블록다이어그램

[그림 1]은 홈게이트웨이에 대한 전체 블록다이어그램을 나타낸다. 홈게이트웨이는 크게 유/무선 네트워킹을 위한 Ethernet, Zigbee 등의 매체와 전력선을 이용하여 통신을 하기 위한 전력선 통신 모뎀과 Host Processor로 나뉠 수 있다. 홈 게이트웨이는 항상 네트워크에 연결되어 있어야 하는 특성 때문에 사용자가 직접 서비스를 받지 않더라도 동작 상태를 유지해야 하기 때문에 전력 소모량이 상당하다. 이러한 부분을 제어하기 위해 Host Controller에서는 Power Management Module을 이용하여 사용하지 않을 시에는 최소한의 기능을 동작시키기 위해 적절히 제어를 하며, 전력선 통신 모뎀의 경우 Stand-by & Wake On 신호와 인터럽트 발생기능 대기모드를 지원하는 저전력 대기모드를 지원하는 전력선통신 모뎀 개발에 관한 연구를 하고자 한다.

1) 본 연구는 산업자원부 에너지·자원 기술 개발 사업의 일환으로 추진되고 있는 (과제명: 저전력 대기모드 지원 PLC 통신 모뎀 개발)의 지원에 의한 것임.



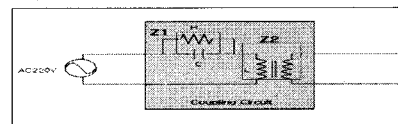
<그림 1> 기존 AC Coupler 블록다이어그램

2.2 저전력 대기모드 지원 전력선 통신 모뎀 설계

저전력 대기모드를 지원하는 전력선 통신 모뎀을 개발하기 위해 전력선 통신 모뎀을 분석한 결과 전력소모가 많고, 역률을 저하시키는 전력선 통신 모뎀에 필수적인 AC 커플러 개선과 역률 개선을 위한 PFC(Power Factor Correction) 회로인 하드웨어 부분과 저전력을 위해 대기모드를 지원하기 위한 Stand-by & Wake-On Sequence도를 작성하여 소프트웨어 기능을 추가하여 저전력 대기모드를 지원하는 전력선 통신 모뎀을 연구하였다.

2.2.1 전력선모뎀 AC 커플러 설계

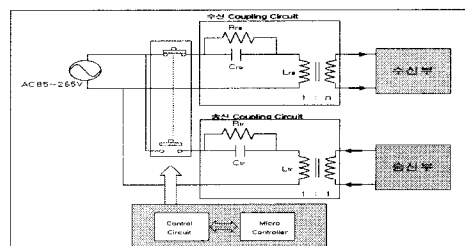
AC Coupler Circuit는 전력선에 신호를 실어주다가 전력선으로부터 신호만을 분리해내는 장치로서 [그림 2]는 현재 각 회사들의 저속 PLC 모뎀에서 가장 많이 사용하고 있는 일반적인 AC Coupler 회로에 대한 회로도도를 나타낸다.



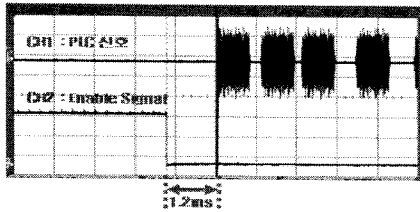
<그림 2> 기존 전력선 모뎀 AC커플러

AC 커플러는 RC필터와 직렬로 연결된 트랜스포머(L)로 이루어진다. AC 커플러는 고역통과필터로서 기능을 하여 전력선신호로부터 캐리어 주파수를 분리하며, R, C, L 값에 의해 차단주파수가 결정된다. 즉, AC 커플러는 차단주파수보다 높은 주파수의 신호를 통과시키고 차단주파수보다 낮은 주파수의 신호를 차단한다. 전력선 통신을 위해서는 AC 커플러의 차단주파수는 적어도 캐리어 주파수의 하한 주파수보다 낮아야 한다. AC 커플러의 차단주파수를 캐리어 주파수의 하한 주파수(약 100KHz) 근방으로 설정하면, 전력선신호의 필터링이 가능하긴 하나 AC 커플러에서의 신호 감쇄가 매우 크다.

[그림 3]은 본 연구에서 제안한 AC Coupler 회로로써 송신시에는 기존과 같이 낮은 차단주파수(10KHz)의 AC 커플러로 정합하여 신호 감쇄가 거의 발생하지 않고, 수신 대기시에는 높은 차단주파수(70KHz)의 AC 커플러로 정합하고 수신된 전력선신호를 증폭하여 수신대기상태에서의 소비전력을 절감할 수 있기 때문에, 동일 성능의 저전력화가 가능하도록 설계하였다.



<그림 3> 저전력 전력선 모뎀 AC커플러

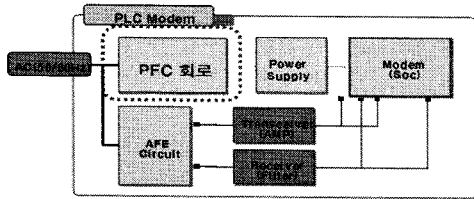


〈그림 4〉 송신 절취회로 신호 및 PLC신호

[그림 4]는 본 연구에서 제안한 AC Coupler 회로를 구현한 전력선 상 PLC 신호 및 절취회로 신호를 나타낸다. 대기시는 수신코플러를 이용해서 데이터를 수신하여, 송신시는 절취회로를 이용해 전력선상으로 데이터를 송신함으로써 송신시는 기존과 동일한 성능을 유지하면서 대기시 최소한의 전력소모를 유지할 수 있다.

### 2.2.2 역률보상회로(PFC : Power Factor Correction)

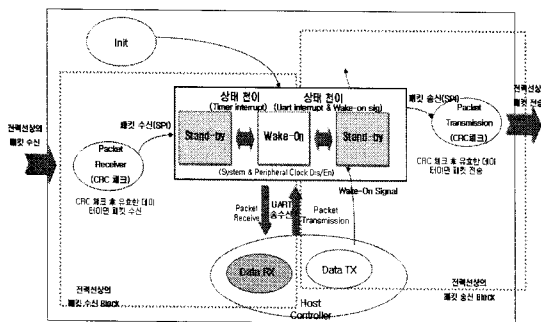
역률 개선을 위해서는 전류의 흐름을 조절하는 에너지 축적과 양도라는 방법을 사용하고 파형 합성을 통하여 구체화 할 수 있다. 여기에는 수동적인 방법(Passive)과 능동적인 방법(Active)으로 나눌 수 있는데, 능동적인 방법은 수동소자와 능동소자의 조합으로 구성하며, 넓은 입력 주파수 영역, 크기가 작은 마그네틱 소자, 낮은 왜곡 넓은 입력 전압 범위 그리고 안정된 직류 출력을 제공하며 역률은 0.99로 높으나 회로가 복잡한 단점이 있다. 반면 수동적인 방법은 수동소자로 구성이 되며, 주로 간단한 설계, 그리고 낮은 주파수 대역 낮은 EMI 고전력을 다루는데 사용되는 입력 주파수의 변화에 민감한 특성을 가지고 있지만, 간단한 소자로 구성이 가능하며, 역률은 대략 0.7정도를 기대할 수 있다.



〈그림 5〉 저전력 전력선 모뎀 AC커플러

[그림 5]은 제안한 PLC Modem에 PFC 회로를 추가한 블록다이어그램이다. 본 과제에서는 PLC 모뎀의 대기시 소모되는 전력이 1[W] 미만의 경우에는 능동 PFC 회로의 경우와 거의 차이가 없으며, 능동 PFC회로를 구성하기 위해 회로에서 소모되는 전력을 최소화해서 에너지 효율을 높이기 위해 수동 PFC 회로를 이용하여 설계했다.

### 2.2.3 대기모드를 지원하는 Stand-by & Wake-On Sequence

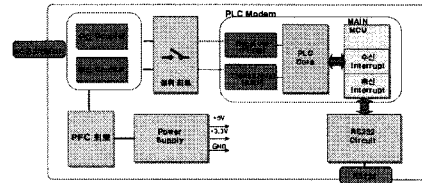


〈그림 6〉 Stand-By & Wake-On Sequence

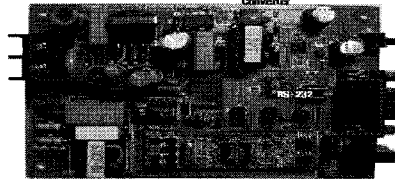
PLC 칩은 Main Processor와 Phy & Mac을 핸들링하는 코어로 분리되어 있어 전력선 상의 데이터를 수신하기 위해 Phy & Mac을 핸들링하는 코어는 항상 Wake 상태를 유지한다. Sleep & Wake-on 동작 Sequence는 PLC Module의 Main Processor에서 최초 Initial 후 동작모드 상태로 들어간다. 이 때 Host로부터 데이터 수신 패킷이 없거나 전력선상의 수신 패킷이 없을 경우 Sleep 모드 상태로 들어간다. Phy & Mac을 핸들링하는 코어는 항상 wake 상태를 유지하기 때문에 Main Processor가 전력선상의 데이터 수신될 경우 유효한 데이터 일 경우 Uart를 통해 Main Processor로 데이터를 전송하게 된다. Main Processor에서는 Uart 인터럽트나 또는 Wake-On 패킷에 의해 Wake-on 상태가 되며, Host System으로 데이터를 전송하게 된다. Host로부터 데이터를 수신할 경우(전력선에 데이터 전송) 타이머 인터럽트 or Wake-on Signal에 의해 Sleep Mode 상태에서 Wake-on 상태로 전이가 되며, 유효한 데이

터로 판단되면 전력선으로 데이터를 전송하게 된다. 전력선상의 패킷 수신과 마찬가지로 Host로부터 데이터 수신 패킷이 없거나 전력선상의 수신 패킷이 없을 경우 Sleep Mode 상태를 유지한다.

### 2.3 제안한 저전력 대기모드 지원 전력선통신 모뎀



〈그림 7(a)〉 블록다이어그램



〈그림 7(b)〉 저전력 전력선통신 모뎀 설계  
〈그림 7〉저전력 전력선통신 모뎀

[그림 7(a)]은 제안한 저전력 대기모드를 지원하는 전력선 모뎀에 대한 전체 블록다이어그램 및 설계한 전력선 통신(그림 6(b))이다. 제안한 저전력 대기모드를 지원하는 전력선통신 모뎀은 AC 커플러를 저전력 고역률을 위해 송/수신 회로를 분리하여 설계하였으며, Passive PFC 회로를 추가하여 회로에서 소모되는 전력을 최소화해서 에너지 효율을 높이기 위해 수동 PFC 회로를 이용하여 설계했다. 또한 전력소모를 최소화하기 위해 대기모드를 지원하는 Stand-by & Wake-On 기능을 추가했다.

배경 잡음(background noise) 및 고조파 잡음(narrow-band harmonic noise) 등 다양한 성능테스트를 통해 제안된 저전력 대기모드를 지원하는 전력선 통신 모뎀의 각사의 모뎀에 적용시 동일 또는 그 이상의 성능을 유지하는 것을 확인하였다.

이러한 결과를 토대로 실제 각 사의 전력선 모뎀에 본 논문에서 제안한 저전력 대기모드를 지원하는 전력선통신모뎀에 적용하여 소비전력을 측정한 결과 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 전력선 통신 모뎀 소비전력 비교측정(대기시)

	기존 전력선 통신 모뎀		제안된 전력선 통신 모뎀	
	A사	B사	A사	B사
소비전류	27.8[mA]	34.62[W]	5.3[mA]	6.4[mA]
소비전력	소비전력	1.2[W]	0.58[W]	0.65[W]

<표 1>에서 알 수 있듯이 제안된 저전력 대기모드를 지원하는 전력선 통신을 적용한 결과 동일한 성능을 유지하면서 소비전류는 현저히 줄었으며, 소비전력이 각각 0.95[W], 1.2[W]에서 0.58[W], 0.65[W]로 60%이상 전력소모가 감소되는 효과를 확인하였다.

### 3. 결 론

전력선 통신 모뎀은 디지털 가전기기를 위한 지능형 홈 네트워크 구축은 물론 원격검침 등의 각종 자동화 시스템에 활발하게 적용됨에 따라 저전력 대기모드 지원의 필요성이 요구되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서는 저전력 대기모드를 지원하는 PLC 통신 모뎀의 개발로 안정적인 지능형 홈 네트워크 구축으로 타 통신 기술들의 접목이 가능하며, 궁극적으로 유·무선 통합 지능형 홈 네트워크 기술을 선도, 견인 할 수 있는 기술을 확보하였으며, 저전력 대기모드 지원과 Home Server와 같은 네트워크 가전기기에 탑재 가능한 멀티 프로토콜(Multi Protocol) MAC 기능을 가진 전력선 통신 모뎀을 개발함으로써 국제 표준에 대응하며, 시장을 선도할 수 있는 기반을 확보할 수 있는 기반을 마련하였다.

### 〈참 고 문 헌〉

- [1] 윤계식, "저전력 전력선 통신 모뎀 개발을 위한 AC 커플러 개발", 2007. 10
- [2] 신요한, "전력선 통신 시스템에 멀티코드 CDMA 방식의 적용 방안에 관한 연구", 1999.10
- [3] 김호, "전력선 통신을 이용한 원격 부하제어 시스템의 구축", 2001.12