

전력선 모델을 이용한 최대 수요전력 관리 시스템

김수곤, *임병국, 이원선, 전희종
 송실대학교 전기공학과, *충주대학교 제어계측공학과

Demand Controller Management System using Power Line Modem

Kim Soo-Gon, *Lim Byung-Kuk, Lee Won-Sun, Jeon Hee-Jong
 Dept. of Electrical Eng. Soong-Sil Univ. and *Choong-Ju Nat'l Univ.

Abstract - The maximum demand power management system(the demand controller) is an equipment for demand management. If the pre-estimated load is over the preset power, the demand controller make warnings and break the load circuit according to predefined priority. Then consumption power is maintained below the maximum demand power level. The DTU receives the control commands from demand controller, and then controls loads. In this paper, the power line cables are used for communication between the demand controller and DTUs and monitoring PC. The experiments show that the proposed system is compatible with the conventional system, and feasible for new or remodeling plant.

1. 서 론

에너지 수요는 매년 급격하게 증가하고 있으나 투자자 원 및 입지확보의 어려움, 환경제약의 문제로 인한 전력 공급의 어려움은 날로 증가되고 있다. 이에 따라 수용가의 전력수요 및 부하의 규모와 형태를 변경시킴으로써 설비의 이용률을 제고하여 신규발전설비의 필요량 절감을 도모하기 위하여 수요관리(DSM: Demand Side Management)가 절실히 요구되고 있으며 다양한 최대 수요전력 관리장치가 개발되어 사용되고 있다.

과부하 상태의 경우, DTU (Dispersion Terminal Unit)가 최대수요전력 관리기에서 발생한 제어 명령을 수신하고 그 명령에 의해 부하를 제어한다. 분산제어용으로 사용하는 DTU와 최대수요전력 관리기 사이의 통신에 있어, 본 논문에서는, 전용 신호선이 아닌 전력선을 이용한 방식을 택하였다.

전력선 통신은 상용의 교류 전력선에 고주파의 통신 신호를 결합하여 신호를 전송하는 방식이다. 그리고 전력선 통신을 설계하기 위해서는 전력용 변압기에서의 신호의 결합을 고려하여야 한다.

본 논문에서는 변압기를 거치지 않는 수용가 측에서 최대수요전력 관리기와 DTU사이에 저속 데이터전송에 적합하도록 전력선 통신기법을 도입하여 부하를 제어하는 방식을 택하여 시스템을 구축하였고, 각각의 DTU는 배전선에 분리되어 설치하였고 전력선으로 전용 신호선을 대처할 수 있다.

2. 본 론

2.1 최대 수요전력 제어

최대수요전력이란 정해진 수요시한내의 평균전력을 말하며 아래의 식으로 표현된다. 수요시한을 15분을 사용하는 국내의 경우의 예를 들었다.

$$\begin{aligned} \text{최대수요전력}[KW] &= \frac{\text{시한내의 사용전력량}[KWh]}{\text{수요시한}[h]} \\ &= \frac{\text{시한내의 사용전력량}[KWh]}{0.25[h]} \end{aligned}$$

2.1.1 수요전력 예측

먼저 부하변동에 따른 소비전력의 변화 추이를 예측해야 한다. 최대수요전력은 식(1)로써 구한다. 이 값은 최대수요전력 관리장치가 나타내는 값으로 해당 수요시한내에서 지금까지 사용한 전력량을 수요시한으로 평균한 것이다. 수요시한은 T로 나타내었다.

$$P = \frac{\text{사용전력량}(kWh)}{\text{수요시한}} = \frac{Q}{T} [kW] \quad (1)$$

부하전력은 P_s 로 표현하고 식(2)와 같이 최대수요전력 관리장치가 전력을 적산하는 샘플링의 한 주기동안의 부하전력이다.

$$P_s = \frac{\Delta Q}{\Delta t} [kW] \quad (2)$$

예측 최대수요 전력은 P_u , 예측 소비전력량은 Q_u , 수요시한의 시작점에서 현재의 시간 t 사이의 소비전력량을 Q_t (kWh)라고 하면, 예측 최대수요 전력과 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_t + P_s(T-t) \\ &= Q_t + \frac{\Delta Q}{\Delta t}(T-t) [kWh] \end{aligned} \quad (3)$$

$$P_u = \frac{Q_u}{T} [kW] \quad (4)$$

조정전력은 최대수요 전력을 목적값에 맞추기 위해 증감할 필요가 있는 부하 조정량이며 식(5)와 같다. 여기서 Q_s 는 목표소비전력이다.

$$P_c = \frac{Q_u - Q_s}{(T-t)} [kW] \quad (5)$$

목표소비 전력량은 수요시한 동안에 소비할 수 있는 전력량이며 목표 디맨드 $P_3(kW) \times$ 수요시한(T)로 구한다. 잔류전력량(Q_r)은 목표전력량에서 이미 소비한 전력량(Q_t)을 뺀 남은 전력량으로서 이것을 나머지 시간에 균일하게 소비한다고 할 경우에 남은 전력이다. 이를 식(6)에 나타내었다.

$$P_r = \frac{Q_r}{(T-t)} = \frac{Q_s - Q_t}{(T-t)} [kW] \quad (6)$$

2.1.2 부하제어

수용가는 수요시한 동안의 평균 사용전력이 계약전력을 넘지 않도록 최대수요전력 관리장치를 이용하여 전력을 감시해야 한다. 만약 사용전력이 설정한 목표치 보다 높게될 경우에는 부하에 공급되는 전력을 차단하여 최대 수요전력이 계약전력을 넘지 않도록 한다.[6]

예측 최대수요전력이 목표 값을 초과하여 부하차단의 조건이 검출되면 조정용 부하를 미리 지정한 우선순위에 따라 차례로 자동 차단하고 전력의 여유가 회복되면 전

원이 차단된 부하에 전원을 자동 투입한다.

최대 수요전력량이 목표 값을 초과할 위험이 발생할 경우에 부하제어와 함께 경보조치를 취한다. 경보는 부하전력이 잔류전력보다 더 큰 경우에 발생하는 주의경보와 부하차단 시 발생하는 부하제어 경보가 있다.

2.2 시스템 구성

그림1은 최대 수요전력 관리시스템의 전체 구성도이다. 최대수요전력 관리기는 주 전원계통의 전압, 전류신호를 입력받아 순시전력을 계산하고 한전 측 전력량계로부터 제공되는 동기신호에 맞추어 전력량을 계산한다.

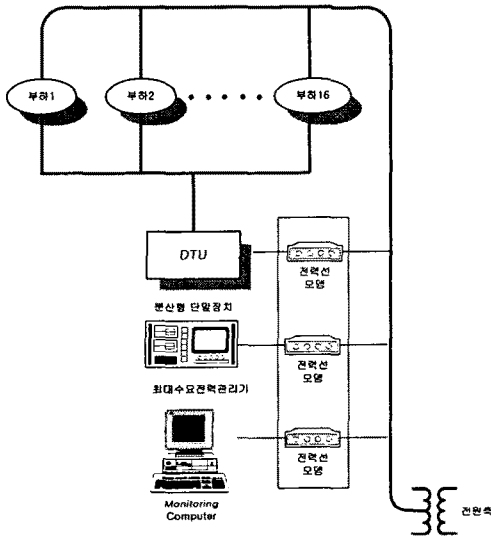


그림 1. 전체 시스템 구성

계산된 전력량을 이용하여 평균전력과 수요시한내의 예측전력을 계산하여 최대수요전력과 비교 후 부하차단 여부를 판단하여 분산형 단말장치에 부하제어신호를 출력한다. 또한 매 시간마다의 부하의 상태와 전력 및 전력량 등의 정보를 모니터링 컴퓨터에 전송한다.

분산형 단말장치는 최대수요전력 관리기로부터 전송된 부하제어신호를 이용하여 해당부하를 제어하고 제어 수행후의 부하상태 정보를 최대수요전력 관리기로 전송한다. DTU 1대는 16개 그룹으로 분할된 부하를 제어할 수 있으며 각 부하 군마다 우선 순위를 부여하여 효율적으로 부하제어가 가능하도록 하였다.

설비용량에 따라 부하를 16개 이상의 그룹으로 세분화 할 필요가 있을 경우에는 DTU를 2대 이상 병렬로 연결하고 각 DTU마다 고유번지를 할당함으로써 독립적인 제어가 가능하도록 하였다.

그러나 최대수요전력 관리장치 1대로 2대 이상의 DTU를 독립적으로 제어하려면 멀티통신이 가능한 RS-485 혹은 모뎀을 이용하여야 하는데, 통신 회선수가 증가하거나 별도의 전화회선이 필요하다는 등의 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 별도의 통신선이 불필요한 전력선 모뎀을 이용함으로써 설치비 절감과 경비절감의 효과를 갖도록 하였다[1]-[3]. 그림1에서 보는바와 같이 본 시스템에서는 최대수요전력 관리기, 모니터링 컴퓨터, DTU사이의 통신은 전력선 모뎀을 이용한 전력선 통신을 한다.

2.2.1 최대수요전력 관리장치

최대수요전력 관리장치는 기본적으로 전력량계로부터 제공되는 동기신호에 의해 수요시한내의 평균전력 및 예측전력을 계산하여 최대수요전력과 비교 후 부하를 제어하는 제어기능과 부하의 상태 및 제어결과를 모니터링 컴퓨터에 전송하는 기능을 하며, 그림2에 나타내었다.

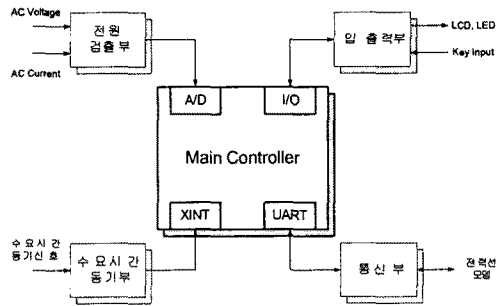


그림 2. 최대수요전력 관리장치의 구성도

2.2.2 DTU

DTU 모듈은 최대수요전력 관리장치에서 보내온 데이터의 내용에 따라 16개의 릴레이를 제어함으로써 직접적인 부하제어를 수행하는 장치이다. 또한 DTU는 부하의 제어상태, 그리고 통신상태 등을 최대수요전력 관리기에 전송하고, 최대수요전력 관리장치는 이러한 데이터를 모니터링 컴퓨터에 전송하여 모니터링 할 수 있게 된다.

DTU는 최대수요전력 관리기에 서 수신된 데이터의 내용에 따라서 각각의 부하를 제어하게 되는데, 데이터 전송 시 패킷의 충돌을 막기 위하여 수신 측을 먼저 확인하고 자신의 주소로 전송되어온 데이터만을 수신하게 된다. 송신된 데이터의 충돌여부는 LOOP-BACK된 데이터를 이용하여 알 수 있고, 패킷의 내용에 따른 부하의 제어는 수동/자동 모드로 운전한다.

2.2.3 전력선 네트워크

최대수요전력 관리장치, DTU, 모니터링 컴퓨터 사이의 관계는 그림3과 같다. 그림에서와 같이 전력선 모뎀을 이용하여 통신 네트워크를 구성한다. 통신 네트워크를 통하여 제어정보 신호와 모니터링 정보가 교환 된다.

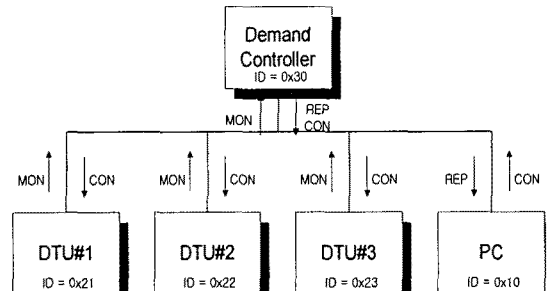


그림 3. 전체 통신 구조

2.2.4 전력선 모델

본 연구에서는 전력선 통신을 구현하기 위하여 사용한 전력선 모델은 캐리어 주파수를 만들어내는 마이크로 콘트롤러부 송·수신 모드를 제어하는 모드 제어부, 신호 레벨 증폭부, 모뎀을 전력선에 결합시키는 라인 커플러, 대역 필터 등의 부분으로 구성되어 있다.

전력선을 이용한 통신은 전원선의 임피던스, 신호의 감쇠, 잡음 발생 등에 의해 크게 영향을 받는다. 이와 같은 제약들을 해결하는 방법으로 FSK, QPSK 등과 같은 협대역 통신방식과 직접 순차 변조, 주파수 호핑, 주파수 처프 방법 등과 같은 광대역 주파수 확산 통신 방법을 많이 사용한다. 본 논문에서는 협대역 통신방식인 FSK 방식을 이용하여 통신을 하였다[4][5]. 유럽에서 규정한 전력선을 이용해서 통신할 수 있는 주파수 범위는 3kHz ~ 148.5kHz이다. 하지만 이 중에서 3kHz ~ 95kHz대역은 전기 공급회사가 사용할 수 있는 대역이고, 광대역 변조를 사용하여 통신을 한다면 전력선에 5V까지 인가할 수 있고, 협대역 변조를 해서 통신을 한다면 주파수 3kHz에서 95kHz의 범위에서 1V까지 각각의 주파수에서 선형적으로 감소시키는 형태로 전력선에 실을 수 있는 전압의 크기가 달라진다. 또한 사용자가 사용할 수 있는 주파수 대역은 95kHz ~ 148.5kHz 사이이고, 특정 통신 protocol의 사용여부에 따라 주파수 영역을 B, C, D Band로 구분한다. 본 논문에서 FSK 디지털 변조로서 High 일 경우 131.85kHz의 정현파로 Low일 경우 133.05kHz의 정현파로 변조하여 통신을 하였다.

2.3 실험 결과

그림4는 메인 제어보드로부터 모니터링 컴퓨터 및 DTU로 전송되는 모니터링 및 부하의 제어정보 신호와 전력선 모뎀의 출력단에서의 변조된 신호를 오실로스코프를 이용하여 측정 한 파형이다.

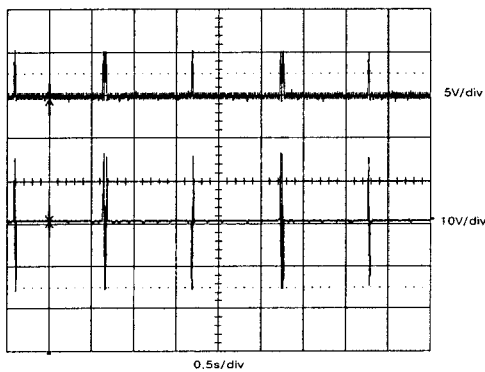


그림 4 모니터링 정보의 직렬전송 전력선 파형

그림5는 모니터링 정보 중 한 개의 패킷에 대한 신호와 전력선 모뎀의 출력 단에서의 변조된 신호를 오실로스코프를 이용하여 측정 한 파형이다.

그림6은 전력선 모뎀을 통하여 송수신 되는 데이터 패킷을 PC에서 모니터링 하는 화면이다. 그림의 모니터링 화면은 VisualBasic으로 작성하였다.

그림7은 부하전력이 증가하여 최대수요전력을 초과 할때 최대수요전력 관리장치에서 부하를 차단하는 것을 실험하는 것으로써, 상시부하 운전 중 전체의 조정부하 투입 후 최대수요전력 관리기에 의해 조정부하를 차단하여 목표전력량에 도달하는 과정을 확인하기 위하여 부하전류를 오실로스코프로 측정 한 파형이다.

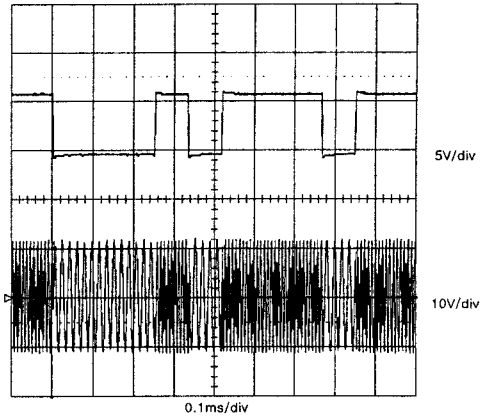


그림 5 패킷의 직렬전송 및 전력선 파형

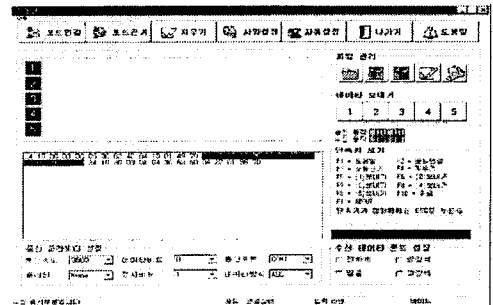


그림 6. 패킷 모니터링

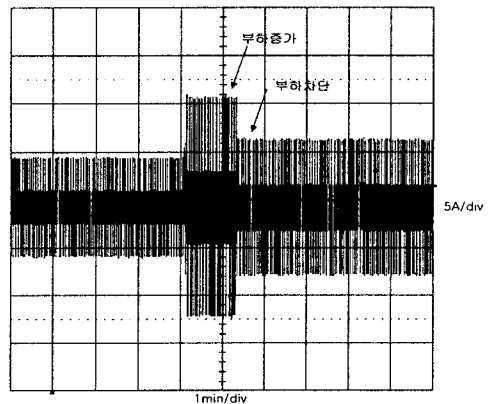


그림 7. 부하 제어서 부하전류 파형

3. 결 론

본 논문에서는 최대수요 전력관리장치, 모니터링 PC와 전력선 통신을 이용하여 네트워킹 되는 DTU를 이용하여 최대수요전력을 조절할 수 있음을 확인하였다.

현재 전력선 통신 기술에 있어 주상 변압기 부분의 신호 전달이 용이하지 않으므로 본 논문의 연구결과와는 하나의 배전반 이하에 연결되어 있는 부하들에 대하여 적

용이 가능하다.

향후, 인터넷통신이 가능한 고속의 전력선모뎀이 일반화 될 경우, SNMP를 적용한 에이전트의 기능을 추가함으로써 웹 서버를 구축하여 인터넷을 이용한 보다 광범위한 설비들의 통합원격관리 시스템의 구현이 가능할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.R. McDonald, S.D.J. McArthur, and G.M. Burt, "Intelligent system applications for power system control and management" *Computing & Control Engineering Journal*, Vol 12 Issue: 2, pp. 85 - 91, April, 2001.
- [2] E. Macii, "Dynamic power management of electronic systems" *IEEE Design & Test of Computers*, Vol 18 Issue: 2, pp. 6 - 9, March-April 2001.
- [3] R.H. Simpson, "Power system data base management" *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol 37 Issue: 1, pp. 153 -157 Jan.-Feb. 2001.
- [4] J. Hook and K. Burnham, "Communications on the power line " Passenger Car Electrical Architecture (Ref. No. 2000/088) *IEEE Seminar*, pp. 7/1 -7/6, 2000.
- [5] A.J.H. Vinck, J. Haering, and T. Wadayama, "Coded M-FSK for power line communications" *IEEE, International Symposium on Information Theory*, 2000, Proceedings, pp. 137, 2000.
- [6] A.J. Hoffman, "Peak Demand Control in Commercial buildings with target peak adjustment based on load forecasting," *IEEE ICCA Conf.*, pp. 1292-1297, 1998.
- [7] T. Esmailian, P.G. Gulak, and F.R. Kschischang, "A discrete multitone power line communications system," *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2000. ICASSP '00, Proceedings, 2000 IEEE International Conference on, Volume: 5, pp. 2953~2956, 2000