

고효율 운전이 가능한 지능형 무정전 전원장치에 관한 연구

(A Study of Smart Uninterruptible Power Supply Capable High Efficiency Drive)

엄태옥*

(Tae-Wook Eom)

Abstract

In this paper, a control scheme with the capability of high efficiency, which is realized by predicting the conditions of a load power and an input power, is proposed for the uninterruptible power supply (UPS). Generally, on-line UPS system supplies a constant voltage and a constant frequency (CVCF). However, the efficiency of the On-line UPS system can be reduced due to the switching losses of semiconductor devices during the power conversion. These losses are improved by the proposed smart UPS with the high efficiency drive system, which is realized by analysing and predicting the conditions of a load power and an input power.

Key Words : Uninterruptible Power Supply, Off-Line, On-Line, Smart UPS, High Efficiency Drive System

1. 서 론

무정전전원장치는 교류전원을 사용하는 기기(부하)에 예고 없이 정전되거나 사고로 인하여 과도한 전압강하가 일어날 때, 사용 중인 기기에 항상 정상적인 전원을 공급하기 위해 설치되는 장치이다. 이와 같은 무정전전원장치는 입력전압이 비정상적인 상황(정전, 순간전압강하 등)에만 배터리를 동작시켜 부하에 전원을 공급하는 오프라인(Off-line) 방식과, 정상적인 입력전

압 공급 시에도 정류기(AC/DC)와 인버터(DC/AC)의 동작에 의해 정전압과 정주파수(CVCF)의 전압을 부하에 공급하다가 정전시에는 배터리에 의해 전원을 공급하는 온라인(On-line) 방식으로 구분된다[1-2]. 오프라인(Off-line) 방식의 무정전전원장치는 정상시(입력전원의 상태가 정상인 경우)에는 상용전원(계통전원)을 바이패스라인을 통해 부하로 공급하고, 정전시에는 인버터/정류기를 인버터로 동작시켜 배터리에 축적된 에너지를 부하로 공급하는 구조로 되어있다[2-3]. 이러한 오프라인 방식의 무정전전원장치는 정상시에 바이패스라인으로 직접 부하단에 전력을 공급하기 때문에 효율이 우수한 장점을 가진다.

그러나 오프라인(Off-line) 방식의 무정전전원장치는 바이패스 스위치가 일반적으로 릴레이 구조로 되어있어, 약 10mSec의 절체시간이 소요되고, 정상시 상용전원이 그대로 부하에 공급되기 때문에 입력전압

* 주저자 : 동양미래대학교 자동화시스템과 교수

* Main author : Dongyang Mirae Univ. Dept. of Automation System Professor

Tel : 02-2610-5187, Fax : 02-2610-1852

E-mail : twum0311@dongyang.ac.kr

접수일자 : 2013년 2월 1일

1차심사 : 2013년 2월 7일, 2차심사 : 2013년 3월 4일

3차심사 : 2013년 3월 13일, 4차심사 : 2013년 3월 18일

심사완료 : 2013년 3월 20일

이 불안정한 경우 즉 입력정격전압의 $\pm 15\sim 20\%$ 이내에서도 그 전압이 그대로 부하 측에 전달된다. 따라서, 안정된 출력전압과 주파수를 요하는 부하에는 적합하지 못한 방식이다.

한편 온라인(On-line) 방식의 무정전전원장치는 평상시에는 상용전원을 정류기를 통해 직류전압으로 변환하고, 이 전압을 다시 인버터를 통해 교류전압으로 변환하여, 이중 변환된 전력을 부하로 공급하고, 정전시에는 배터리전력을 인버터를 통해 부하단에 공급하는 구조이기 때문에 항상 정전압, 정주파수의 양질의 전원을 부하단에 공급하는 것이 가능하다. 그러나 온라인(On-line) 방식의 무정전전원장치는 전력변환과정에서 발생하는 반도체 소자들의 스위칭 손실로 인하여, 오프라인(Off-line) 방식의 무정전전원장치에 비해 효율이 떨어지는 단점을 가진다.

2. 제안된 시스템

2.1 제안된 시스템의 구조

그림 1은 기존의 오프라인(Off-line) 무정전전원장치의 구조이며, 그림 2는 제안된 고효율 무정전전원장치의 구조이다. 제안된 시스템에서는 운전시 입력전압과 부하조건에 따라, 바이패스라인으로 부하에 전원을 공급하는 경로와 정류기와 인버터를 통해 부하에 전원을 공급하는 두 가지 경로를 선택적으로 동작한다. 본 논문에서는 이러한 두 가지 방식(오프라인방식과 온라인 방식)의 장점을 부각하고, 단점을 보완한 새로운 개념의 고효율 지능형 무정전 전원장치를 제안한다.

제안된 고효율 무정전전원장치는 입력전력의 예비율과 부하량을 측정하여 예비율이 여유가 있거나 부하량이 적고, 안정적인 경우 그림 3에서와 같이 바이패스 스위치를 통해 부하에 전력을 전달하는 고효율 모드의 동작하게 된다.

그러나 입력전압으로 측정된 입력전력의 예비율이 충분하지 못한 경우나 부하량의 크기가 클 경우에는, 무정전 전원장치를 그림 4와 같이 온라인모드

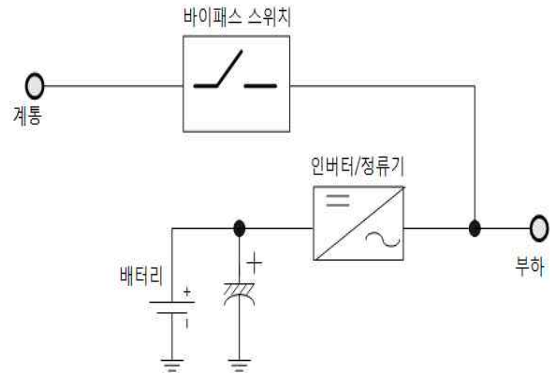


그림 1. 오프라인 무정전전원장치의 구조
Fig. 1. Structure of Off-line UPS

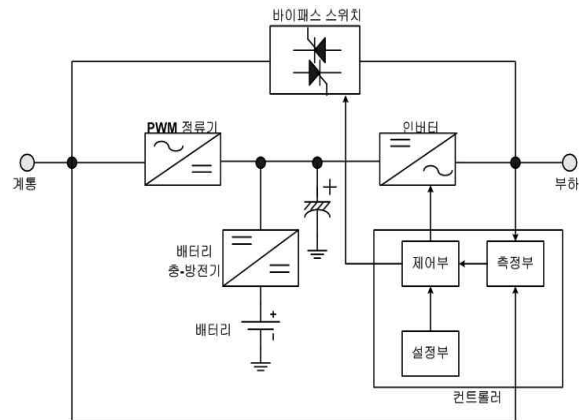


그림 2. 제안된 무정전전원장치의 구조
Fig. 2. Structure of proposed UPS

로 동작시켜 부하단에 정전압, 정주파수(CVCF)의 전력을 공급하는 동작모드로 동작시킨다. 이때 바이패스 스위치의 오프(Off)동작은 무정전전원장치에 내장된 CPU에 의해 제어되며, CPU는 입력전원에 대하여 전압, 주파수 및 파형의 순시치를 실시간으로 감시하여, 고효율 운전시 정전이 발생할 경우, 또는 고효율 운전의 조건에 부합되지 않을 경우에 바이패스 스위치를 오프(OFF)시키고, 정류기와 인버터에 의해 이중변환 된 전력을 부하로 공급하는 구조로 되어있다. 이때 인버터는 바이패스 스위치가 오프되는 순간의 입력전압 순시치 값에 부합되는 출력을 부하에 공급하며, 입력전압과 동위상의 전압을 출력하는 동기절체 동작을 수행한다. 또한 제안된

시스템의 바이패스 스위치의 경우 반도체소자(사이리스터)로 구성하여, 4mSec 이내의 무순단 절체가 가능하도록 하였다.

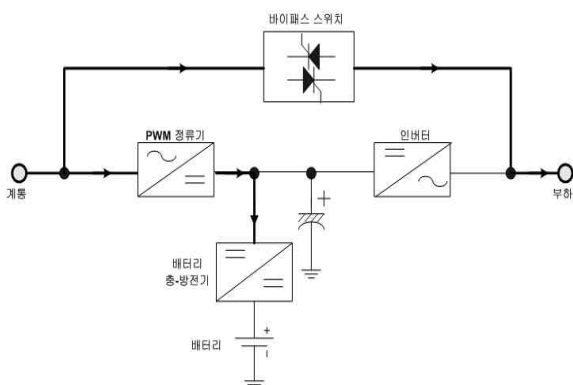


그림 3. 고효율모드시 동작흐름도
Fig. 3. Diagram of operation in high efficiency mode

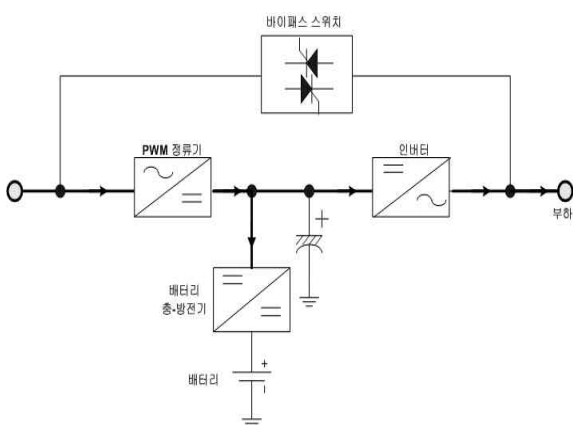


그림 4. 온라인모드시 동작흐름도
Fig. 4. Diagram of operation in On-line mode

2.2 제안된 시스템의 설계

고효율운전이 가능한 조건을 결정하는 기술은 입력 전력의 예비율과 부하량을 계측하여, 부하의 패턴을 분석하는 것으로 요약된다.

첫 번째 기술인 입력전력 예비율을 예측하는 방법은 무정전전원장치 부하에 따른 입력전압 변화를 분석하는 것으로 예측이 가능하다. 그 이유는 제한된 전력소스에서 부하측 전류의 증가에 의해 전압의 변화가 발

생하기 때문에 입력전압의 증감의 추이를 분석한다면 입력전력 예비율을 찾을 수 있다.

$$v_{avg}[n] = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} v[n-k] = \frac{1}{M} \{v[n] + v[n-1] + \dots + v[n-(M-1)]\} \quad (1)$$

입력전력의 예비율을 찾기 위한 입력전압의 시간대별 평균전압은 이동평균법을 사용하여 계산된다. 임의의 시간 n에서의 M개의 전압의 평균치는 식 (1)과 같이 인과적 이동평균 공식을 이용하여, 계산할 수 있다. 식 (2)는 매일 동시간대의 이동평균법에 의해 계산된 전압값을 측정하여, 동시간 때의 전압의 평균치를 구하고, 동시간대 전압 변화량을 알기 위해 위에서 다음에 나타나있는 식 (3)에 적용하여 전압의 표준편차를 구한다.

$$v_{avg}^* = \frac{(v_{avg}(1) + v_{avg}(2) + \dots + v_{avg}(k))}{N} \quad (2)$$

여기서 (N= 수집된 데이터의 갯수,
k= k번째 날 동시간대에 수집된 데이터)

$$V_{표준편차} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (v(k) - v_{avg}^*)^2} \quad (3)$$

위의 식 (3)에서 구한 표준편차를 이용하여, 동시간대의 전압의 변동율을 계산할 수 있다. 위 두식(식 (2), 식 (3))을 사용하여 계산된 값에 의해 입력전력 예비율이 높은 구간을 판단하는 근거로 이용한다.

다음 그림 5에서 나타난 것과 같이 7일 동안 측정된 입력전압의 측정결과를 살펴보면 일과시간 시작 이후와 일과시간 종료 후의 전압패턴이 유사한 형태를 가지는 것을 알 수 있으며, 이는 일과시간을 시작함과 동시에 부하전력을 사용함에 따라, 입력전압의 감소를 유발하는 원인이 되는 것을 알 수 있다.

이러한 1주일 동안의 입력전압의 측정치를 토대로 하여, 7일간 계측된 전압의 시간대별 평균치를 다음 그림 6과 같이 나타낼 수 있다.

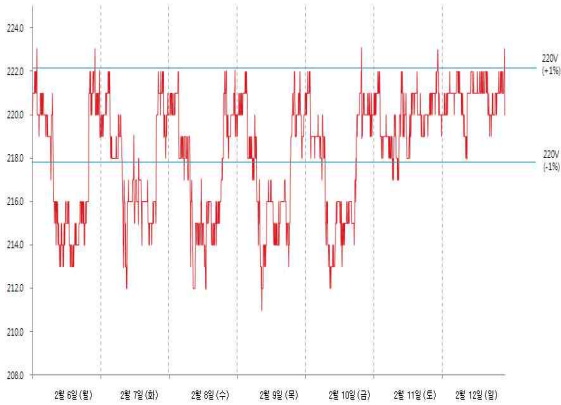


그림 5. 무정전전원장치의 입력전압측정데이터
Fig. 5. Input voltage measurement data of UPS

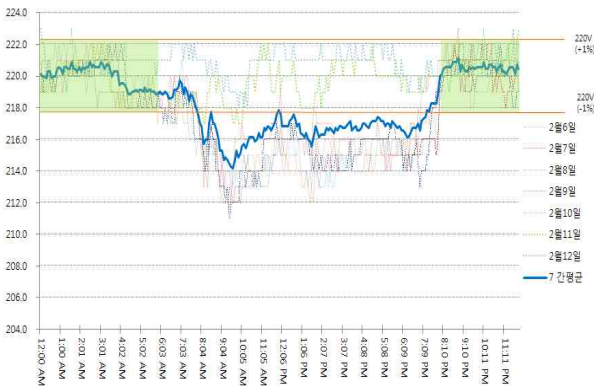


그림 6. 입력전압의 시간대별 평균치
Fig. 6. Average value of input voltage each periods of time



그림 7. 입력전압의 평균치, 표준편차 및 안정도
Fig. 7. Average value, standard-deviation and stability of input voltage

그림 7은 위의 그림 6에서 나타난 7일간 측정된 입력전압의 시간대별 평균치 전압과 표준편차를 계산하여, 전압의 안정구간을 정의하였다. 표준편차를 계산하는 이유는 측정할 곳의 전압환경이 각각 다르기 때문에 전압의 평균값에서 측정시의 전압의 편차로 입력전압의 안정도를 판단하기 위함이다. 입력전압의 측정결과에 따른 전압안정구간의 판단은 그림에서 나타난 바와 같이 표준편차 값이 1보다 크면 입력전압이 불안정한 구간으로 정의하고, 반대로 그 값이 1보다 작은 구간은 입력전압이 평균전압의 $\pm 1\%$ 이내의 안정한 구간으로 정의하였다.

고효율 모드의 조건을 예측할 수 있는 두 번째 기술은 부하상태를 체크하여, 부하의 패턴을 분석하는 것이다. 그림 8은 일주일(7일) 동안에 특정사이트에서의 부하량을 나타냈으며, 일과시간의 시작과 일과시간 종료구간에서 유사한 패턴을 갖는 것을 알 수 있다.

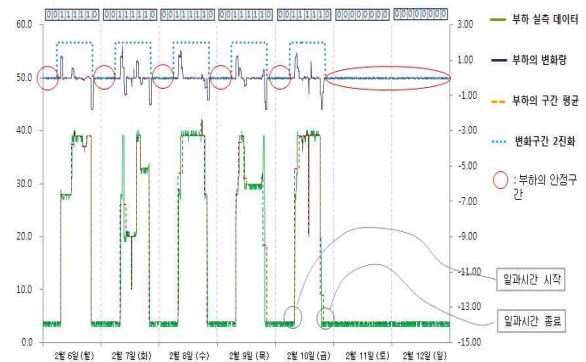


그림 8. 무정전전원장치의 부하측정데이터
Fig. 8. Load measurement data of UPS

위의 그림 8에서 나타난 변화구간을 2진화한 파형에서 High 구간은 부하를 많이 쓰거나 부하의 변화량이 심한 경우를 의미하며, Low 구간은 현재 부하전력이 정격의 10% 미만이거나, 부하의 변화가 심하지 않은 고효율운전이 가능한 구간을 나타낸다.

다음 그림 9는 제안된 고효율 무정전전원장치의 동작흐름도이다.

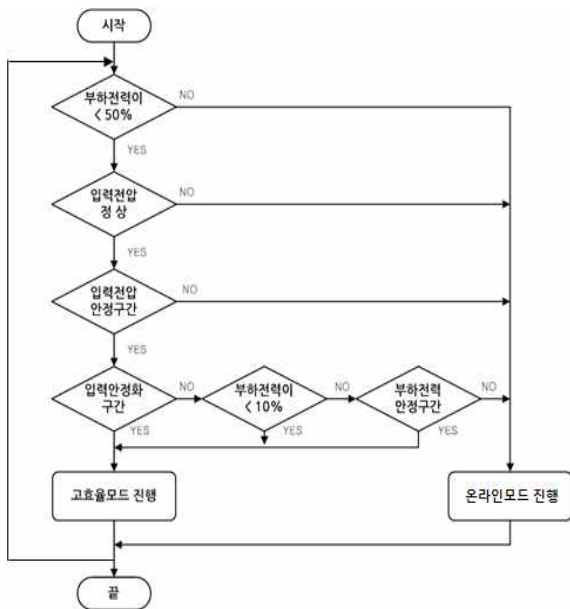


그림 9. 고효율무정전전원장치의 플로우차트
Fig. 9. Flowchart of high efficiency UPS

3. 제어 및 적용결과

앞에서 언급한 분석 자료를 토대로 하여 7일 동안 계측된 입력전압과 부하량의 측정치에 의해 예측된 입력전압과 부하량의 안정구간 및 특정일에 계측된 부하량과 입력전압 값을 비교하여, 그림 10에 나타냈으며, 제안된 시스템은 입력전압이 불안정하고, 동시에 부하전력 사용이 빈번한 구간(즉 입력전압안정도 예측치가 “High”이고, 부하안정도 예측치가 “High”인 구간)에서는 온라인모드를 수행하고, 나머지 구간(입력전압안정도 예측값이 “Low”이거나 부하안정도 예측값이 “Low”인 구간)에서는 고효율모드를 수행한다.

특정일에 계측된 입력전압과 부하량의 측정치가 예측된 모드운전과 부합되는 것을 확인할 수 있다.

그림 11은 제안된 시스템이 적용된 무정전전원장치의 동작 사진으로 앞에서 분석한 부하와 입력전압의 조건이 고효율 조건을 만족하게 되면, 고효율 모드로 동작하는 것을 실험을 통해 확인할 수 있다.

다음 표 1은 3상 100kVA 출력의 제안된 시스템과 기존시스템을 정격의 50%와 100% 부하조건에서의

효율을 측정하여 비교한 것으로 제안된 시스템이 고효율모드로 동작할 경우 기존시스템보다 약 8~9% 정도의 효율 향상을 가져오는 것을 알 수 있다.

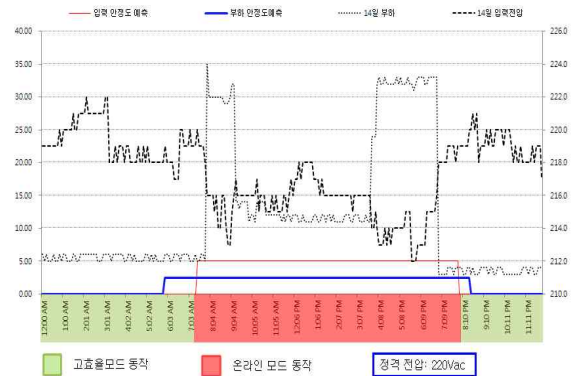
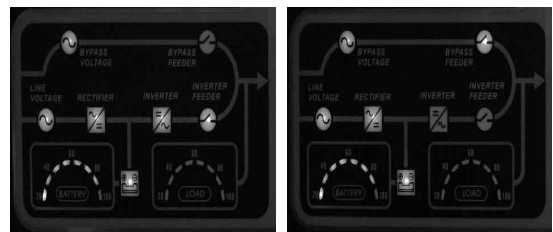


그림 10. 입력전압과 부하량에 대한 안정도 예측결과
Fig. 10. Estimated results of stability about input voltage and load



온라인모드 고효율 모드

그림 11. 온라인모드와 고효율모드 동작사진
Fig. 11. Operating Photograph of On-line mode and high efficiency mode

기존 시스템의 효율의 경우 국내에서 잘 알려진 무정전전원장치업체의 최신형 UPS의 사양서의 효율을 참조하였다.

표 1. 기존시스템과 제안된 시스템의 효율비교
Table 1. Efficiency comparison of conventional system & proposed system

비교항목	제안된시스템효율	기존시스템효율
50%부하시	96%	87%
100%부하시	98%	90%

(부하역율 0.8의 RL부하사용)

4. 결 론

본 논문에서는 입력전압 및 부하량의 패턴을 인식하고, 각각의 시간대별 입력전력의 예비율을 예측하여, 고효율 운전이 가능하도록 하는 시스템을 제안하였다.

제안된 시스템은 입력전압 및 부하량을 측정 후에 인식하여, 예측된 결과에 따라 고효율 모드 운전을 수행함으로써, 전력용반도체에서 소모되는 불필요한 전력을 최소화하는 시스템이다.

또한 제안된 시스템이 입력전력 예비율과 부하량에 따라 예측되어진 결과로 고효율운전이 가능한 구간과 불가능한 구간을 구분하여 동작하는 것을 실험을 통해 확인하였다.

References

- [1] S.B. Bekiarov and A. Emadi, "Uninterruptible power supplies: classification, operation, dynamics, and control," in Proc. IEEE APEC'02, vol.1, 2002, pp.597-604.
- [2] F. Kamran and T. G. Habetler, "A novel on-line UPS with universal filtering capabilities," in IEEE Trans. Power-Electron., vol.13, 1998, pp.410 - 418.
- [3] S.B. Bekiarov, A. Emadi, "A new on-line single-phase to three-phase UPS topology with reduced number of switches," in IEEE PESC'03, vol.1, 2003, pp.451-456.
- [4] R. Ghosh and G. Narayanan, "A simple analog controller for single-phase half-bridge rectifier and its application to transformerless ups," in IEEE PESC'05, 2003, pp.1306-1312.

◇ 저자소개 ◇



엄태욱 (嚴泰昱)

1968년 3월 11일생. 1990년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 동대학원 전자전기공학부 졸업(박사). 현재 동양미래대학교 자동화시스템과 교수.