

전력선통신을 이용한 전력품질 모니터링 시스템

(Power Quality Monitoring System of Using Power Line Communication)

홍덕표* · 최재호**

(Ducpyo Hong · Jaeho Choi)

요 약

산업화로 인버터, 컨버터, 스위칭 전원공급기, 모터와 같은 비선형 장치들이 늘어가고 있다. 그러나 컴퓨터와 기기장치 등과 같은 전력품질에 민감한 부하의 사용이 빠르게 확산되어 왔다. 게다가 전력품질 문제와 실시간 전력품질 모니터링은 산업과 빌딩에서 시스템의 지능제어로서 관심이 증대되고 있는 문제 중에 하나이다. 그중 하나인 전력선통신을 이용한 전력품질 모니터링 시스템은 새로운 선로가 없이도 전력품질 정보를 보내고 받을 수 있는 큰 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 IEEE Std. 1159의 분류에 따라 전력품질 문제를 측정하는 알고리즘의 개발과 보드를 제작하고 이를 전력선통신을 이용하여 모니터링하는 시스템을 구현하였다.

Abstract

As the developing of industry, the nonlinear equipments as inverter, converter, SMPS(Switching Mode Power Supply) and motor have been increased. But the sensitive electronic loads to the power quality, such as computers and other electronic equipments, have been spreaded out very fast. Thus, the power quality(PQ) problems and the real time power quality monitoring(PQM) are one of the important issues in industry and building area for the intelligent control of the systems. One of them, PQM using PLC(Power Line Communication) have good merits that can send and receive the PQ information without any new network line. This paper presents the PQM hardware and software to monitor the PQ information by using PLC that meets the categories of IEEE Std. 1159.

Key Words : Power Quality(PQ), Power Line Communication (PLC), Power Quality Monitoring (PQM)

1. 서 론

정보통신 산업의 발달로 산업현장에는 전력변환 장치와 자동화설비등에 컴퓨터 및 전자부품의 사용이 필수적인데, 이러한 기기들은 안정적이며 신뢰성을 갖춘 전원공급이 매우 중요하다. 따라서 전원의 상태를 감시하여 양질의 전력품질(PQ : Power Quality)을 유지하는 조치와 대책이 필요하다.

* 주저자 : 충북대 전기공학과 박사과정
 ** 교신저자 : 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교수
 Tel : 043-261-2425, Fax : 043-276-7217
 E-mail : choi@chungbuk.ac.kr
 접수일자 : 2005년 4월 7일
 1차심사 : 2005년 4월 15일
 심사완료 : 2005년 4월 22일

전력선통신을 이용한 전력품질 모니터링 시스템

현대 산업에서 전력품질 모니터링, 진단, 향상 시스템에 대한 연구 및 개발이 절실히 구되는 가운데 Voltage Sag, Swell, Interruption, Under voltage, Overvoltage, Harmonics 등의 전력품질 저하로 인한 생산성 저하, 효율 저하, 에너지 낭비, 생산 품질 저하 및 기기의 수명이 단축되는 등의 피해가 갈수록 증가하는 추세이나 범용의 실시간 전력품질 모니터링 장비에 대한 연구가 부족한 상황이다[1].

최근 태양전지와 풍력발전 등의 분산전원의 사용이 확대되고 있으며, 전력품질에 민감한 부하의 증가에 따라 수용가에서의 전력품질의 중요성이 커지고 있다. 기존의 전력품질의 측정방법은 고가의 장비를 이용하여 정밀한 분석이 가능한 반면 한정된 장소에서 제한된 시간동안만 측정할 수 있기 때문에, 많은 인력과 고비용이 수반되는 등의 문제로 인하여 일반적으로 널리 보급되지 못하였다.

전원의 상태를 원격지에서 감시하는 방법으로 최근에는 LAN을 이용한 통신방식을 주로 채택하고 있으나 이는 신설되는 건물, 공장, 가정 등에는 비교적 시설이 용이 하지만, 측정 개소와 위치를 바꿀 때마다 통신선을 이설 해야만 하며, 이미 시설된 건축물에는 LAN 배선이 어렵고 비용과 미관상의 제약의 단점이 있으나 전력선통신은 전기를 사용하는 장소에는 어디든지 별도의 통신선로를 추가하지 않고 데이터를 전달할 수 있으며, 전원의 상태를 측정하는 개수와 위치를 변경하기가 용이한 장점을 가지고 있다[2].

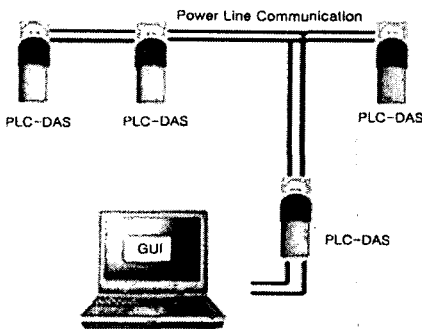


그림 1. 전력선 통신 전력품질 모니터링 시스템
Fig. 1. PLC PQ monitoring system

본 논문에서는 여러 곳에서 측정된 전력품질 정보

를 별도의 통신선이 없이 원격으로 상시 감시할 수 있는 전력선통신을 이용한 전력품질 모니터링 시스템을 제안하고, 이러한 시스템이 수용가 배전계통의 말단의 전원관리에 유용하게 적용될 수 있음을 밝히었다.

2. 본 론

2.1 전력품질의 종류

전력품질의 저하로 인하여 발생하는 피해 중에서 산업현장의 생산 저하나 민감한 기기들에 대한 손상을 가장 많이 일으키는 문제로 순시전압정전(Interruption), 순시전압강하(Sag), 순시전압상승(Swell)의 문제가 있다. 이와 같은 문제들을 IEEE Std. 1159에서는 표 1과 같이 정의하고 있다[3]. 이 세 가지 전력품질 문제들은 반주기 이상의 지속시간을 가지고 실효값이 0.1[pu]이하, 0.1[pu]이상~0.9[pu]이하, 1.1[pu]이상의 크기를 갖는다. 이러한 문제들을 감시하기 위해서는 많은 전압 샘플링을 통한 실효값 계산과 이를 기준값과 비교하여 전력품질 문제의 유형을 알아내는 알고리즘을 내장하는 시스템을 구성하여야 한다[4].

표 1. 전력품질 종류와 특징

Table 1. Categories and characteristics of PQ

Categories	Typical duration	Voltage mag.(pu)
Interruption	>0.5cycle, <1min	0 - 0.1
Sag	>0.5cycle, <1min	0.1 - 0.9
Swell	>0.5cycle, <1min	1.1 - 1.8
Undervoltage	>1min	0.8 - 0.9
Overvoltage	>1min	1.1 - 1.2
Harmonics	0-100th	0 - 20[%]

2.2 Sag, Swell, Interruption의 검출

한 주기 동안 12samplings을 하는 본 시스템에서

는 실효값과 지속시간에 의해서 순시전압정전, 순시 전압강하, 순시전압상승의 분류와 분석이 이루어지므로 실효값 계산을 필수적으로 해야만 한다. 그러나 일반적으로 실효값을 계산하기 위해서는 식 (1) 과 같이 한주기의 시간이 걸리게 되는데 실시간으로 진단을 하기 위해서는 보다 빠른 방법이 필요하다.

$$V_{rms}(T) = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{128} V_n^2}{128}} \quad (1)$$

$$V_{rms}\left(\frac{T}{2}\right) = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{64} V_n^2}{64}} \quad (2)$$

실효값은 전압값을 제공하므로 반주기(64 samplings)의 값도 정량화되는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징을 바탕으로 식 (2)와 같이 반주기 값을 이용하여 기존의 실효치를 이용한 방법보다 두 배 빠른 시스템을 구성할 수 있었다. 이러한 반주기 값을 이용하여 순시 전압 강하, 순시 전압 상승, 순시 정전을 검출하는 알고리즘을 그림 2에 나타내었다. 그림과 같이 실효치를 기준값과 비교하여 전력품질 문제들을 분류하고 이를 매주기 반복 계산한 값을 횟수를 세어 지속시간을 측정하였다. 이러한 방법은 간단하며 구현하기도 쉬운 장점을 가지고 있다.

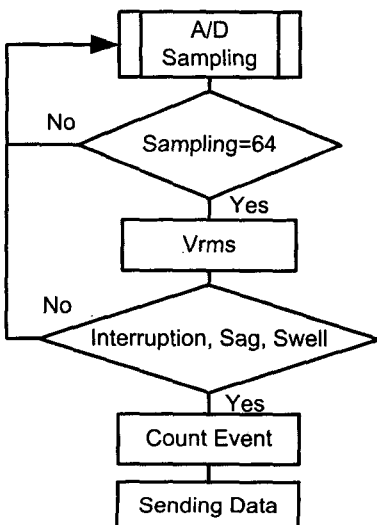


그림 2. 검출 알고리즘
Fig. 2. Detecting algorithm

2.3 고조파 검출

고조파 검출은 주파수 영역을 분석하는 푸리에 변환을 이용하면 가능하다. 그 중에서 이산 푸리에 변환(DFT)은 식 (3)과 같이 구현될 수 있으나 이산 푸리에 변환은 연산량이 많아서 시스템의 속도를 현저하게 줄일 수 있으므로 연산량을 줄여 속도가 개선된 식 (4)와 같은 고속 푸리에 변환(FFT)를 이용하여 고조파를 검출하였다. 이러한 고속 푸리에 변환을 바탕으로 고조파는 50차까지 계산이 가능하도록 프로그램 하였으며 식 (5)의 총 고조파 왜형률(THD)도 분석하였다.

$$DFT : X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{kn} \quad (3)$$

$$FFT : X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \quad (4)$$

$$THD : \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (5)$$

2.4 전력품질 측정 하드웨어 및 프로그램

표 2. 전력품질 측정 보드 사양
Table 2. Details of PQ data acquisition system

Item	Spec.
DSP	TMS320C32(40[MHz])
Main OP-code Store Memory	4M Flash ROM (512[KB]*8[bit])
Operating Running Memory	High Speed SRAM(256[KB]*16)*2
Serial Port	RS232C 1[CH]/ 1200-115200 BPS
A/D Converter	12[Bit] / 1[CH] / 1.6[us] Sampling Time

측정 시스템은 표 2에서 보는 바와 같이 클럭속도가 40[MHz], 32[bit] floating-point 연산을 하며 2개의 32[bit] Timer를 내장하고 있는 TI사의 TMS320C32를 메인 DSP로 사용하였다. DSP 내부 클럭을 2분주하여 클럭당 1개의 명령어 처리하여

전력선통신을 이용한 전력품질 모니터링 시스템

20MIPS/60MFLO PS에서 50[ns]의 처리 능력을 갖도록 하였으며, 내부에는 0Wait로 동작 가능한 256[K]×32 비트 용량의 내부 RAM(총 512Word)이 있으며 외부 FLASH 혹은 DSP내부 시리얼포트를 이용한 시스템 초기 실행모드(Serial Boot Interrupt)를 이용하여 내부 RAM에서 빠르게 동작시킬 수 있다.

전력품질 측정 보드의 외형은 그림 3와 같으며 Operand용 Flash ROM은 512[K]*8의 데이터를 저장한다. 4[MB]의 Main Operating RAM 용량을 가지고 있는 AM29F040을 사용하였으며 실행프로그램을 위한 Operating RAM은 512[K]*8의 4[MB]의 용량을 갖는 K6R4008을 사용하였으며 115200[bps]의 속도를 지원하는 시리얼포트가 1[ch]을 내장하고 있어 전력선 통신에 사용하였다. 전압을 읽어오는 12[bit], 1.6[us] 샘플링 속도인 A/D를 가지고 있어 전압의 한 주기에 128번 전압값을 읽어 저장하였다. 전체 보드의 전력소비량은 1[W]로 매우 작은 전력으로 구동한다.

전력품질 측정 보드에서 실효치, FFT의 계산을 하도록 프로그램 하였으며 모든 계산이 끝난 뒤 알고리즘에 따라 Sag, Swell, Interruption을 판단하는 내부 프로그램을 실행하고 이와 같은 결과와 전압측정 파형을 전력선을 통하여 전송한다.

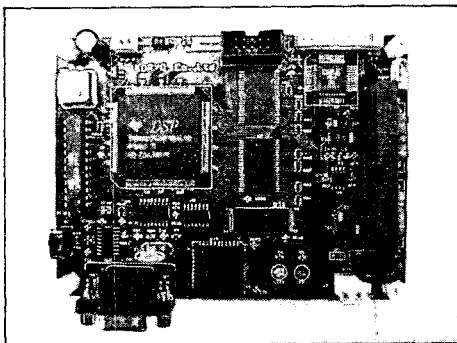


그림 3. 전력품질 측정 보드
Fig. 3. PQ data acquisition system

2.5 전력선 모뎀의 프로그램 및 하드웨어

전력선 통신을 위한 모뎀은 DCSK 변조에 Spread spectrum 방식을 사용하였으며 캐리어 주파수는

100[Khz]에서 400[Khz]영역을 가지며 Multiful Access 방식은 CSMA/CA 방식을 사용하였다.

19,200[bps]로 통신 속도로 데이터를 전송하며 이때의 통신 방법은 Z-Bus 프로토콜을 사용하였으며 CRC16 에러 체크를 하여 데이터의 신뢰도를 향상시켰다. 전력선 모뎀의 내부 블록도를 그림 4와 같다.

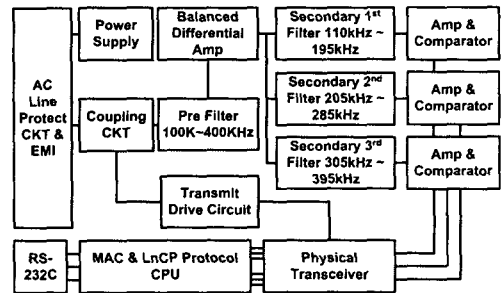


그림 4. 전력선 모뎀의 내부 블록도
Fig. 4. Internal diagram of PLC modem

시리얼 통신을 통해 받은 데이터를 증폭하고 필터링을 한 뒤 커플링을 통하여 전력선에 데이터를 전송한다.

2.6 Z-Bus 프로토콜 패킷 신호의 설계

전력선 품질 데이터는 Z-Bus 프로토콜을 기본으로 한 패킷의 형태로 전송하였다. 그러나 본 시스템에서는 Z-Bus 프로토콜을 그대로 이용하지 않고 전력선품질 데이터를 효과적으로 보낼 수 있도록 패킷 형태를 변형하여 적용하였다. 변형된 패킷의 형태는 표 3과 같다.

표 3. 패킷 구조
Table 3. Packet structure

STX	DA	SA	LEN	OPT	MSG	CRC	ETX
1	2	2	1	3	n	2	1
[byte]	[byte]	[byte]	[byte]	[byte]	[byte]	[byte]	[byte]

맨 처음 STX는 1[byte]로 패킷의 시작을 나타내며 DA는 Destination Address로서 2[byte] 중 처음 1[byte]는 여러 개의 전력선 측정 장비 중 어느 장비에서 보내어진 데이터인지 구분할 수 있도록 해주고, 다음 1[byte]는 전송되는 데이터가 평상시 데이터인

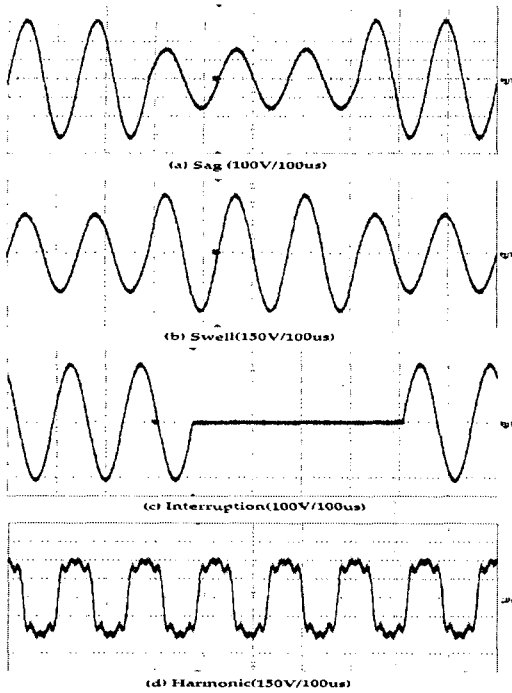


그림 7. 전원공급기 파형
Fig. 7. Voltage waveform of power supply

서 50[%]의 순시전압강하 (Sag)가 3 주기 동안 발생한 경우이다. 그림 7(b)는 정상상태에서 50[%]의 순시전압상승(Swell)이 3 주기 동안 발생한 경우이다. 그림 7(c)는 정상상태에서 순간정전(Interruption)이 3 주기 동안 발생한 경우이다. 그림 7(d)는 고조파 (3th: 20[%], 5th: 15[%], 7th: 10[%], 9th: 5[%])가 함유된 파형이다. 이들 4가지 유형의 전압을 전력시물레이터 출력단에서 오실로스코프로 각각 측정하였다. 이러한 전압은 그림 6과 같은 과정을 거치게 된다. PQ-DAS에서 전압파형을 측정하여 전력선 모델을 거쳐서 전력선을 통하여 전송하고, 다시 수신측 전력선 모델을 거쳐서 원격지의 PC에서 수신한 결과를 그림 8에서 나타내었으며, 이는 그림 7의 원래의 파형과 일치함을 밝힐 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 전력품질 모니터링 시스템에서 LAN등의 별도의 통신선로를 사용하는 단점을

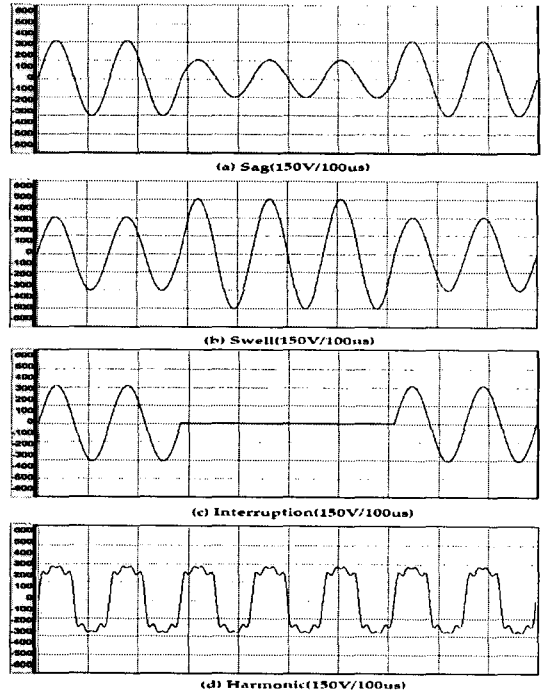


그림 8. PC에서 측정 전압파형
Fig. 8. Voltage waveform in PC

보완할 수 있는, 전력선통신을 이용한 전력품질 모니터링 시스템을 구현하였다. 또한 IEEE Std. 1159에서 분류하는 전력품질의 종류에 따른 측정방법에 대해 분석하고, 실시간으로 전력 품질을 측정하는 시스템을 TI사의 TMS320C32를 메인 DSP로 사용하여 구현하였으며 Z-Bus프로토콜의 전력선 모델을 적용하여 원격지에서 수신하여 모니터링하는 시스템을 구현하였다. 또한 전력시물레이터를 이용하여 발생시킨 Sag, Swell, Interruption 및 고조파가 함유된 전원전압을 구현한 전력품질 측정보드로 데이터를 취득하고 전력선을 통하여 원격지의 컴퓨터에서 수신하여 그래프로 파형을 나타냄으로써, 전력선통신을 이용한 원격지에서의 전력품질 모니터링이 가능함을 밝혔다.

향후에는 PLC의 채널환경 분석과 잡음에 강인한 모델을 설계함으로써 보다 실용적이며 고성능의 전력선 통신을 이용한 전력품질 모니터링 시스템에 대한 연구를 지속하고자 한다.

References

- [1] A. Lakshmikanth, M. M. Morcos, and W. N. White, "A Real-Time System for Power Quality Testing," IEEE Trans. on, vol. 47, Issue 6, pp. 1464-1468, Dec. 1998.
- [2] H. Hrasnica, A. Haidine, and R. Lehnert, *BROADBAND POWERLINE COMMUNICATION*, PP. 7~38, John Wiley & Sons, 2004.
- [3] IEEE Std. 1159, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 1995.
- [4] G. Bucci, and C. Landi, "Digital Measurement Station for Power Quality Analysis in Distributed Environments," IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Budapest, Hungary, May 21-23. 2001.
- [5] I. H. Cavdar, "A Solution to Remote Detection of Illegal Electricity Usage via Power Line Communications," Power Delivery, IEEE Trans. on , vol. 19 , Issue: 4, pp. 1663-1667, Oct. 2004.

◇ 저자소개 ◇

홍덕표 (洪德杓)

1967년 4월 20일생. 1989년 충주대 전기공학과 졸업.
1997년 충북대 대학원 전기전산공학과 졸업(석사). 2002년~
현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 전기기술사.

최재호 (崔載昊)

1955년 9월 27일생. 1979년 서울대 전기공학과 졸업.
1981년 동 대학원 졸업(석사). 1989년 동 대학원 졸업
(박사). 1981~1983년 중경공업전문대학 전자과 전임강
사. 1983년~현재 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교수.