

전력선 버스를 이용한 제어시스템의
최적통신모뎀에 관한 연구

정 창경*, 박 영철**, 손 동섭*, °강 정석*
* 명지대학교 전기공학과, ** 대구공업전문대학교 전자통신과

A study of optimal data transmission modem for
control system using Power-distribution circuit

Chang-Kyung Chung, Young-Chull Park**, Dong-Sub Son*, °Jeong-Seok Kang*

*Dept. of Electrical Eng. Myong-ji Univ., **Dept. of Telecommunications Dae-Yew Technical Junior College

ABSTRACT

A power line data transmission method has been developed and presented in this paper. Although there have been efforts to develop power line data transmission techniques, none of them has been accepted as a standard. Thus, our method follows a defacto standard, CENELEC's recommendations.

The paper presents the the algorithm as well as experimental results.

1. 서론

근간에 들어서서 각광을 받고 있는 공장 자동화(FA; Factory Automation), 사무 자동화(OA; Office Automation), 가정 자동화(HA; Home Automation)등은 각기 특성에 맞는 방법과 기술의 개발로 인해 많은 발전을 이뤘었다. 그중에서도 FA나 OA등의 분야에 비해 HA는 그 기반 기술 및 표준화된 기술이 부족한 것이 현실이다. 현재의 HA기술 개발의 방향은 주로 효율적인 가사 생활을 하기 위한 관리 측면에서 이뤄지고 있다. 그러나, HA시스템을 보다 효율적으로 관리하기 위한 데이터의 전송 및 이용에 관한 기술의 개발은 미진한 형편이다. HA시스템을 이루는 모든 제어 기기 및 계측 기기간의 데이터 전송로를 홈버서시스템(HBS:Home-Bus System)이라고 한다면 이러한 홈버서시스템의 기술적인 표준화가 시급하다. 이러한 홈버서시스템을 구성하는 데에는 많은 연구와 그 적용도에 따른 전송로의 선정이 중요할 것이다. 현재의 주택 및 빌딩에는 전력을 공급해 주는 전력선, 전화 등의 신호를 전송해주는 전화선, TV등의 영상 신호를 전달해주는 동축선, 인터넷등의 홈방제시스템을 구성해주는 전용선등 많은 종류의 배선이 이뤄져 있으며, 저마다 특성에 맞는 기능을 수행하고 있다. 전력선은 주택 및 빌딩의 모든 공간에 자리하고 있으며, 다른 배선과는 달리 전력과 동시에 배선이 이루어지게 된다. 기존의 HA기기들은 제어판넬을 통하여 제어 신호를 전용 콘센트에 전송하는 방식을 이용하여 HA시스템을 구성하였다. 이러한 방식은 각 기기들과 전용 콘센트를 연결해주는 또 다른 배선의 수요를 요구한다. 이에, 본 연구에서는 별도의 배선의 추가가 없이 기존의 전력선만을 이용하여 HA기기를 제어할 수 있는 기술의 개발을 목적으로 한다.

2. 변조 방식의 선택

PCM, DM, ADM 및 DPCM 신호와 같은 디지털 신호를 통신선으로 전송하기 위하여 반송파 변조(Modulation)를 시행하여 정보 신호의 스펙트럼(Spectrum)을 높은 주파수 대역으로 친이 시킨다. 이러한 반송파 변조의 방식에는 진폭(ASK), 위상(PSK), 주파수(FSK) 변조가 있다[9, 10].

본 연구에서 적용한 데이터 통신 방식은 PSK방식의 문제점인 동기신호의 도착 및 유지를 해결하기 위하여 DPSK방식에서 아이디어를 얻어 PSK방식에 적용하는 새로운 방식을 제안한다.

3. 전력선의 통신 조건과 규제

전력선을 이용한 모뎀은 전력선을 통신선으로 사용하지만, 본래의 전력선은 상용 전력을 수송하기 위한 수단으로 설계, 설치가 되었기 때문에 통신선으로서의 고려는 이루어지지 않았다. 따라서, 전력선은 고주파수에 대한 통신 품질의 보증을 이룰 수 없다. 즉, 전력선의 임피던스와 부하에서 형성되는 커패시턴스에 공진회로가 형성되어서 특정 주파수에서의 손실이 발생할 수 있다[11]. 이는 통신선으로 전력선을 이용하는 데 있어서 가장 문제가 되는 점이다. 또한, 전력선에 연결되어 있는 전기 기기에서는 스위치의 온/오프등과 같은 동작에서 나타나는 단발성 잡음, 모터등과 같은 기기가 연속적으로 동작하여 나타나는 연속성 잡음, 형광등의 안정기등과 같은 기기에서 나타나는 주기성 잡음등 여러가지 형태의 잡음이 동시에 존재하기 때문에 데이터 신호에 대한 주변 잡음의 영향이 상당히 심한 조건이라고 할 수 있다. 아울러 전력선에 반송파를 인가하는 행위도 또한 기타 전기기기의 환경에서 보면 잡음의 일종으로 간주되기 때문에 그 레벨이 제한된다. 이에, 전력선 비스를 이용한 통신에 있어서, 높은 주파수를 가지는 전송 신호가 기타 기기에 미치는 악영향

을 고려해 전송 전력과 대역폭이 규제되고 있는데 유럽 지역의 표준인 CENELEC(Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique)의하면, 94~148.5 [KHz]의 주파수 범위가 통신용으로 허용되고 있으며, 최대 전송전력은 일반 통신인 B급의 경우 116 [dBµV_{RMS}]로 제한되어있다. 또한 상호 간섭을 방지하기 위해 고조파의 레벨에 대한 규제가 존재하며, 이는 9~150 [KHz] 대역에서는 주파수축을 대수로 취했을 경우 신호의 Quasi Peak값이 150[KHz]와 30[MHz] 사이에서는 다음의 표1과 같은 규제가 존재한다[1, 3].

주파수 범위 [MHz]	제한전압 [dBµV]	
	Quasi-Peak	Average
0.15 ~ 0.50	66 ~ 56	56 ~ 46
0.50 ~ 5.0	56	46
5.0 ~ 30.0	60	50

표 1. Limits of Mains Terminal Disturbance Voltage in the Frequency Range 0.15 [MHz] to 30 [MHz]

전력선에서 전송 신호의 주파수 변화에 따른 신호감쇠는 부분적으로 리액티브성(reactive)부하와 전송선 효과에 의해 생긴다. 한 연구결과에 보면 100[KHz] 이하의 주파수에서는 비교적 일정한 감쇠를 보이며, 100[KHz]와 200[KHz] 사이에서는 감쇠가 0.25 [dB/KHz]의 기울기로 선형적으로 감쇠됨을 알 수 있다[1, 3]. 그림 1은 100[KHz]이하에서 전력선의 등가 회로를 보인 것이다[1, 2, 3].

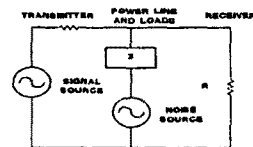


그림 1. 100[KHz] 이하에서 단순화된 전력선 회로 모델

그림 1에서 임피던스 Z는 모든 네트워크 부하의 병렬 임피던스를 나타내며 전력선 자체는 낮은 직렬 임피던스를 가지므로 무시한 것이다. 전력선에 연결된 부하는 보통 10[Ω]이상의 병렬 임피던스를 가지는데 송신기와 수신기의 임피던스는 수신된 통신 신호레벨을 가능한 한 크게 하기 위해 작아야 한다. 그래야만 출력 신호대 잡음비를 최대화할 수 있다. 전력선 채널특성을 연구한 참고문헌[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11]에 의하면 수신된 신호대 잡음비는 변하가 심하고 예측이 불가능한 평균 잡음레벨에 의해 시변이며 송신기와 수신기의 상대적인 위치와 절대적인 위치에 따라 영향을 받게 된다.

4. 하드웨어 및 소프트웨어의 구성

본 연구에서 구현된 전력선 모뎀에서는 대부분의 처리를 소프트웨어로 처리하도록 하이 하드웨어의 간간화를 이루도록 한다.

4.1 모뎀의 하드웨어 구조

모뎀은 크게 그림2와 같이 전송부와 수신부로 나뉘어진다.

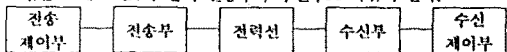


그림 2. 모뎀의 블록 다이어그램

제어부는 인텔 8051 마이크로 프로세서를 이용하였으며, 각기 전송부

와 수신부를 따로 제작하여 원거리 상의 콘센트에 접속시켜 실제 전력선 상에서 데이터를 송·수신하는 방법을 택했다. 반송파(Carrier)는 전송 제어부의 프로그래머블 타이머 '8254'를 이용하여 수정 발진기에서 발생하는 12[MHz]의 신호를 100분주하여 120[KHz]를 발생시킨다.

데이터를 반송파에 실어 넣기 위해서 전송부에 GAL을 이용한 스위칭 회로를 구성하여 각 데이터에 해당하는 신호를 발생시켰다. 전송부의 회로도도 그림 3과 같다.

전력선을 이용하여 전송된 신호를 수신부에서는 SIGNETICS사의 'NES060'을 이용하여 고역 통과 필터와 대역 통과 필터를 통과시켰다. 이 신호를 OP-AMP를 이용해 증폭시키고, 증폭된 신호는 '74LS14'를 거쳐 레벨 조정 및 안정된 구형파를 만들어 내게 된다. 이 신호를 수신 제어부의 '8254'를 이용해 수정 발진기에서 발생한 12[MHz]의 신호를 100분주한 120[KHz]의 신호와 함께 74LS08을 거쳐게 되고, RC 필터를 이용한 저역 통과 필터의 적분 회로를 거쳐 포락선 검파가 가능하도록 명명된다. 이때의 신호는 적분 회로를 거치는 동안 시간 지연이 생기게 되어, 전송부에서 전송하는 원래의 신호에 대해 시간 지연이 생기게 된다. 또한, 적분 회로를 거치며 상승 시간과 하강 시간이 늘어났던 것에 대해 74LS14를 거쳐 다시 레벨 조정 및 안정된 구형파를 생성하게 된다. 이 신호를 수신 제어부의 마이크로 프로세서를 이용해 데이터의 값을 결정하게 된다.

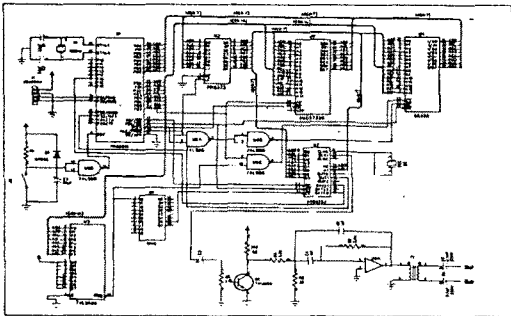


그림 3. 전송부 회로도

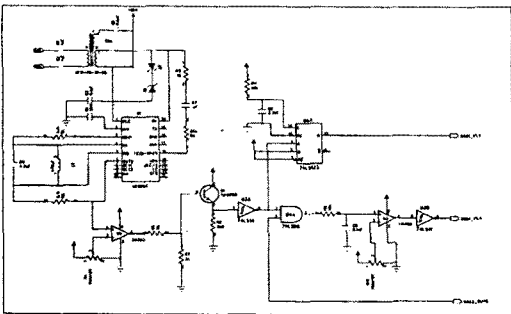
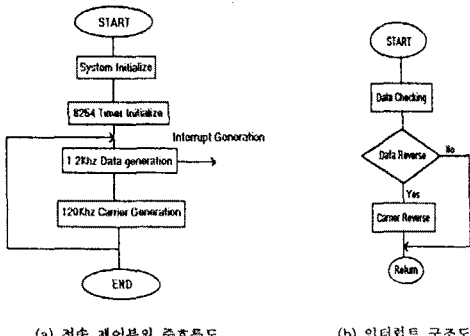


그림 4. 수신부 회로도

4.2 모뎀의 소프트웨어 구조

전송 제어부의 소프트웨어 구조는 그림 5와 같고, 수신 제어부는 그림 6과 같다.



(a) 전송 제어부의 주요흐름도

(b) 인터럽트 구조도

그림 5. 전송 제어부의 소프트웨어 구조도

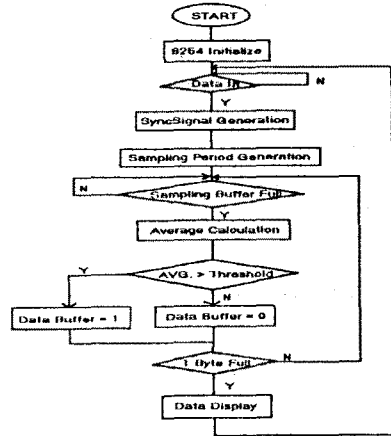


그림 6. 수신 제어부의 소프트웨어 구조도

5. 실험 및 구현

5.1 실험 환경

실험 환경은 다수의 컴퓨터가 운용되며 일반 전기 기기가 사용되고 있는 환경이었으며, 전송부와 수신부는 원거리에 위치한 각기 다른 콘센트를 이용하여 데이터를 송·수신하였다.

반송파 주파수는 120[KHz]로 선택하였는데, 이것은 CISRP(국제 무선장에 특별 위원회)의 규정에 적합하도록 적용된 것이다. 또한, 유럽의 CENELEC 규격에도 적합하도록 적용된 것이다.

변조되어진 신호를 송신부에서 전력선에 인가하고, 전력선에서 신호를 얻는데 쓰인 변압기는 TOKO 사의 'TOKO-707VX-T1002N'을 이용하였다. 이 변압기를 이용함으로써 인해서 전력선과 모뎀의 임피던스 매칭(Impedance Matching)회로가 따로 필요 없게 되어서 전력선에 신호를 송신 없이 전달할 수 있었다.

5.2 실험 결과

실험 후의 결과는 다음에 보이는 파형을 참조하여 설명하고자 한다.

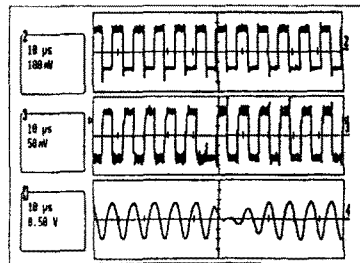


그림 7. 반송파 신호와 위상 편이된 신호, 전력선에 실리기 전의 신호

그림 7에서 보는 파형은 첫번째 파형이 주파수 발생기에서 발생한 반송파이고, 두번째 파형이 데이터와 함께 위상이 편이된 120[KHz]의 신호, 마지막 파형이 전력선에 실리기 전 단계인 변압기 입력 신호 파형이다. 그림에서와 같이 위상이 반전할 때에 각각의 시간 지연이 생김을 알 수 있다. 그러나, 이 시간 지연은 파형에 영향을 주지 않고 다음 파형의 지속 시간을 짧게 할뿐 이후의 파형에는 영향을 주지 않는 것으로 볼 수 있다.

다음의 그림 8과 그림 9는 전력선의 스펙트럼과 전력선에 반송파를 인가하였을 경우의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 전력선에 120[KHz]의 신호를 인가하였을 경우, 120[KHz]에 해당하는 주파수 영역에서 스펙트럼의 변화가 생김을 알 수 있다. 또한, 120[KHz]의 제 2, 3 등의 고조파에 해당하는 주파수 영역에서도 스펙트럼의 변화가 있음을 알 수 있다.

그림 10에서 보는 파형은 왼쪽 파형이 수신부에서 수신된 파형을 증폭하여 나타난 신호이고, 오른쪽 파형이 전송부에서 전송하기 전의 파형이다. 전력선을 통해 전송을 하더라도 그 전력 값이 매우 미세하기 때문에 주변 기기에 대한 영향이 없으면서도, 필터를 거친 이후의 파형은 매우 안정적으로 수신됨을 볼 수 있다.

그림 11에서 보는 파형은 그림 10에 보았던 파형과 그 파형을 레벨 변환과 함께 안정적인 구형파로 만들기 위한 회로를 거친 후의 파형이

다. 수신단에서 여러 회로를 거치는 동안 시간 지연이 많이 생기게 되었지만, 파형을 정확히 인가 됨을 알 수 있다.

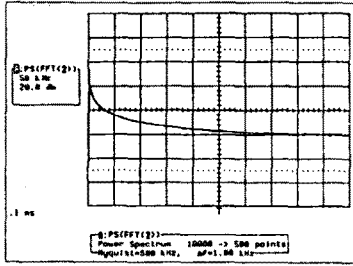


그림 8. 전력선의 Power Spectrum

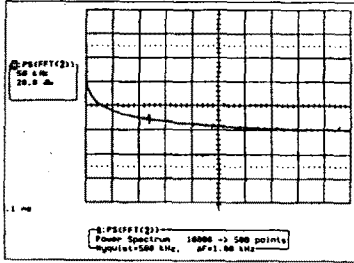


그림 9. 120[KHz]의 반송파가 실린 전력선의 Power Spectrum

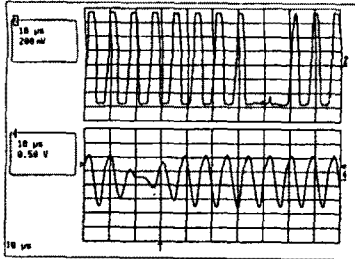


그림 10. 수신부에서 수신된 신호와 전송부에서 전송할 신호의 파형

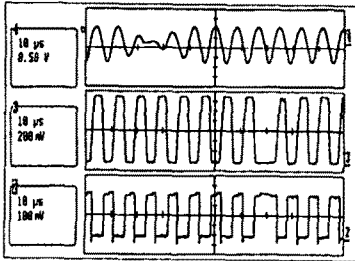


그림 11. 전송하기 위한 파형과 수신된 파형, 레벨 트리거를 시킨 파형

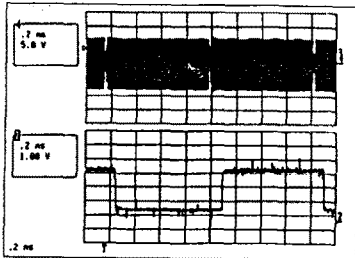


그림 12. 전송 신호와 최종적으로 얻어진 신호

그림 12에서 보는 파형은 왼쪽 파형이 전송부에서 전송하려고 하는 파형이고, 아랫쪽 파형이 수신단의 회로를 모두 거친 후 마이크로 프로세서의 처리를 위해서 만들어진 최종 파형이다. 전송부에서 "1,0,1,0"에 해당하는 파형을 보낸 경우에 해당하며, 각 데이터에 해당하는 레벨 값을 정확하게 찾아냄을 알 수 있다.

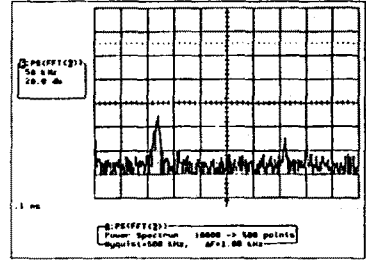


그림 13. 수신부에서 수신된 신호의 대역 통과 필터링 후의 Power Spectrum

그림 13의 파형은 수신부에서 수신된 신호를 대역 통과 필터를 거쳐 개한 후, 그 신호를 FFT를 이용하여 Power Spectrum 값을 구한 것이다. 120[KHz]의 신호 성분이 가장 크게 나타나고 다른 주파수를 가진 신호의 성분은 필터를 거치며 그 값이 많이 억제되었음을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서 구현된 전력선 모델은 전형적인 PSK 방식의 구조에서 벗어난 PSK 방식과 DPSK 방식의 절충안이라고 할 수 있다.

본래 DPSK 방식은 PSK 방식에 대해서 1[dB] 정도의 전력 손실이 있다. 하지만 PSK 방식에 비해 회로의 복잡성이 덜하다는 잇점이 있지만 그 구현에 있어서 이리움이 많다. 이러한 두 방식의 장·단점을 서로 보강할 수 있는 새로운 방식을 본 연구에서는 채택하였다.

DPSK 방식의 회로에서는 사용하지 않는 임의의 신호를 발생시켜 수신된 신호와 함께 AND 연산을 하여 데이터를 포락선 검파를 통하여 복구하는데 사용하였으며, 따라서 신호를 복구할 때에 동기 회로의 사용이 없이 데이터를 안전하게 복구해 낼 수 있었다.

본 연구의 전체 조건인 CIRSP 및 CENELEC의 규격에 맞는 신호의 전력을 전송하였기 때문에, 전력선에 고주파 신호가 전달됨으로 인해서 야기될 수 있는 일반 전기 기기에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.

본 연구에서 이용된 필터의 특성보다 통과 대역폭이 더욱 작은 필터가 구현되어, 수신되는 신호의 시간 지연 및 신호 크기의 리플을 감소시켜야 할 것이라고 사료된다.

참고문헌

1. Peter K. Van Gracht, Robert W. Donaldson, "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Circuit", IEEE Transactions on Communications, 1985
2. Jin-Der Wang, H. Joel Trussell, "Adaptive Harmonic Noise Cancellation with an Application to Distribution Power Line Communications", IEEE Transactions on Communications, 1988
3. Peter K. Van Gracht, Robert W. Donaldson, "Pseudonoise signalling for Power Line Carrier Applications", IEEE Transactions on Power Delivery, 1986
4. Morgan H. L. Chan, Robert W. Donaldson, "Attenuation of Communication Signal on Residential and Commercial Intra-building Power-Distribution Circuit", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1986
5. Approved Revision to IEEE Standard NO.487-1992 "Recommended Practice for The Protection of Wire Line Communications Facilities Serving Electric Power Stations", IEEE Transactions on Power Delivery, 1993
6. Dennis R. Morgan, Gordon H. Danielson, Samuel E. Craig, "Adaptive Interference Cancellation for power Line Carrier Communication Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, 1991
7. P. Burrascano, S. Cristina, M. D'Amore, M. Salerno, "Digital Signal Transmission on Power Line Carrier Channels: An Introduction", IEEE Transactions on Power Delivery, 1987
8. CENELEC, "Signalling on Low-Voltage Electrical Installations, European Standard, March, 1989.
9. Martin S. Roden, "Analog and Digital Communication System, 3rd Ed.", Prentice-Hall, Inc., 1991.
10. 박 영철, 통신시스템, 청문각, 1993
11. Yasumitsu Miyazaki, Akira Iida, Kenji Kobayashi, Bataro Horosaki, "Power Line Data Transmission using Spread-spectrum Signal in Power transmission Parallel Pair Line", CS85-89