산업용 분전반 적용을 위한 3상 전력 관리 장치 시작품 제작에 대한 연구

고윤석* · 신현용**

The Prototype-Making of a Three-Phase Power Management Device for the Industrial Switchgear

Yun-seok Ko* · Hyun-yong Shin**

요 약

최근, 전력공급의 안정성과 신뢰성 그리고 고품질화를 위해 인터넷을 기반으로 하는 산업용 디지털 분전반이 새롭게 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 3상 4선식 전력공급방식을 기반으로 하는 산업용 3상 분전반이 설계된다. 그리고 3상 산업용 분전반을 위한 전력관리 모듈이 시험 제작되며, 끝으로, 3상 전구 부하 시험을 통해 시작품의 3상 전압, 전류 측정 기능이 검증된다.

ABSTRACT

Recently, the industrial electric customers require a digital switchgear which can improve the safety and reliability of the power supply, and the quality of electric power by on-line monitoring the electric power information based on the internet under the ubiquitous environments. Accordingly, in this paper, a industrial switch-gear prototype is designed based on the power supply method of three phase, four-line type, and then a three-phase electric management module of the digital switchgear is made for industrial electric customer system. Finally, the three-phase voltage and current measuring function of the prototype is verified from real power load test.

키워드

Three-Phase Electric Power Monitoring Module, Digital Switchgear, Industrial Switchgear

Ⅰ. 서 론

최근, 산업 전기 수용가들은 전력공급의 안정성과 신뢰성 그리고 고품질화를 위해 인터넷을 기반으로 하는 원격관리의 필요성을 인식하고 이를 개발, 전력관리에 적용하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

그리고 이러한 기술변화추세에 대응하여 기반기술을 개발하기 위한 다양한 연구들이 수행되고 있는데, 참고문헌 [3]에서는 8비트 프로세서를 기반으로 원격검침, 전압관리 그리고 부하관리를 위한 디지털 적산전력계를 제안하였고 참고문헌 [6]에서는 고성능 프로세서를 적용하여 전기수용가의 원격검침, 전압관리, 부하관리 기능 외에 요금관리, 누전관리, 부하제어 기능 등다양한 기능을 포함하는 디지털 분전반을 새롭게 제안되었다. 그러나 참고문헌 [3,8]에서는 단상식 설계 방법론을 제시, 일반 주택에 적용하는 것은 가능

* 교신저자, 남서울대학교 전자공학과(ysko@nsu.ac.kr)
** 남서울대학교 전자공학과(eeshin@nsu.ac.kr)
접수일자 : 2010. 08. 01 심사(수정)일자 : 2010. 09. 17 게재확정일자 : 2010. 10. 15

* 교신저자 : 남서울대학교(ysko@nsu.ac.krl)

하나, 전등 및 동력 부하가 혼재하는 산업용으로 요구되고 있는 분전반에는 적용될 수 없다.

따라서 본 논문에서는 전등 및 동력부하가 존재하는 산업용 디지털 분전반이 설계된다. 산업용 분전반은 3상 4선식 전력공급방식으로 설계되며, [8]에서 제시된 설계방법을 기반으로 3상 전력관리 디바이스 및 32비트 프로세서를 적용, 3상 원격 전력관리 모듈을 시험 제작한다. 3상 전력관리 모듈은 각 상에 CT 및 저항 분압회로를 두어 3상 전력선으로부터 각 상의 전압, 전류 신호를 얻는다. 이더넷 컨버터를 주 제어 프로세서와 연동하여 TCP/IP를 기반으로 원격전력관리를 실현한다.

II. 원격 3상 신호처리 체계

2.1 원격 데이터 수집 체계

그림 1은 최근 급속하게 진화되고 있는 유비쿼터스 기반의 수용가 전력공급 시스템의 구성을 보인다 [8]. 원격 전력관리 시스템은 유무선 인터넷, Zigbee 또는 전력선 통신을 통해 산업용 분전반들로부터 전력관리 정보를 수집하도록 구성된다. 기존의 다른 통신방식에 비해 전력선 통신은 수용가의 기존 전력선을 그대로 이용하는 장점을 가지나 아직까지는 속도가 느린 것이 단점이다.

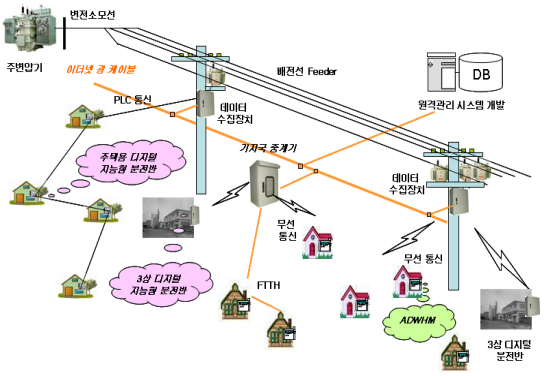

그림 1. 유비쿼터스 기반 데이터 수집 모형
Fig. 1 Ubiquitous-based data collection modelling

2.2 3상 전력 신호처리 원리

본 논문에서 제안된은 3상 전력관리 모듈은 3상 4선식 전력관리장치를 기반으로 전력정보를 수집하는데, 3상 전압, 전류 및 전력 간의 위상관계는 그림 2에 보인다.

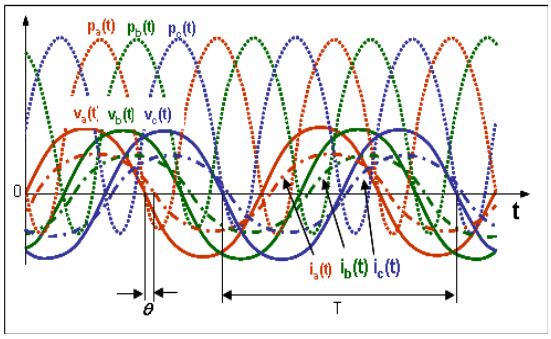

그림 2. 3상 전압, 전류 그리고 전력 위상관계
Fig. 2 Phase relation of three-phase voltage, current and power

이때 3상 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.

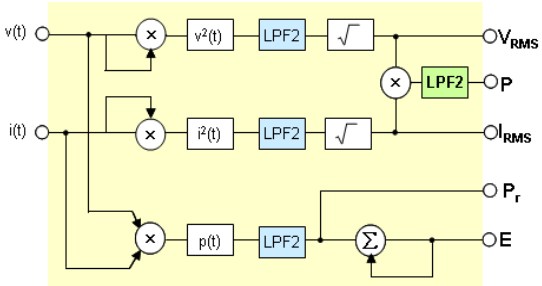

그림 3. 3상 전력신호처리 메커니즘
Fig. 3 The mechanism for the three-phase power signal processing

이때 3상 전력관리 모듈의 신호처리 방법은 참고문헌[6,7]에서 보인 단상전력에 대한 신호처리 방법론과 동일하게 저역필터(LPF:Low Pass Filter)를 기반으로 하는 단순화된 방법론이 활용된다. 그림 3은 3상 중 임의의 상에 대한 전력 신호처리 메커니즘을 보인다.

III. 3상 전력관리 모듈 설계

3상 전력관리 모듈은 일반적인 산업용 부하에 전력을 공급하기 위해 요구되는 전력공급방식인 3상 4선식으로 설계된다. 각 상에 설치되는 분압회로와 변류(CT)회로는 전력회사의 실 선로로부터 공급되는 3상 전압 및 전류를 3상 전력관리 디바이스에 적합한 수백 밀리 V급 전압 신호로 변환하여 디바이스에 공급한다. 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.

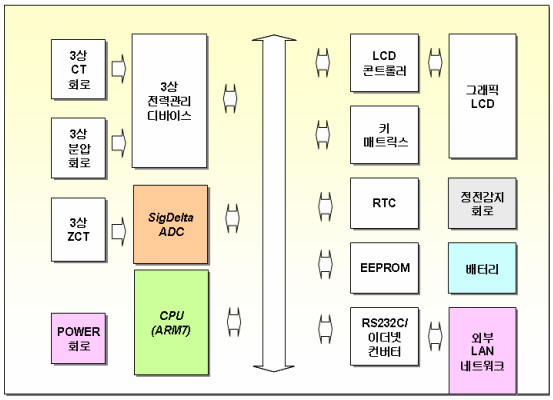

그림 4. 이더넷 컨버터 기반 3상 전력관리 모듈 구성
Fig. 4 The ethernet convertor-based three-phase module

3상 전력관리 디바이스는 이들 신호로부터 3상 전압 실효값, 전류 실효값, 유효전력, 무효전력, 유효전력량 등 다양한 정보를 계산, 대응하는 내부 레지스터에 저장한다. 특히 필요에 따라 전력신호파형들로 기록된다. ARM코아 기반 마이크로프로세스는 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 메트릭스는 3상 전력관리 모듈의 기본기능을 설정할 뿐만 아니라 하드웨어 및 소프트웨어 디버깅을 위해 다양한 명령을 LCD에 표시하도록 한다.

그림 4는 분압회로와 변류회로를 전력신호 센서로 하는 3상 전력관리 디바이스와 이더넷 컨버터를 기반으로 설계된 3상 전력관리 모듈의 구성을 보인다.

IV. 3상 분전반 설계

본 논문에서 제안되는 3상 4선식 3상 전력관리 모듈을 기반으로 산업용 분전반이 설계된다. 그림 5는 분석된 3상 4선식 전력공급 요구기능을 실현하기 위해 설계된 산업용 분전반의 구성을 보인다.

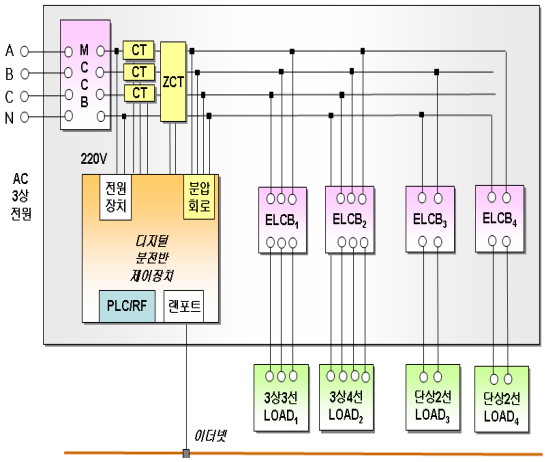

그림 5. 3상 디지털 분전반 구성
Fig. 5 Three-phase digital switchgear configuration

산업용 분전반은 1개의 3상 전력관리 모듈, 1개의 배선차단기(MCCB)와 4개의 누전차단기(ELCB) 등으로 구성된다. 제안된 3상 전력관리 모듈은 변류기(CT)와 저항 분압회로를 이용하여 AC 220V로부터 전압, 전류 신호를 입력받아 전압, 전류 사용 전력량 기록 등 다양한 전력정보를 기록하며, 영상변류기(ZCT)로부터 누전신호를 입력받아 누전정보를 관리하도록 설계된다. 또한 원격지의 전력정보 요청에 따라 전압, 전류 등 전력정보 감시 정보를 원격지에 전송할 수 있도록 구현된다. MCCB는 각 부하 선에 단락사고 등으로 고장전류가 흐르거나 과부하가 걸려 전기기기의 파손이나 화재가 우려되는 경우 담당 부하 선을

차단한다. ELCB는 수용가 누전전류가 감도전류 이상으로 감지될 때 전기화재로부터 수용가를 보호하기 위해 공급전기를 차단한다.

V. 시작품 제작 및 실험

본 연구에서는 제안된 설계 방법론의 유용성을 검증하기 위해서 전등부하와 동력부하를 공용으로 하는 산업용 분전반을 위한 3상 전력관리 모듈을 시험 제작하였다.

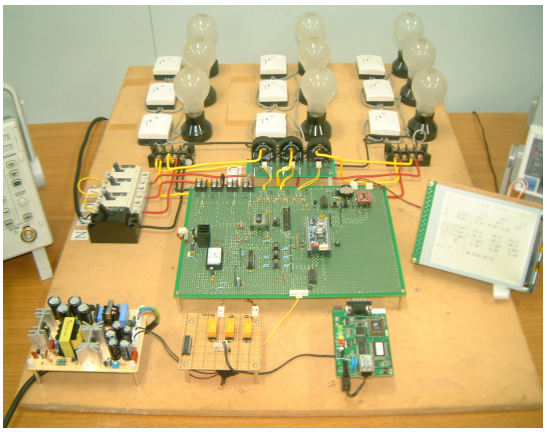

그림 6. 3상 전력관리 모듈 시작품 사진
Fig. 6 The prototype of proposed three-phase power module

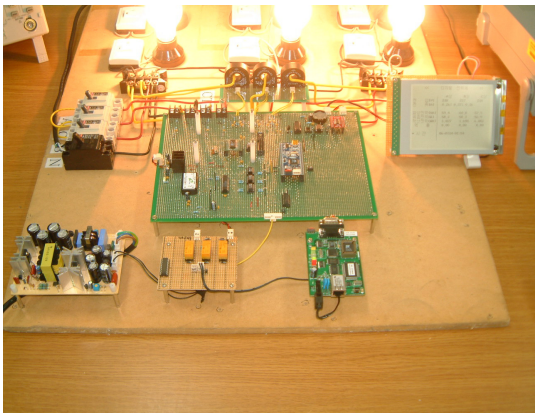

그림 7. 부하시험 사진
Fig. 7 Load test picture

부하는 3상 부하 대신에 3상부하의 특성과 단상부하의 특성을 동시에 보일 수 있도록 전구부하를 이용하였다. 특히 전구부하는 각 상별로 3개씩 설계되어 전류 및 전력의 변화를 고려할 수 있도록 하였다. 그림 6은 실험 제작된 3상 전력관리 모듈과 부하세트의 시작품을 보인다. 실제 220V 전압선로에 3상 전력관리 모듈과 부하세트를 연결한 후 부하세트의 전구를 점등 또는 소등하여 시험을 행할 수 있도록 하였다. 그림 7은 구축된 실험 환경에서 실험을 위해 전구가 점등된 장면을 보인다.

5.1 전압 측정 실험

실험 제작된 3상 전력관리 모듈을 220V 전력선에 연결 한 다음, 부하세트를 연결한 후 상별로 순차적으로, 30분 간격으로 A상, B상 그리고 C상 전압을 측정하였다. 그림 8은 시작품의 LCD로부터 측정된 전압 값을 보인다.

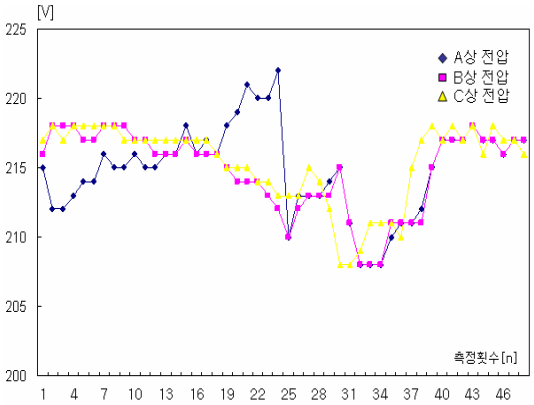

그림 8. 3상 전압 측정 값
Fig. 8 Three-phase voltage values obtained from the LCD

5.2. 전류 측정 시험

실험 제작된 3상 전력관리 모듈의 전류에 대한 측정의 정확도를 검증하기 위해서 각 상별로 전구 1-3개를 선택적으로 가변 점등 시킨 상태에서 파워미터 전류값과 LCD 값을 측정하였다. 여기에서는 3상 전류가 동일한 특성을 보이기 때문에 3상 전류 중 A상 전류값에 대해서 측정의 정확도를 확인하다. 그림 9는 제작된 시작품의 LCD로부터 측정된 A상 전류 값을 보인

다. 그림 9에서 전구 1개 점등 시 부하전류 레벨은 0.2-03[A], 전구 2개의 부하전류 레벨은 0.5-0.6[A], 전구 3개의 경우는 0.8-0.9[A]에 해당한다.

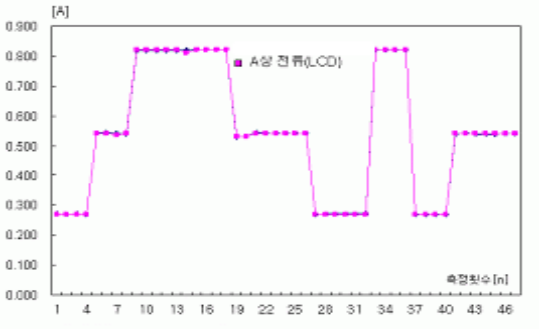

그림 9. A상전류 측정 값
Fig. 9 A-phase current values obtained from LCD

5.3 유효전력 측정 시험

실험 제작된 3상 전력관리 모듈의 유효전력에 대한 측정 기능을 검증하기 위해서 각 상별로 전구 1-3개를 선택적으로 가변 점등 시킨 상태에서 LCD 값을 측정하였다. 전구 1개 점등 시 약 60 W, 2개 점등 시 120W, 3개 점등 시, 180W가 측정됨을 알 수 있다.

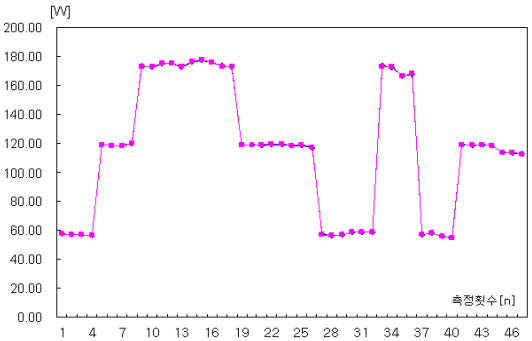

그림 10. A상 전력 측정 값
Fig. 10 The A-phase power values obtained From LCD

VI. 결 론

본 논문에서는 3상 디지털 분전반을 산업용 수용가 시스템에 효과적으로 적용될 수 있도록 3상 4선식 전력공급방식으로 설계하였다. 그리고 그 주 제어장치인 3상 전력관리 모듈의 시작품이 기본 설계데이터를 기반으로 하여 제작되었다. 제안되는 전력관리 모듈에서는 3상 전력관리 디바이스가 전력신호 전처리기로 채택되었으며, ARM 코아 기반의 32비트 프로세서가 제어모듈의 프로세서로 채택되었다. 그리고 220V 실 전력선에 대한 전구부하세트 기반의 실험을 기반으로 3상 전압, 전류 그리고 유효전력 값을 측정함으로서 3상 디지털 전력정보 측정 메커니즘이 검증되었다. 차후, 3상 전압, 전류, 유효전력 그리고 전력량 측정 오차를 측정함으로서 제안된 3상 전력관리 모듈의 유효성을 검증할 계획이다. 또한 제안된 산업용 분전반 설계결과를 기반으로 산업용 분전반의 시작품 제작을 추진할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 남서울대학교 교내 연구비의 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] 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.

[2] 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.

[3] 고윤석, 윤상문외 2인,“차세대 디지털 적산전력계 개발”, 전기학회논문지, Vol. 21, No. 2, pp. 541-551, 2004년 8월.

[4] 고윤석,하복남,“차세대 디지털 적산전력계에 기반한 배전 원격관리 시스템 설계 및 프로그램 개발, 전기학회논문지, Vol. 54, No. 4, pp. 185-192, 2005년 4월.

[5] 고윤석,“다중 부하 중심점에 기반한 온라인 퍼지 ULTC 제어기 설계에 대한 연구”,전기학회논문지, Vol. 55, No. 12, pp. 514-521, 2006년 12월.

[6] 고윤석, 김호용, 윤석열, “유비쿼터스 기반의 주택 자동화용 디지털 분전반 개발”, 전기학회논문지, Vol. 57, No. 5, 2008년 5월.

[7] Analog Devices, Energy Measurement IC Data Sheet.
[8] 고윤석, 이서한, “수용가 시스템의 삼상 전력관리 모듈 설계에 대한 연구”, 2008년 대한전기학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 2297-2298, 2008년 7월

저자 소개

고윤석(Yun-seok Ko)

1984년 2월 광운대 공대 전기공학과 졸업(공학사)
1986년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사)
1996년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
1986년~1996년 한국전기연구소 선임연구원
1996년~1997년 포스코 경영연구소 연구위원
1997년~현재, 남서울대학교 전자공학과 교수
※ 주 관심분야 : 전력시스템 제어, 배전자동화, 로봇제어

신현용(Hyun-yong Shin)

1979년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (공학사)
1981년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
1987년 7월 : 루이지애나주립대학교 대학원 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1994년~현재, 남서울대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 전자재료, 반도체 공정, 센서 및 센서 응용