

수용가 시스템의 3상 전력 원격관리 장치 설계에 대한 연구

고윤석 · 이서한
남서울대학교

A Study on the Design of Three-Phase Power Remote Management Device for Electric Customer System

Yun-Seok Ko · Seo-Han Lee
Namseoul University

Abstract - 최근, 공장 수용가들은 원격에서 인터넷 기반으로 전력정보를 감시, 상태를 진단, 제어함으로써 전기 사용의 안전성과 신뢰성 그리고 편이성을 제고할 수 있는 디지털 분전반을 필요로 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 3상 수용가 시스템에서 요구되는 3상 디지털 분전반을 위한 전력관리 모듈이 설계된다. 제안되는 전력관리 모듈은 3상 4선식 전력공급방식으로 설계되며 3상 전력관리 디바이스가 전력신호 전처리기로 채택된다. 그리고 ARM 코어 기반의 32비트 프로세서가 제어모듈의 핵심 프로세서로 채택되며, 이더넷 컨버터를 통해 TCP/IP를 기반으로 하는 원격관리를 실현한다.

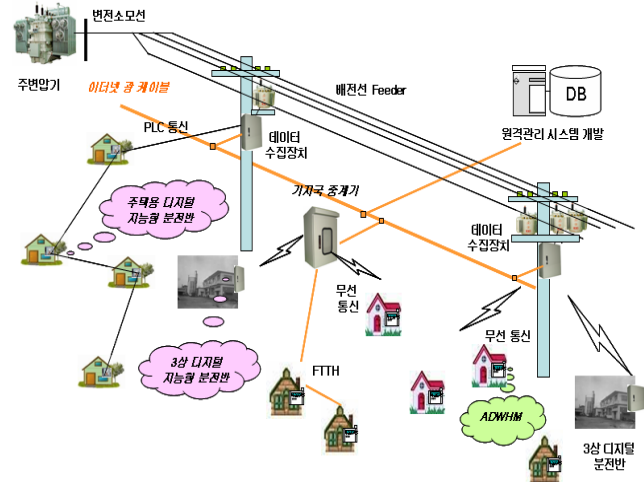
1. 서 론

최근 일반 수용가 시스템은 디지털 정보통신 기술의 발전에 힘입어 급속하게 유비쿼터스 환경으로 진화되고 있다[1,2] 전기 수용가들은 이러한 유비쿼터스 시대에 맞게 디지털 센서 및 IT 기술 그리고 인공지능기술을 활용하여 원격에서 인터넷 기반으로 전력정보를 감시, 상태를 진단, 제어함으로써 전기 사용의 안전성과 신뢰성 그리고 편이성을 제고할 수 있는 디지털 분전반을 필요로 하고 있다. 특히 공장 수용가 등 3상 전력 시스템의 경우 과부하나 누전으로 화재가 발생하는 경우, 엄청난 재산상의 손실은 물론 심각한 인명피해를 포함하는 사고 과급효과를 경험할 수 있기 때문에 과부하나 누전 등 전력 정보를 감시, 기록함으로써 안전성을 제고할 수 있는 디지털 분전반을 요구하고 있다. 이러한 수용가들의 문제를 해소하기 위해 국내외적으로 원격관리를 위한 디지털 분전반에 대한 연구가 새롭게 이루어지고 있는데, 참고문헌 [3]에서는 8비트 프로세서를 기반으로 유비쿼터스 환경 하에서 원격검침 및 전압관리 그리고 부하관리를 위한 디지털 적산전력계를 제안하였는데, 과부하 및 누전관리 기능을 제공하지 않는다. 참고문헌 [6]에서는 31비트 프로세서를 기반으로 전기수용가의 원격검침, 전압관리, 부하관리 기능 외에 요금관리, 누전관리, 부하제어 기능 등을 포함하는 디지털 분전반을 새롭게 제안한다. 그러나 이들 연구들에서는 단상 2선식 디지털 분전반에 대한 설계 방법론을 다룸으로써 공장이나 업무용 빌딩에서 시급히 요구되고 있는 3상 분전반에 적용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 3상 수용가 전기 시스템에서 요구되는 3상 디지털 분전반을 위한 전력관리 모듈이 설계된다. 제안되는 전력관리 모듈은 3상 4선식 전력공급방식으로 설계되며 3상 전력관리 디바이스가 전력신호 전처리기로 채택된다. 그리고 ARM 코어 기반의 32비트 프로세서가 제어모듈의 핵심 프로세서로 채택되며, 이더넷 컨버터를 통해 TCP/IP를 기반으로 하는 원격관리를 실현한다.

2. 유비쿼터스 기반 데이터 수집 모형

최근 수용가시스템은 급속한 정보통신 기술의 발전에 힘입어 빠른 속도로 유비쿼터스 환경으로 변모하고 있다. 수용가 시스템 주변에는 수용가 설비들이 연재, 어디서나 인터넷에 접속할 수 있도록 광 통신 서도들이 포설되고 있으며, ZigBee 및 전력선통신(PLC : Power Line Communication) 기술의 발전으로 수용가 시스템의 전기 및 정보기기들로부터 다양한 정보의 수집이 가능하다. 그림 1은 수용가 시스템에 대한 유비쿼터스 기반 데이터 수집 모형을 보인다. 일반 주택에는 단상 디지털 분전반, 산업체 공장 등에는 3상 디지털 분전반이 설치되어 수용가 시스템의 전력량, 전력품질, 과부하 및 누전 이벤트 등 전기사용에 대한 다양한 정보를 관리, 기록하고 데이터 수집 장치는 그물화된 일반 주택 또는 공장의 디지털 분전반들로부터 PLC나 ZigBee 통신을

통해 데이터를 수집하고 서버는 광통신을 통해 데이터 수집장치들로부터 데이터를 수집하는 구조로 설계된다.



<그림 1> 유비쿼터스 기반 데이터 수집 모형

3. 3상 전력관리 모듈 설계

본 논문은 유비쿼터스 기반 수용가 시스템 하에서 공장 수용가들에 대한 전기사용의 안정성과 신뢰성 그리고 편이성을 제고하기 위한 3상 디지털 분전반을 위한 전력관리 모듈을 설계하는 것을 주요 목적으로 한다. 먼저 3상 전압, 전류로부터 전력관리 디바이스에 공급되는 전압, 전류 신호를 얻기 위한 신호회로가 설계되고, 다음 3상 전력관리 모듈이 설계된다.

3.1 3상 신호회로 설계

3상 전력관리 모듈은 3상 4선식 전력관리 디바이스를 기반으로 전력정보를 수집한다. 이때 전력관리 디바이스는 저항 분압회로 및 CT(Current Transformer)를 통해 입력되는 소 신호 전압 및 전류 신호를 기반으로 a, b, c 상 등 3상 실효 전압과 전류, 유효전력, 무효전력, 유효전력량 등 다양한 전력정보를 관리, 기록한다[6,7].

3.1.1 실효 전압, 전류

3상 전력관리 모듈의 기본신호는 각 상에 인가되는 정현파 신호전압 $v(t)$ 와 이로 인해 부하로 흐르는 전류 $i(t)$ 인데, 상 표시를 생략하고 이를 일반적으로 표시하면 각각 식 (1)과 (2)로 표시된다

$$v(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$i(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t) \quad (2)$$

이 연속 신호들은 독립적 또는 마이크로프로세서에 주어지는 AD 컨버터에 의해서 일정한 주기를 가지는 이산 신호 데이터로 변화되는데, 이를 기반으로 전압, 전류의 실효치를 구하면 식 (3), (4)로 표시될 수 있다.

$$V = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n v^2[n]} \quad (3)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n i^2[n]} \quad (4)$$

그러나 식 (3)과 (4)로 표시되는 실효치 전압, 전류를 얻기 위해서는 한 주기 동안 $v^2(n)$ 와 $i^2(n)$ 를 누적해야하는 불편함이 있다. 이 문제는 식 (5)와 (6)과 같이 $v^2(t)$ 와 $i^2(t)$ 를 구한다음, LPF(Loss Pass Filter)를 이용하여 2ω 성분을 제거하면 직류성분 V^2 과 I^2 이 얻어진다. 따라서, 이 값에 제곱근을 구하면 누적과정 없이 보다 쉽게 전압 실효값 V , 전류 실효값 I 를 구할 수 있다.

$$v^2(t) = v(t) \times v(t) = V^2 - V^2 \cos(2\omega t) \quad (5)$$

$$i^2(t) = i(t) \times i(t) = I^2 - I^2 \cos(2\omega t) \quad (6)$$

3.1.2 유효전력

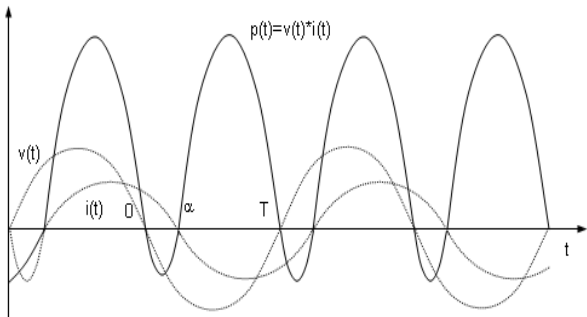
일반적으로 순시전력 $p(t)$ 는 정현신호인 전압과 전류의 곱, $v(t) \times i(t)$ 로 표시된다. 이때, 유효전력 P 는 평균전력으로써 주기가 T , 주기 수가 n 인 경우 식 (7)과 같이 표시된다.

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} p(t) dt = VI \quad (7)$$

즉, 유효전력 P 는 식 (7)에 보인바와 같이, VI 로 표시되는데, 앞에서 설명된 바와 같이, 식 (8)을 취한 후 저역필터(LPF)를 통해 2ω 성분을 제거하면 1사이클 동안 순시전력의 누적과정이 필요 없이 직접 얻어질 수 있다.

$$p(t) = v(t) \times i(t) = VI - VI \cos(2\omega t) \quad (8)$$

그림 2는 순시전류 $i(t)$, 전압 $v(t)$ 그리고 순시전력 $p(t)$ 를 보인다. T 는 1사이클의 주기를 표시한다.



<그림 2> 교류 순시전압, 전류 그리고 전력파형

3.1.3 에너지

에너지 즉 전력량은 유효전력의 누적 값으로써 식 (9)로 표시될 수 있는데, T 는 샘플주기, n 은 샘플 수를 표시한다. 식 (9)는 보다 간단히 $E=VI \times t$ 로 표시될 수 있다.

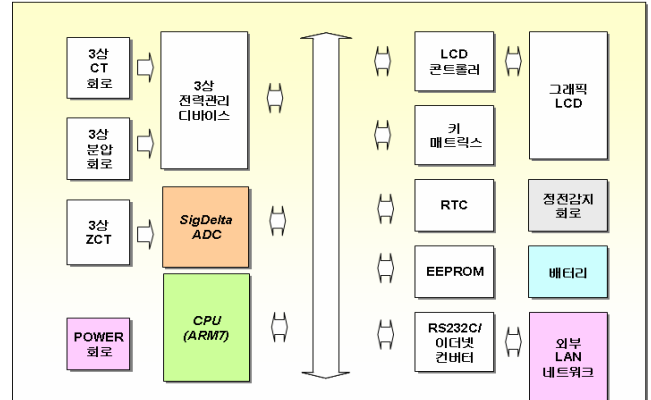
$$E = \int p(t) dt = \lim_{T \rightarrow 0} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} p(nT) \times T \right\} \quad (9)$$

3상 전력관리 모듈은 공장 수용가 등 3상 수용가의 요구조건 분석 결과에 따라 전기 공급의 안전성, 신뢰성 편이성, 그리고 효율적인 요금관리가 가능하도록 설계된다.

3.2 3상 전력관리 모듈 설계

3상 전력관리 모듈은 3상 4선식으로 설계된다. 분압회로와 변류(CT)회로는 전력회사의 선로부터 공급되는 3상 전압 및 전류를 3상 전력관리 디바이스에 적합한 수백 밀리 V급 전압 신호로 변환하여 디바이스에 공급한다. 3상 전력관리 디바이스는 이들 신호로부터 3상 전압 실효값, 전류 실효값, 유효전력, 무효전

력, 유효전력량 등 다양한 정보를 계산, 대응하는 내부 레지스터에 저장한다. ARM코아 기반 마이크로프로세서는 RTC에 의해서 인터럽트가 걸릴 때마다 주기적으로 SPI 통신을 시도, 전력관리 디바이스로부터 3상 전력정보를 수집한다. 그리고 필요한 정보를 정해진 명령에 따라 I²C통신을 통해 EEPROM에 저장한다. 그리고 주기적으로 관련 정보를 RS232C포트를 통해 LCD에 표시한다. 또한 서버로부터 데이터 수집 명령이 제공되면 이더넷 컨버터를 통해 수집된 데이터를 서버에 전송한다. 키 매트릭스는 3상 전력관리 모듈의 기본기능을 설정할 뿐만 아니라 하드웨어 및 소프트웨어 디버깅을 위해 다양한 명령을 LCD에 표시하도록 한다. 그림 3은 이더넷 컨버터 기반의 3상 전력관리 모듈의 구성을 보인다.



<그림 3> 이더넷 컨버터 기반 3상 전력관리 모듈 구성

5. 결 론

본 논문에서는 공장 수용가 시스템을 위한 3상 디지털 분전반을 위한 전력관리 모듈이 설계되었다. 제안되는 전력관리 모듈은 3상 4선식 전력공급방식으로 설계되었으며 3상 전력관리 디바이스 전력신호 전처리기로 채택하였다. 전력관리 디바이스를 위한 3상 전압신호를 얻기 위해 1000:1 분압회로를 기반으로 하는 3채널 전압입력회로들이 설계되었으며 3상 전류신호를 얻기 위해 1800:1의 CT를 기반으로 하는 3채널 전류입력회로가 설계되었다. 그리고 ARM 코아 기반의 32비트 프로세서가 제어모듈의 핵심 프로세서로 채택하였으며, 이더넷 컨버터를 통해 TCP/IP를 기반으로 하는 원격관리를 실현하였다.

[참 고 문 헌]

- [01]S.Mak and D.Radford," Design Considerations for Implementation of Large Scale Automatic Meter Reading",IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10 No.1, pp 97-103, Jan. 1995.
- [02]Cameron L. Smallwood,"Power Quality Issues Reading to Power Line Carrier Automated Meter Reading ", Proceedings of the 2001 Rural Electric Power Conference, B1-1-8, April 2001.
- [03]고윤석, 윤상문의 2인,"차세대 디지털 적산전력계 개발", 전기학회논문지, Vol. 21, No. 2, pp. 541-551, 2004년 8월.
- [04]고윤석,하복남,"차세대 디지털 적산전력계에 기반한 배전 원격관리 시스템 설계 및 프로그램 개발, 전기학회논문지, Vol. 54, No. 4, pp. 185-192, 2005년 4월.
- [05]고윤석,"다중 부하 중심점에 기반한 온라인 퍼지 ULTC 제어기 설계에 대한 연구",전기학회논문지, Vol. 55, No. 12, pp. 514-521, 2006년 12월.
- [06]고윤석, 김호용, 윤석열, "유비쿼터스 기반의 주택 자동화용 디지털 분전반 개발", 전기학회논문지, Vol. 57, No. 5, 2008년 5월.
- [07] Analog Devices, Energy Measurement IC Data Sheet.