

전력선 버스를 이용한 제어 시스템의 통신모뎀 송신기 구현에 관한 연구

論 文
48A-3-21

Realization of the Transmitter of Communication Modem for Control Systems using Power-Distribution Circuit

鄭昌京* 朴瑛哲** 孫東燮***

(Chang-Kyung Chung · Young-Chull Park · Dong-Sup Sohn)

Abstract - Recently, there are a lot of activities on the researches that implement many kinds of control system using power lines. To implement that, it is desirable to use hybrid PSK model because it takes advantage of PSK and DPSK which has a low-bit-error rate. In this paper, we implement the transmitter of this model. Because the power line is not designed for the data communication, we separated the signal generator circuit and the signal loading circuit so that minimized noises from outside. Also, to make it easy on the experiments, most of process are performed by software. As a result, transmitting a high frequency signal on the power line made no effects on the usual electrical devices.

Key Words : ASK, FSK, PSK, DPSK, 비트오류확률

1. 서 론

생산성 향상, 기술 인력의 해결을 위해 도입되기 시작하여 급속도로 발전된 공장 자동화(Factory Automation : FA)와 사무 능력 향상과 사무의 간소화 및 정확성을 추구하는데 한 몫을 하고 있는 사무 자동화(Office Automation : OA) 등은 그 가치와 생산성 면에서 크게 입증되고 있고 나날이 발전되어 가고 있다. 여기에 3A의 하나인 가정 자동화(Home Automation : HA)가 최근에 몇 년 사이에 국내에도 개발 보급되어 우리 나라도 이제 HA의 시대가 왔음을 알 수 있다.

점차 고도 정보화 사회가 되어 가는 현실을 볼 때 HA의 등장은 당연한 결과이며, 이미 공장과 사무실에는 컴퓨터를 이용한 업무의 자동화가 이루어지고 있고 기업간의 독자적인 네트워크 구축으로 업무의 신속성, 간소화는 물론 효율성, 창조성에 있어서도 상당한 효과를 보고 있다.

HA는 가정내에서의 정보 처리와 제어를 실용화하여 가사를 보다 쉽고 편리화하는데 있다. 즉 가사 노동은 다른 어떤 작업보다도 수작업 중심의 전형적인 노동 집약 작업이므로 공업화에 따라 가정용 정보기기를 중앙의 제어 시스템에 연결하여 가사 작업의 편리성을 추구하는 것이 HA의 기본 목표이다. 이러한 각종 기기의 여러 가지 제어와 감독 기능은 중앙의 PC 또는 마이크로프로세서에 의하여 자동적

으로 수행될 수 있다. 그러나 HA의 기반은 각 정보기기들이나 시큐리티(방법, 방재)에서부터 홈 बैं킹(Home Banking)에 이르는 여러 가지 기능을 갖춘 시스템을 상호 연결하는 정보 전송로인데 이를 정보의 합승 버스라는 의미에서 홈 버스 시스템(Home Bus System : HBS)이라고 한다.

따라서 홈 버스 시스템을 구성하는 경우에는 전송되는 정보의 양과 질을 확인한 다음 전송선을 선택하여야 한다. 현재 주택에서의 배선은 전력을 공급하는 전력선, TV 영상을 전송하는 동축선, 주로 전화의 음성을 전송하는 전화선, 그리고 인터폰, 리모콘 기기용 전송선 등이 있으며, 이들은 각각의 필요한 기능을 다하고 있다. 전송 특성에서 보면 말할 것도 없이 동축선이 우수하다. 그러나 본 연구에서 고려하는 전송선은 가정용 전력선이다. 가정용 전력선은 신호의 전송 매체로는 양질이 아니다. 이는 전력선이 주변의 전기 기기로 인하여 많은 잡음을 포함하고 있고 또한 임피던스가 낮기 때문이다.[1][2][3][4] 그러나 전력선은 신호 전송과 전력을 공급하는데 동일한 매체를 이용할 수 있으며, 특히 기존의 건물에 신호선을 다시 부설할 필요가 없다는 장점이 있다. 또한 전력선은 고속의 데이터 전송에는 적합하지 않지만 짧은 데이터의 전송은 가능하므로 이를 이용하여 전기 기기의 운전 제어 등이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 HA에 적용하기 위한 전력선 버스를 이용한 제어 시스템의 최적 통신 모뎀을 이에 적합한 디지털 변조 방식을 선택하여 CISRP(국제 무선장에 특별위원회)의 규정에 맞추어 설계 및 구현한다.[5][6][7]

2. 디지털 변조 방식의 비교

2.1 진폭천이키잉(Amplitude Shift Keying : ASK)

ASK에서 반송파 신호의 진폭은 2진 디지털 신호의 레벨

* 正 會 員 : (주)비케이시스템 代表理事 · 工博

** 正 會 員 : 靑江文化産業大學 移動通信科 副教授 · 工博

*** 正 會 員 : (주)다원텍 研究員

接受日次 : 1998年 4月 11日

最終完了 : 1999年 1月 28日

사이에서 도통(on)과 차단(off) 상태로 스위칭되므로 ASK를 온-오프 키잉(On-Off Keying : OOK)이라고도 한다. ASK 변조신호를 수식으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$s_{ASK}(t) = \frac{A}{2} [1 + s_{DIG}(t)] \cos(\omega_o t) \quad (1)$$

여기서 $s_{DIG}(t)$ 는 부호 0과 1에 해당하는 -1과 +1의 레벨을 가지는 양극성 펄스이다. 따라서 ASK 변조기는 반송파를 on-off 상태로 스위칭하는 방법으로 구성할 수 있으므로 이의 가장 간단한 형태와 변조신호 파형을 그림1에 나타내었다.

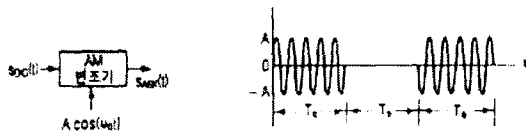


그림 1 ASK 변조기와 변조신호 파형
Fig. 1 ASK modulator and modulated signal waveform

ASK 시스템의 검파 방법에는 동기식과 비동기식이 있으나 비동기식 검파기가 동기식 검파기보다 성능이 약 1dB 정도밖에 차이가 나지 않으므로 시스템이 간단한 비동기식 검파기를 많이 사용한다.[8]

2.2 주파수천이키잉(Frequency Shift Keying : FSK)

2진 FSK 신호는 2진 부호에 따라 두 개의 일정한 주파수 발진기를 스위칭함으로써 발생시킬 수 있다. 즉 부호 1의 전송시에는 $(\omega_o - \Delta\omega)$ 의 주파수를 발생시키고 부호 0의 전송시에는 $(\omega_o + \Delta\omega)$ 의 주파수를 발생시키는 것이다. 따라서 FSK 신호는 두 개의 ASK 신호를 합성한 것으로 볼 수 있으므로 이를 수식으로 나타내면 식(2)와 같으며, FSK 변조기와 변조신호 파형을 그림2에 나타내었다.

$$s_{FSK}(t) = \frac{A}{2} [1 + s_{DIG}(t)] \cos[(\omega_o + \Delta\omega)t] + \frac{A}{2} [1 - s_{DIG}(t)] \cos[(\omega_o - \Delta\omega)t] \quad (2)$$

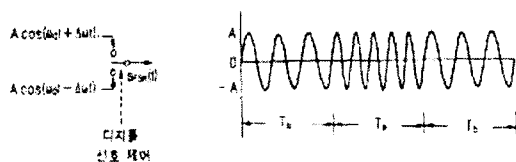


그림 2 FSK 변조기와 변조신호 파형
Fig. 2 FSK modulator and modulated signal waveform

FSK 시스템의 검파 방법도 ASK와 마찬가지로 동기식과 비동기식이 있으며 두 개의 ASK 검파기를 병렬로 두면 된다. 따라서 ASK 시스템과 성능이 동일하다. 다만 동기 검파시에는 ASK와 달리 두 개의 동기된 국부 발진기가 필요하다.

다. FSK에서도 비동기식 검파기가 동기식 검파기보다 성능이 약 1dB 정도밖에 차이가 나지 않으므로 시스템이 간단한 비동기식 검파기를 많이 사용한다.[8]

2.3 위상천이키잉(Phase Shift Keying : PSK)

PSK에서는 반송파의 위상이 디지털 신호의 레벨에 따라 두 개의 값으로 스위칭한다. 두 개의 위상은 신호의 레벨에 따라 π [rad] 만큼 떨어지는 것이 일반적이므로 이를 위상반전키잉(Phase Reversal Keying : PRK)이라고도 한다. 위상을 반전시킨 변조는 반송파를 디지털 정보신호로 양측파대 진폭변조한 것이 되므로 PSK 신호를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_{PSK}(t) = A s_{DIG}(t) \cos(\omega_o t) \quad (3)$$

PSK 변조기와 변조신호 파형을 그림3에 나타내었다.

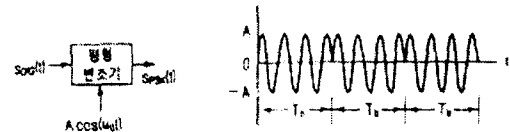


그림 3 PSK 변조기와 변조신호 파형
Fig. 3 PSK modulator and modulated signal waveform

PSK 시스템에서는 정보신호가 PSK 신호의 위상에 의하여 전송되므로 검파 방법에서는 동기된 국부 반송파의 발생이 반드시 필요하다. 따라서 PSK의 검파방법은 동기식 ASK 검파방법과 근본적으로 동일하며 비동기식 검파기의 사용은 불가능하다. 결과적으로 PSK 시스템은 다른 어떤 시스템보다 성능이 우수하다.[8]

2.4 차동위상천이키잉(Differential PSK : DPSK)

DPSK는 디지털 신호를 사전처리한 후에 반송파를 이용하여 PSK 변조를 수행하는 것이다. 사전처리를 행하는 과정을 사전처리된 신호파형과 함께 그림4에 나타내었다. 수신기에서는 국부 반송파의 발생이 필요없으며 수신된 신호만을 사용하여 원래의 디지털 신호를 완전하게 복구할 수 있다. 이와 같이 DPSK는 검파시에 동기된 국부 반송파를 이용하는 동기검파 방식을 이용하지 않으나 PSK 시스템보다 성능이 약 1dB 정도밖에 떨어지지 않는다. 따라서 신호의 전력을 1dB 정도만 높혀 주면 PSK와 성능을 동일하게 할 수 있다.[8]

2.5 비트오류 확률을 이용한 각 변조 방식의 성능 비교

지금까지 설명한 각 디지털 변조 시스템의 성능을 비교하기 위하여 각 시스템의 비트 오류 확률 P_e 를 비트당 평균 송신 전력 ϵ 를 사용하여 그림5에 그래프로 비교하여 나타내었다.

3. 송신기의 구현

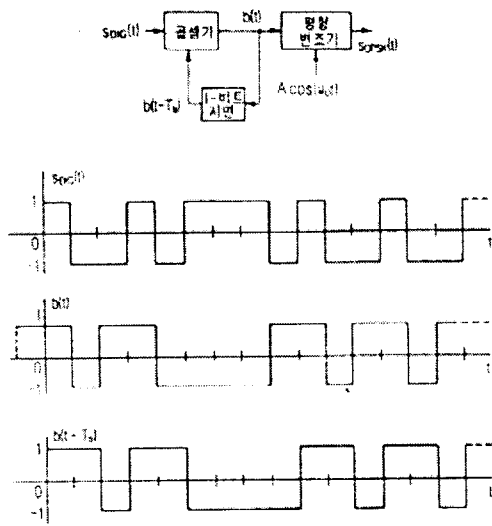


그림 4 DPSK의 사전처리 과정
Fig. 4 DPSK preprocessing

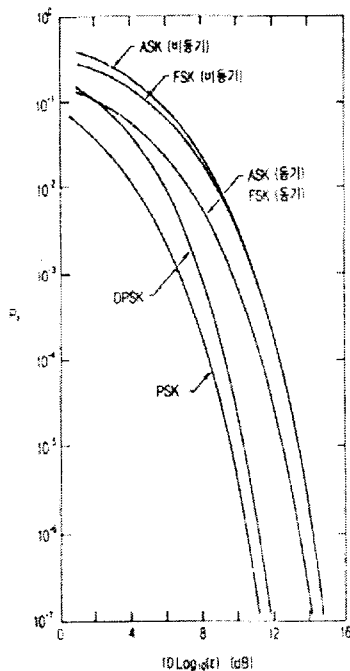


그림 5 각 디지털 변조 시스템의 비트오류 확률 P_e
Fig. 5 Bit error probability P_e for various digital systems

그림5에서 시스템의 성능을 고려하는 $P_e \leq 10^{-4}$ 의 비트오류 확률에 대하여 다음과 같은 사실들을 알 수 있다. PSK 시스템이 주파수나 진폭을 이용한 어떠한 시스템보다 성능이 가장 우수하며, 다음으로 우수한 시스템이 DPSK 시스템으로 동일한 P_e 에 대하여 PSK 시스템보다 약 1dB의 신호 전력의 손실을 가져온다. FSK와 ASK 시스템의 성능은 거의 동일하며, 동기 시스템은 비동기 시스템보다 약 1dB의 신호 전력의 이득을 가져온다.

3.1 전력선상의 잡음

전력선상의 잡음을 시간축으로 관측하여 보면 끊임없이 크고 작은 잡음이 있다는 것을 알 수 있다. 잡음은 그 성질에 따라 연속성 잡음, 주기성 잡음, 단발성 잡음 등으로 분류할 수 있다.[1][9][10][11] 또한 이러한 잡음은 그 성질에 따라 통신에 미치는 영향도 다르다.

연속성 잡음은 인버터 등의 발진회로나 브러쉬레스 모터에서 발생하며, 스펙트럼으로는 기본파와 고주파로 구성되고 시간적으로 연속이다. 주기성 잡음은 사이리스터 제어기기 등에서 발생하며 레벨은 높지만 발생 주기에 비하여 지속시간이 짧다. 주기성 잡음의 레벨은 120[dB μ V]에 이르지만 지속시간은 수백 μ sec 정도이다. 단발성 잡음은 서모스타트의 개폐시나 기기의 on-off시 등 우발적으로 발생한다. 이 주기성 잡음과 단발성 잡음에 대하여 피크값과 지속시간 그리고 기본주기를 측정된 결과는 표1과 같다.

표 1 주기성 잡음과 단발성 잡음

Table 1 Periodic noise and spot noise

상 태	성격	전기기기	피크치 (mV)	지속시간 (msec)	기본주기 (μ sec)
동작시	단발	전기 건조기	1560	1.0	5.6
		전기 청소기	120	1.3	7.5
		헤어 드라이어	160	2-3	8.0
		전자 조리기	22000	1-2	0.33
		냉장고	2000	0.2	6.7
		비디오 디스크	10	0.3	17.6
		스위칭 전원	1000	0.2	10.0
		스팀 다리미	50	4-9	8.0
	주기	조광식 백열등	1000	0.12	120
세탁기	7.8	0.06	8.7		
스위칭 전원	33-37	0.01-0.2	9.9		

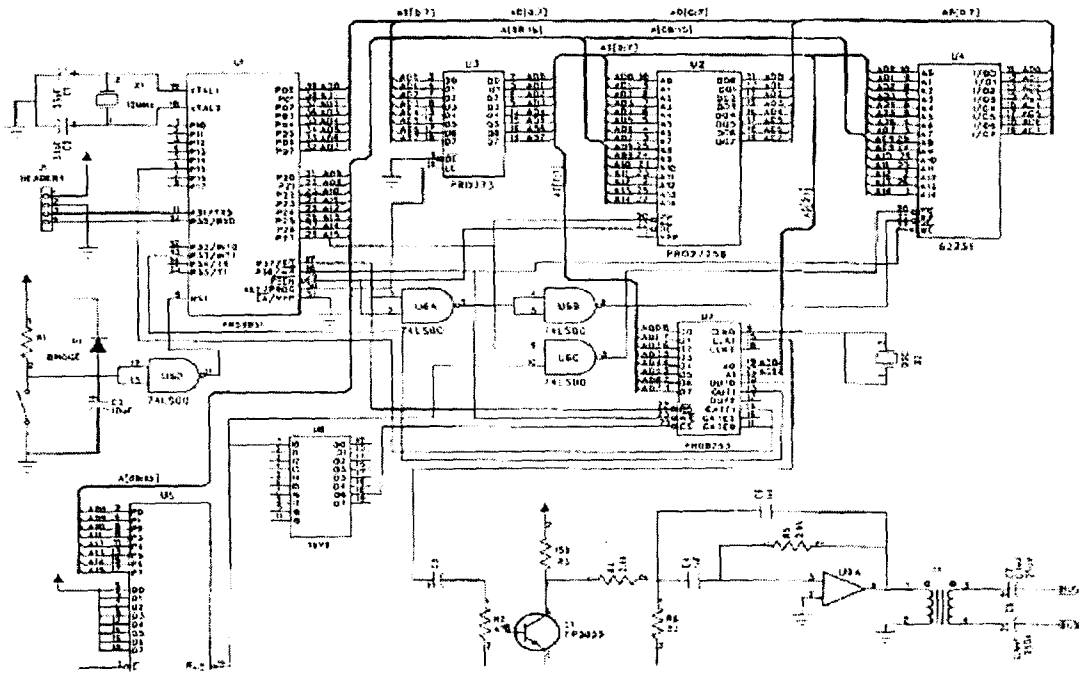
CISRP(국제 무선장애 특별위원회)는 가정용 전기기기의 잡음 단자 전압에 대하여 표2와 같은 규제를 하고 있다.

표 2 CISRP의 잡음 전압 규격

Table 2 CISRP specification of noise voltage

주파수 범위(MHz)	dB μ V
0.15 - 0.50	66
0.50 - 5.0	60
5.0 - 30.0	66

본 연구의 실험 환경은 다수의 컴퓨터가 운용되고 일반 전기기기가 사용되고 있으므로 연속성 잡음, 단발성 잡음 및



(a) 송신기 회로도

주기성 잡음 등 일반 전력선상에 나타날 수 있는 모든 잡음이 포함된 환경이었으며, 송신기와 수신기 사이에는 원거리에 위치한 각기 다른 콘센트를 이용하여 데이터를 송수신하였다.

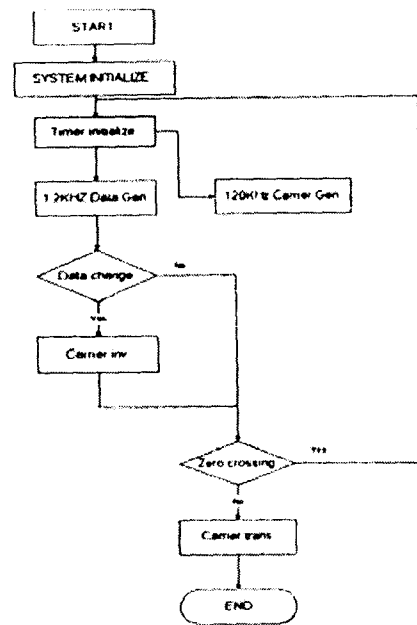
반송파 주파수는 120[kHz]로 선택하였는데 이는 CISRP의 규정 및 유럽의 CENELEC의 규정에 적합하도록 적용된 것이다.[7]

3.2 송신기 구조

실험을 통해서 개선된 모델은 PSK와 DPSK의 장점을 취합한 형태이다. PSK의 경우 성능은 DPSK보다 우수하나 구현상에서 반송파 신호의 동기를 위하여 위상고정루프 및 이에 따른 기타 부수 회로를 필요로 한다. 그러나 DPSK는 이러한 반송파의 동기가 필요치 않다. 본 논문에서는 동기신호가 아닌 기준신호(Reference)형태의 반송파 신호로서 구현상 간단한 PSK 모델을 제안하고, 이의 PSK 송신기를 구현하였다.

모델 전체의 제어는 인텔 8051 마이크로프로세서를 이용하여 수행하였으며, 송신기와 수신기를 따로 제작하여 원거리상의 콘센트에 접속시켜 실제 전력선상에서 데이터를 송수신하였다.

전력선과 모델을 연결하는 트랜스포머로는 TOKO사의 'TOKO-707VX-T1002N'을 이용하였다. 이를 이용함으로써 전력선과 모델의 임피던스 정합회로가 불필요하게 되어 신호를 손실없이 전달할 수 있었다.



(b) 소프트웨어 플로우 차트

그림 6 송신기의 회로 및 소프트웨어 플로우 차트

Fig. 6 Transmitter circuit diagram and software flow chart

반송파는 프로그래머블 타이머(Programmable Interval Timer)를 이용하여 수정발진기에서 발생하는 12[MHz]를 분

주하여 120[kHz]를 발생시키고, 여기서 각 상황에 맞는 데이터 신호를 발생시켜 반송파를 반전시켰으며, Zero Crossing를 통하여 데이터 신호를 전송하였다.

데이터를 이 반송파에 실기 위해서는 GAL을 이용한 스위칭 회로를 구성하여 각 데이터에 해당하는 신호를 발생시켰다. 또한 120[kHz]의 반송파를 반전시켰을 때 발생하는 고조파 성분을 제거하기 위하여 대역통과필터를 사용하였다. 송신기내에서 자체적으로 발생하는 잡음도 이상 신호가 될 수 있으므로 최대한으로 잡음을 줄이기 위하여 데이터 처리부와 신호를 버스에 실는 부분의 회로를 분리하였고 전원도 분리하여 사용하였다. 또한 실험의 용이성을 위하여 제한된 일부분만을 하드웨어로 구성하였으며 대부분 소프트웨어적으로 처리하였다. 본 논문에서 구현한 송신기의 회로도 및 소프트웨어의 플로우 차트를 그림6에 나타내었다.

4. 실험 결과

반송파 주파수 120[kHz]에 1.2[kHz]의 데이터 신호가 실린 결과를 그림7에 나타내었다. 첫번째 파형은 주파수 발생기에서 발생된 반송파이고 두번째 파형은 위상 천이 결과를 확실히 나타내기 위하여 하나의 0과 1의 데이터에 따라 위상이 천이된 120[kHz]의 반송파 신호를 나타낸 것으로 반송파 신호는 변조 데이터에 따라 위상이 반전됨을 알 수 있다. 마지막 파형이 전력선에 실리기 위한 트랜스포머 입력 신호 파형이다. 그림에서 위상이 반전할 때 약간의 시간 지연이 발생함을 볼 수 있으나, 이 시간지연은 다음 파형의 지속시간을 짧게 할뿐 전체의 파형에는 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

그림8은 전력선의 스펙트럼과 전력선에 반송파를 인가하였을 경우의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 전력선에 120[kHz]의 신호를 인가하였을 경우에 120[kHz]에 해당하는 주파수 영역에서 인가된 신호에 의하여 스펙트럼 변화가 발생한다. 또한 120[kHz]의 제 2, 3 등의 고조파에 해당하는 주파수 영역에서도 스펙트럼의 변화가 있음을 알 수 있다.

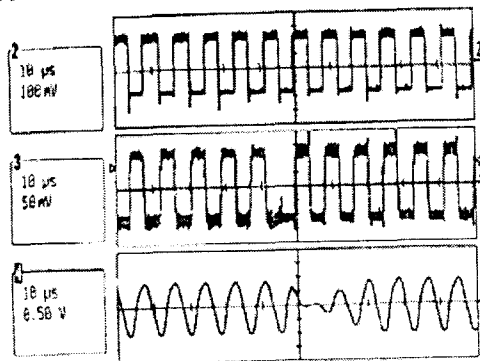
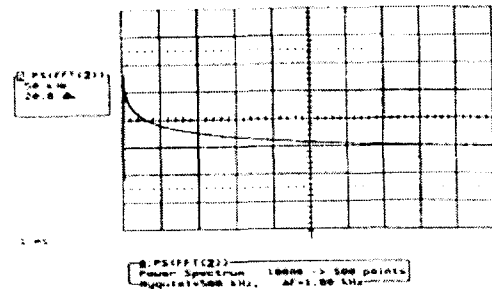
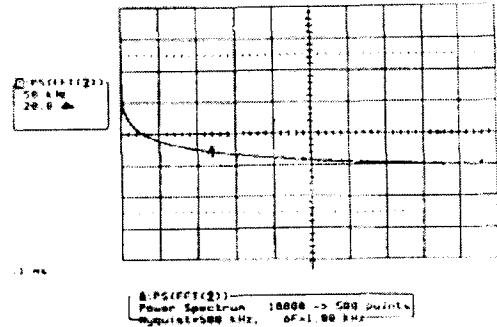


그림 7 반송파 신호와 위상 천이된 신호 및 전력선에 인가되기 전의 신호

Fig. 7 Carrier signal, phase shifted signal, and power line input signal



(a) 반송파가 없는 경우의 전력선 스펙트럼



(b) 반송파가 실린 경우의 전력선 스펙트럼

그림 8 반송파가 실리기 전후의 전력선의 스펙트럼

Fig. 8 Power spectrum of power line without/with 120[kHz] carrier

5. 결론

CIRSP 및 CENELEC의 규정에 따르면 본 연구에서 발생한 반송파 신호에 의한 잡음은 주기성 잡음으로 볼 수 있다. 이 잡음의 크기는 약 2000[mV]이며, 주기는 8.33[μsec]이다. 이는 표1에 나타낸 단발성 및 주기적 잡음과 비교하여 볼 때 전력선에 고주파 신호가 전달됨으로써 야기될 수 있는 일반 전기기기에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.

전력선을 통해 수신된 신호의 값이 매우 작은 것을 볼 수 있는데, 이는 전력선 자체의 잡음 및 감쇠 현상에 의한 것으로 볼 수 있다. 그러나 이는 수신부에서 적절한 신호 증폭 및 레벨 조정에 의하여 보상이 가능하다.

여기서 데이터를 정확하게 전송하기 위해서는 일반 상용 전력선상의 감쇠 현상 및 잡음의 영향에 대한 연구가 좀 더 이루어져야 하며, 전기기기 자체의 전원도 일반 전력선에서 얻기 때문에 반송파의 영향을 고려한다면 기존의 전기기기 전원 설계시에 고주파 영역에 대한 차폐회로를 보강하는 등의 조치가 뒤따라야 할 것이다. 아울러 잡음 및 신호의 감쇠에 대한 보상회로를 보강하기 위하여 대역폭이 좁은 필터가 구현되어야 한다. 또한 실질적으로 통신 모델이 구현이 되었을 경우에 반송파 신호의 혼선으로 인한 오동작을 줄이기 위한 데이터 신호의 프로토콜 등의 규약도 뒤따라야 할 것으로 사료된다. 본 논문에서 구현한 전력선 모델은 1200bps까지의 전송 속도의 데이터를 훌륭하게 복구하였다.

참 고 문 헌

- [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 Transactins on Power Delivery, 1986
- [4] Dennis R. Morgan, Gordon H. Danielson, & Samuel E. Craig, "Adaptive Interference Cancellation for Power Line Communication Systems," IEEE Transactions on Power Delivery, 1991
- [5] 사공석진, 송문규, "전력선을 이용한 ASK 통신 모델에 관한 연구," 한국통신학회논문지, 1992
- [6] 송문규, 김대우, 사공석진, 차균현, "직접대역확산 기법을 적용한 전력선 모델의 구현," 한국통신학회논문지, 1993
- [7] CENELEC, Signalling on Low-Voltage Electrical Installations, European Standard, March, 1989
- [8] Peyton Z. Peebles, Jr., Communication System Principles, Addison-Wesley Publishing Company, 1976
- [9] Morgan H. L. Chan, & Robert W. Donaldson, "Attenuation of Communication Signal on Residential and Commercial Intrabuilding Power-Distribution Circuit," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1986
- [10] Approved Revision to IEEE Standard No. 487-1992, "Recommanded Practice for the Protection of Wire Line Communications Facilities Serving Electric Power Stations," IEEE Transactions on Power Delivery, 1993
- [11] 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

저 자 소 개



정 창 경(鄭 昌 京)

1951년 10월 10일 생. 1974년 고려대 물리학과 졸업. 1987년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1981년~1995년 명지대 전기공학과 교수. 1995년~현재 (주)비케이시스템 대표이사



박 영 철(朴 瑛 哲)

1958년 7월 27일 생. 1981년 고려대 전자공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1991년~1996년 동서울대학 전자통신과 조교수. 1997년~현재 청강문화산업대학 이동통신과 부교수



손 동 섭(孫 東 燮)

1967년 6월 2일 생. 1994년 명지대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 (주)다원택연구원