

# 변복조 및 채널코딩 기능을 가진 전력선 통신용 ASIC 구현

이홍희, 김관수

울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

## ASIC Implementation for Power Line Communication with modulation and channel coding

Hong Hee Lee and Gwan Su Kim

School of Electrical Eng & Information System, University of Ulsan

### ABSTRACT

전력선을 이용하여 신뢰성 높은 데이터 통신을 하기 위해서는 다양한 변복조 방법 및 채널코딩의 적용이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 변복조 및 채널코딩중에서 FSK 변복조와 HDLC코딩 방식을 적용하여 데이터 통신시 발생하는 신호감쇠와 잡음을 제거하고, 신뢰성 있는 데이터 전송환경을 구축하기 위해 전력선 통신용 모델을 CPLD를 바탕으로 한 ASIC으로 구현하고 실제환경에 적용하였다.

### 1. 서 론

전력선은 주위에서 손쉽게 찾아볼수 있는 전력전달 매체로 편리하고 값싼 통신용 매체로서의 잠재력을 가지고 있다. 전력선에 기초한 건물 내부의 통신용 네트워크는 신뢰성을 확보할 경우 홈 오토메이션 및 오피스 오토메이션 분야에 적합한 하드웨어 인프라를 가지고 있다. 전력선 통신은 ADCOM, Simens, Northern Telecom 등의 회사를 중심으로 개발되기 시작했으며, 전력선 전원주파수인 60Hz에 변조된 신호를 실어서 전송하는 방식으로 가정 곳곳에 위치한 전기콘센트에 꼽기만 하면 네트워크 기능을 구축할 수 있어 가장 편리하고 손쉽게 사용될 수 있다는 장점이 있다. 그러나 기기들 간의 상호간섭으로 인한 잡음 및 신호 감쇠현상이 있고 인터넷 망으로 구성할 경우 전력용 변압기 등을 거쳐 여러 구간을 데이터 손실없이 전송해야 하므로 이를 해결하기 위해서는 고도의 기술과 신뢰성 구축이 필요하다.

전력선 통신은 전송 속도에 따라 60bps~10kbps의 저속 전력선 통신, 10kbps~1Mbps 중속 전력선 통신, 1Mbps~10Mbps 이상의 고속 전력선 통신등 크게 3가지로 분류한다. 전송하기 위한 반송 주파수는 중저속 전력선 통신은 주로 10kHz~450kHz 대역을, 고속 전력선 통신은 450kHz~300MHz 대역

을 주로 이용하며, 주요 용도는 중저속의 경우 인터넷 정보자료를 포함해 방배, 방재 등의 홈 네트워크에 이용되며, 고속의 경우 Access 네트워크에 이용된다.<sup>[1]</sup>

전력선의 경우 고주파 대역의 잡음레벨은 저주파 대역보다 줄어들지만 감쇠가 크며, 이러한 감쇠나 임피던스 및 잡음은 시간에 따라 변하고 주파수의 의존적인 특성을 보인다. 이는 채널 특성이 전력선에 연결된 기기들에 의해 영향을 받기 때문이며, 이에 따라 전송하기 위한 반송주파수의 선택을 어렵게 한다. 신뢰성 있는 전력선 통신을 위해서는 모델의 성능이 대단히 중요한데 이러한 전력선의 채널 특성을 고려하여 이를 극복할 수 있는 모델이 필요하다. 본 논문에서는 이와 관련하여 전력선 통신 기술중 신호커플링(Front End Skill), 변복조, 에러를 줄이기 위한 채널 코딩 기능을 가진 ASIC기술을 개발하고 이를 실제 시스템에 적용해 보고자 한다.

### 2. 전력선의 채널 환경

일반적인 전송선로 모델은 그림1과 같으며 이를 키르히호프 법칙을 사용하여 수학적으로 해석하고, MATLAB의 시뮬링크를 사용하여 시뮬레이션 할 수 있다.

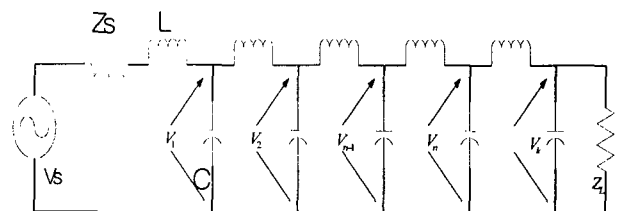


그림 1 전력선 채널 모델

즉, 그림1과 같은 모델에서 라플라스 변환을 이용한 수학적 모델링에 의해 다음과 같은 방정식을 유도할 수 있다.

$$V_1 = \frac{sL}{s^3L^2C + s^2LCZ_s + sL + Z_s} V_s + \frac{sL + Z_s}{s^3L^2C + s^2LCZ_s + sL + Z_s} V_2 \quad (1)$$

$$V_n = \frac{1}{s^2LC + 2} (V_{n-1} + V_{n+1}) \quad (2)$$

$$V_k = \frac{1}{s^2LC + 1} V_{k-1} - \frac{sL}{s^2LC + 1} \frac{V_k}{Z_L} \quad (3)$$

이러한 수학적 모델을 바탕으로 전력선 채널의 신호 감쇠현상을 살펴보기 위해 그림 3과 같은 모델을 구현하여 MATLAB을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

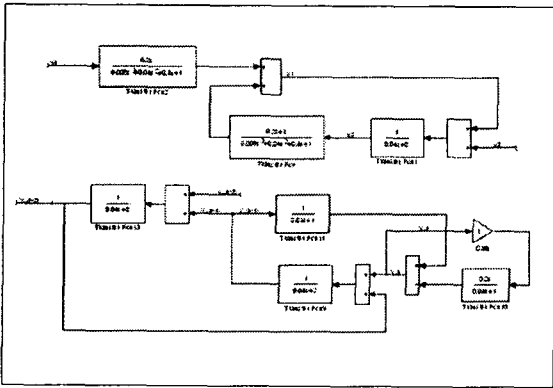


그림 2 Matlab Simulink Model

시뮬레이션 하면 그림3과 같은 노드에 따른 파형을 얻을 수 있는데, 거리가 멀어질수록 전력선 채널 자체의 감쇠 현상이 발생하는 것을 알 수 있다.

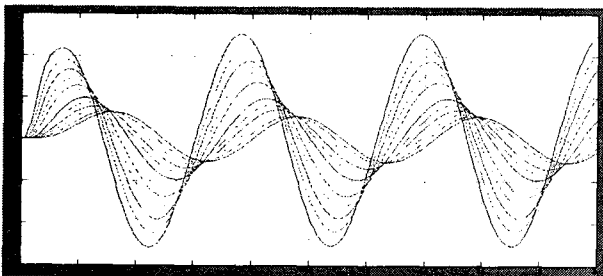


그림 3 전력선 채널의 신호 감쇠

신뢰성 있는 전력선 통신을 위해서는 이러한 감쇠현상을 극복하고 잡음으로 인해 발생하는 에러를 정정할 필요가 있다.

### 3. 전력선 통신 모델

#### 3.1 전력선 통신 기술

전력선상에서 통신을 하기 위해 필요한 핵심적인

기술은 다음의 4가지가 있다.

① 전력선에 신호를 실어준다거나 전력선으로부터 신호만을 분리해 내는 기술로서 크게 Bandpass filtering과 Impedance matching 기술이 있다. Bandpass filtering 기술은 원하는 신호만을 받아들이고 전력이나 각종 noise 신호를 제거하는 기술이다. Impedance matching 기술은 선로의 Impedance와 관계된 것으로 주어진 환경에서 최대의 신호전력을 상대측에 전달되도록 하는 것이다. 초기에는 트랜스포머와 간단한, RLC회로로 두가지 기능을 동시에 행하였지만, 채널상대 변화에 대한 대응이 어려움이 있어 이를 개선하기 위한 여러 가지 방법이 제안되었다. 트랜스포머의 권선에 변화를 주어 커플러의 특성을 가변할 수 있도록 하는 방식, Bandpass filtering과 Impedance기능을 별도의 기능 block으로 구현하는 방식, 송신과 수신 모드별로 서로 다른 Impedance를 갖도록 모드를 change하는 방식, lowpass filter와 highpass filter를 series로 연결하여 filter의 특성을 가변할 수 있도록 하는 방식등이 제안되었다.

② 전력선의 잡음특성과 감쇠특성으로 인해 전력선에 올려질 신호를 부호화 하거나 복호화 하는 기술로, 고속 전력선통신의 경우 잡음에 민감하기 때문에 중요한 기술이다. 주로 사용되는 채널 코딩으로는 Reed Solomon(iAd), Carrier Chip, CRC(Intellon, Echelon), Optimized FEC(ITR-AN), Zero Cross Clocked Carrier(X10, ZCCC), Carrier Chirp, Convolution, Viterbi(Planet) 코드를 사용하고 있다.

③ 신호 변복조 기술로 열악한 전력선 채널 특성을 극복하고, 전송 속도의 향상을 위한 통신 방식으로 FSK, Chirp-SS, DS-CDMA, OFDM 등을 주로 이용하고 있다.

④ 신호 패킷의 충돌로 인해 낭비되는 시간과 대역폭을 줄여 신호를 안정적으로 보내기 위한 기술로 주로 Ethernet의 액세스 방식인 CSMA/CD 방식을 이용하고 있다.

#### 3.2 Signal Coupling

전력선에 신호를 실어주거나 신호를 분리해내기 위해 필요한 부분으로 아날로그 소자를 이용하여 회로를 구성할 수 있다. 전력선에 신호를 실어줄 때 보통 용량성 커플링 방식을 사용하는데, 커플링 캐패시터외에 인덕터나 변압기가 같이 사용된다.

그림 4는 커플링 회로를 나타낸 것이다. 이 회로는 신호를 수신할 때 60Hz의 전원주파수를 제거하기 위해 RLC 소자들로 구성된 High-Pass 필터를 사용하였다.

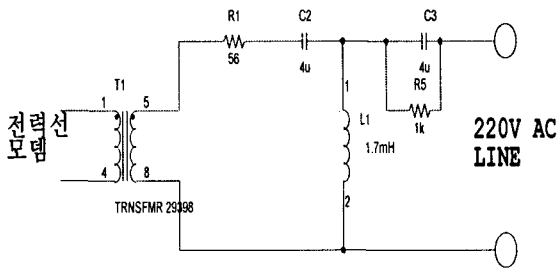


그림 4 Coupling Circuit

### 3.3 FSK Modem

전력선 통신용 모뎀을 구현하기 위해 변조방법으로 FSK 변조 방식을 채택하였다. 이 방식에서 데이터는 두 개의 이산 주파수를 Binary 방식으로 연속적인 반송파 주파수(carrier frequency)를 쉬프트 시킴으로서 전송된다. 각각의 주파수는 "mark" 주파수, "space" 주파수로서 이진값 1과 0에 대응된다. 그림5는 데이터와 전송 신호사이의 관계를 나타낸 것이다.

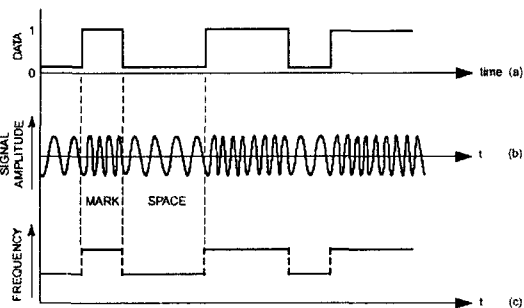


그림 5 FSK 변조(a) Binary data (b) 주파수 변조된 반송파 (c) 주파수 특성

그림 6은 일반적으로 사용되는 FSK 신호 파라미터를 나타낸 것으로 Keying speed는 Element length의 역수와같다.

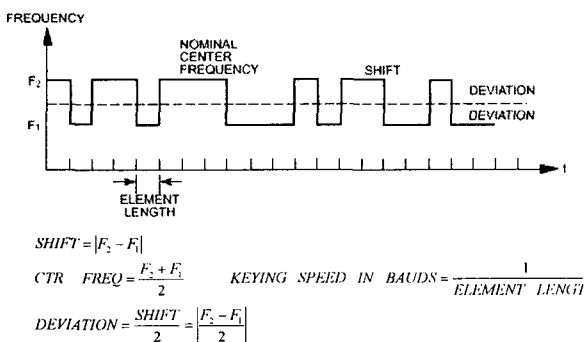


그림 6 FSK signal parameter

이러한 FSK 변조방식을 적용해 본 논문에서 제안한 모뎀의 전체 블록 다이어그램은 그림 7과 같다.

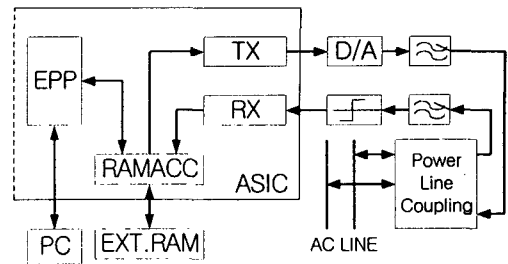


그림 7 전체 전력선 모뎀 블록다이어그램

그림 7에서 ASIC 부분은 ALTERA사의 CPLD 소자를 사용하여 VHDL로 구현하였다. VHDL코드는 ALTERA에서 제공하는 Quartus II를 사용하여 구문을 합성하고 검증하였다.

ASIC 블록내의 TX와 RX는 전송부 및 수신부를 나타낸 것으로 그림8,9와 같은 내부블록으로 표현된다.

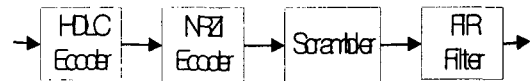


그림 8 Transmitter

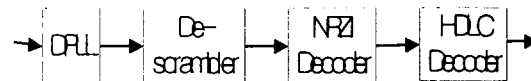


그림 9 Receiver

여기서 사용된 HDLC는 케이블 모뎀에서 주로 사용되는 전이중(Full-duplex)방식의 ARQ 채널코딩이다. 이 방식은 양방향으로 동시에 메시지를 어떤 범위까지는 응답없이 연속적으로 전송할 수 있게 함으로써 전송효율을 향상시키고, 에러검출부호를 첨가하여 신뢰성을 높여준다.

NRZI(Non-return-to-zero inverted)는 신호변화가 없이 일정한 전압수준을 유지하지만 비트 간격의 시작 위치에 데이터가 있으면 신호 변화로 해석하고 데이터가 없으면 변화 없음으로 해석한다. Scrambler는 데이터 순서를 바꾸는 즉 암호화를 위해 사용되며, 연속적으로 발생하는 0이나 1이 일정한 시간마다 반복되도록 함으로써 수신측에서 clock recovery를 할수 있도록 해준다. 구현한 모뎀에서는 FSK 변조 방식을 사용하는데, FSK 변조신호는 FIR Filter에서 만들어 내고 메인 클럭을 각각 64, 32, 16분주 시켜서 230kHz의 Broad채널에서 최대 76.56kHz의 전송속도를 가지도록 했다.

필터에서 만들어지는 전송속도는 VHDL 합성 및 프로그램 툴인 Quartus로 시뮬레이션을 수행하여 그림 10과 같이 나타내었다.

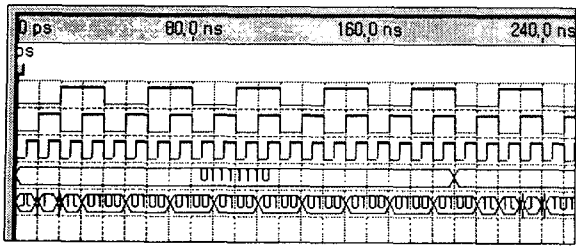


그림 10 FSK 변조에 사용되는 분주기

수신단에서 첫 번째 블록에 위치해 있는 DPLL은 32-stage를 가지는 디지털 위상고정루프이다. 수신부에서는 송신부에서 부호화한 것을 복호화시키는 단계로 채널을 통해 수신된 데이터에 대한 에러검출 및 정정 기능도 포함하고 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 기존의 전력선 통신의 핵심 기술을 살펴보고 그 문제점을 알아보기 위해, 전력선 채널 특성과 전력선 채널 모델에 대한 시뮬레이션을 수행 하였다. 그 결과 전력선 통신시에 발생하는 신호의 감쇠를 개선하기 위해 FSK변조 방식을 적용하였고, 잡음으로 인한 에러정정에는 HDLC코딩을 통하여 해결하였다. 제안된 방식은 기존의 중저속 통신에 사용된 복잡한 구조의 모델에 비해 구조가 간단하면서도 신호감쇠와 에러 정정에 있어서는 비슷한 성능을 가진다.

전력선 통신용 모델은 그 속도에 따라 여러 용도로 사용될 수 있는데, 본 논문에서 FSK변조 방식과 HDLC방식의 채널코딩을 통하여 구현한 중저속 전력선 통신에 적합한 FSK모델은 인터넷 정보전 및 방범 방재에 적용할 수 있다. 또한 설계가 간편하고 유연성이 좋아 비용을 줄일 수 있고, 여러 응용 분야에 적용할 수 있는 장점을 가진다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 한국 전기 연구소, "고속 전력선 통신망 개발, <http://plc.keri.re.kr/>"
- [2] T.Esmailian, "A Discrete Multitone Power Line Communications System." IEEE, Vol pp. 2953-2956, 2000.
- [3] 한경희, 이영철, "안전관리를 위한 전력선반송 FSK 통신 시스템", Thesis collection, 경남대, Vol. 11, 1993. pp. 177-183.
- [4] Gen Marubayashi, Shinichi Tachikawa"Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line", IEEE.
- [5] Masaoki Tanaka " High Frequency noise power

spectrum, Impedance and Transmission Loss of Power Line In Japan On Intra-building Power Line Communications", IEEE, 1988.

- [6] System View By ELANIX "A Direct Sequence Spread Spectrum(DSSS) system with a Transmitted Reference", Application Note.
- [7] Bart F Rice "A Multiple-Sequence Spread Spectrum System for Powerline Communications", IEEE, pp.809-815 1996.
- [8] K.M Dostert "A Signal Processing ASIC for an All Digital Spread Spectrum Modem for Power Line Communications", IEEE, pp. 357-361 1994