

論文99-36T-12-7

단상 On-line UPS를 이용하여 역율을 개선하는 BOOST 컨버터의 구현

(Implementation of BOOST Converter with Power Factor Correction(PFC) using a Single-phase On-line UPS)

韓 完 沃 * , 金 泰 雄 **

(Wan-ok Han and Tae-woong Kim)

要 約

본 논문은 Battery-전압 BOOST 컨버터를 2 종 기능의 역율 개선된 (PFC) 정류기로 대체시킨 새로운 구조의 On-line UPS를 제시함으로써 복잡한 전력단을 간단화 할 수 있는 방법을 제시한다.

또한 종래의 역율 개선 회로 (PFC) 에서는 직류 부하단의 전압(V_o)의 리플에 대한 영향으로 인하여 고주파 스위칭 Converter에 적용하기 어려웠으나 본 논문에서는 개선된 On-line UPS를 사용하여 역율 개선 기능과 승압 기능을 하나의 BOOST 컨버터로 통합함으로써 직류 부하단 전압의 리플을 최소화시켜서 고주파 스위칭 효율을 높이고 시스템 설계 및 개발 경비를 감소시킬 수 있다.

이와 같이 개선된 UPS를 이용한 BOOST 컨버터의 가능성과 저가의 높은 전력 밀도를 실험적인 방법으로 검증하였다.

Abstract

This paper proposed simplified method to complicated Power Stage with a new On-line UPS scheme by replacing essential battery-voltage booster with a dual-functional PFC. Direct Load Voltage (V_o) can not be applied to high voltage switching converter due to ripple from traditional Power Factor Correction (PFC) but Boost Function of On-line UPS is united so that the cost of system design and development is inexpensive. Through varification of experimental result, proposed UPS scheme shows its performance, low cost and high power density.

I. 서 론

오늘날 컴퓨터, 전자 제어회로, 정보 통신회로 등의
에 사용되는 컴퓨터나 마이크로프로세서를 내장하는
실용화가 더욱 가속화되어지고 있으며, 각종 제어 장치

자동화 기기는 전원 변동에 민감한데 비하여 전원 부
분에는 상용 전원 자체의 노이즈를 비롯하여 여러 가
지의 오류 발생 요인을 가지고 있다.

따라서 아무리 양질의 전원을 공급한다고 할지라도
시스템의 동작 오류를 발생시킬 수 있으므로 시간적,
경제적으로 손실을 방지하고 시스템을 보호하기 위
하여 적절한 전원 장치 사용이 필수적이라고 할 수 있다.

현대 산업에 있어서 전원의 급작스런 중단으로 인해
서 작업중인 데이터가 저장되지 못하는 경우에 발생하
는 손실은 대단히 크기 때문에 이에 대한 대책으로
UPS의 사용이 점점 더 중요하게 되었다.^{[1][3-5]}

* 正會員, 麗州大學 電子科

(Yeojo Technical Collage, Electronics)

** 正會員, 光云大學校 大學院

(Kwangwoon University, Electronics)

接受日字: 1999年7月14日, 接收完稿日: 1999年11月26日

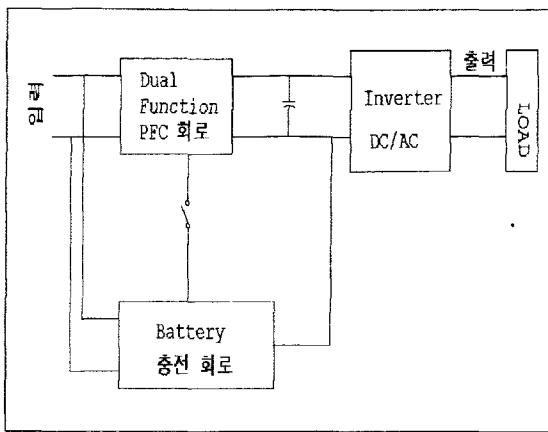


그림 1. 고전적 단상 On-line UPS의 구성

Fig. 1. A Structure of the conventional Single-phase On-line UPS.

그리고 부하단으로 전력 전달시에 역율을 개선하기 위하여 UPS의 정류기에 PFC 기능을 갖는 전단 정류기의 사용이 갈수록 많아지고 있다.^[3-6]

그러나, 이것은 부가적인 PFC 회로가 포함되어야 하기 때문에 시스템 구축 경비가 증가하게 되므로 설계시의 난점으로 작용한다. 일반적으로 많이 사용되는 UPS는 상용전원을 정류기를 통해 직류로 변환한 뒤에 Battery에 충전시키면서 인버터에 직류전원을 공급하고, 인버터 직류를 교류로 변환시키며, 인버터 출력을 Filtering 한 후 부하 측에 공급하는 방법을 사용한다.^[7-8]

이때, 상용전원에 전압이나 주파수의 변화가 발생하여도 정류기에 의해서 Buffering 되므로 종단의 출력단은 양질의 전원을 출력할 수 있게 된다.

그림 1은 PFC, 인버터, 충전기, 승압형 컨버터 그리고 Battery 세트로 구성된 고전적인 on-line UPS의 기능적인 블록도를 보여 준다.

주 전원이 공급될 때, PFC 블록과 CHARGER 블록이 동작중이고 주 전원이 공급되지 않을 때 INVERTER 블록과 BOOST CONVERTER 블록이 동작하게 된다.

주 전원이 온 상태일 때, AC 전력 원은 정류된 AC 전력을 부하와 충전기로 공급하기 위하여 PFC를 경유하여 인버터로 흐름과 동시에 Battery에 에너지를 공급한다. 즉, PFC 블록과 CHARGER 블록이 동작하게 된다. 그 동안 승압형 컨버터는 동작하지 않는다. 주 전원이 오프 상태일 때, 즉 BOOST CONVERTER 블록이

DC 캐패시터에 에너지를 공급하기 위한 원래의 DC 링크 전압 레벨로 Battery-전압을 상승시키기 시작한다. 그 결과, 인버터 입력이 주 전원이 공급되었을 때와 똑같은 DC 링크전압 레벨을 유지하기 때문에, 인버터 단은 여전히 정상적으로 동작한다. 일반적으로, PFC의 전단 정류기로 인하여, 상용 송압형 PFC는 Battery-전압에 비해서 높은 DC 출력을 가지므로 BOOST CONVERTER 블록은 필수적으로 필요하다. 다시 말해서, 만일 PFC 출력의 DC 링크 전압이 약 240[VDC]이고 송압기의 성능이 없으면, 정전 상태에서 정상적으로 동작을 유지하기 위하여 20개의 12[V](모두 합해서 240[VDC]) Battery가 직렬로 접속되어야 한다.

예를 들어서 1[KW] UPS는 (UPS의 일반적인 규격) 10초의 백업 시간을 공급하기 위하여 거의 사용하지 않는 12[V]/1.5[AH]의 Battery가 필요할 것이다.

그러나 만일 Battery-전압 송압기가 있다면 일반적으로 사용되는 5개의 12[V]/7[AH] Battery를 사용 할 수 있다. Battery의 유형이 일반화 될 수록, 더 저렴한 값으로 사용할 수 있을 것이다.^[9]

더욱이, UPS가 Battery를 많이 탑재할수록, 시스템은 더욱 복잡해지고 결선의 신뢰도가 더욱 저하된다. 결국 Battery-전압 송압기는 필수적이고 입력 전류 고조파 감소 또한 필수적이다.^[9]

본 논문은 규정된 백업 시간동안 DC 링크 전압을 맞추는 특수하고 비싼 Battery 유형을 사용할 필요 없이 PFC를 전단정류기로 사용하여 UPS 구조를 간단화 할 수 있는 승압형 컨버터로 제안하였다.

II. UPS의 전단 정류기

1. 제안한 UPS 시스템

On-line UPS의 기능적인 구성은 다음 그림 2 와 같이 PFC 회로, INVERTER 회로와 Battery 충전회로로 구성된다.

주 전원이 공급될 때 (Battery-스위치가 오프 상태), 3 가지 블록이 모두 동작한다. 주 전원이 공급되지 않을 때(Battery-스위치가 온 상태), Battery-전압과 함께 DUAL FUNCTIONAL PFC 블록과 INVERTER 블록이 동작한다. 이 시스템은 2종 기능 PFC, 인버터, 충전기, Battery-스위치 그리고 Battery

세트 등으로 구성된다.

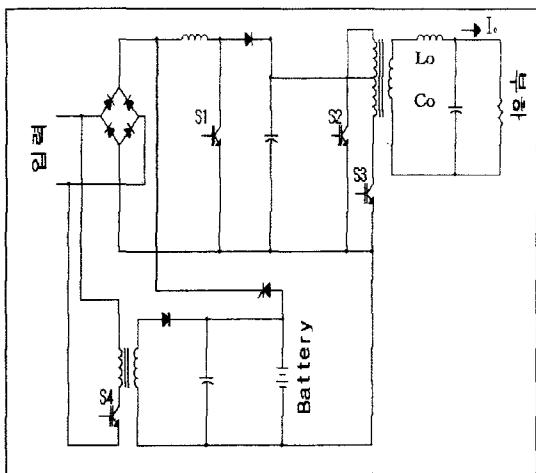


그림 2. 제안한 UPS의 기능적 구성

Fig. 2. A Functional Structure of the Proposed UPS.

동작원리는 기능을 표시한 블록의 두가지 상태 - 주 전원이 공급될 때와 되지 않을 때 -에 의해 구분된다. 본 논문에서 제시한 실제적인 UPS 전력회로가 그림 3에서 보여진다.

고전적인 승압형 인버터를 사용하는 대신에 PFC의 기능과 승압의 기능을 하는 전단 정류기를 사용하기 때문에 그림 1과 2를 비교해 보아도 쉽게 알 수 있듯이 고전적인 UPS 구조와 비교해 볼 때 확실히 좀더 경제적이다.^{[3][5][8]}

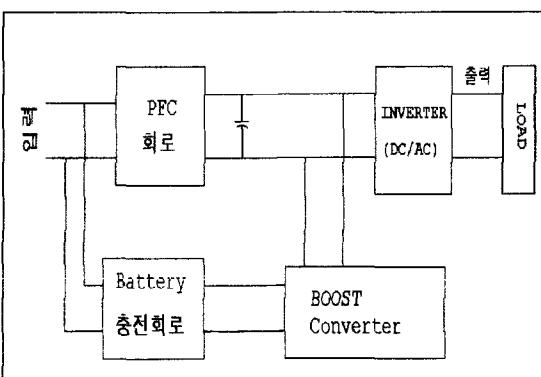


그림 3. 2중 기능 PFC를 사용한 UPS 회로

Fig. 3. The UPS Circuit using dual functional PFC.

주전원이 공급될 때 2중 기능 PFC의 스위치 S1은 입력 전류를 정현적으로 성형하기 위해서 주 전원과 동기되는 케이팅 펄스로 제어되고 푸시-풀 인버터의

스위치 S₂, S₃는 출력전압을 발생시키기 위해 출력 필터 L_o/C_o와 함께 정현 PWM 형태로 동작되고 플라이백 충전기는 Battery 세트를 충전시키기 위하여 정상적으로 동작한다.

(Battery-스위치 S₄는 오프 상태) 주전원이 오프되는 순간 Battery-스위치는 온 상태가 되고 스위치 S₁은 Battery-전압을 구성하기 위하여 DC 전압 부스터의 주 전원으로서 제어되고 스위치 S₂, S₃는 같은 정현 PWM 형태에서 여전히 동작하지만 충전기는 AC 입력이 없기 때문에 일시적으로 동작을 멈춘다. 인버터는 푸시-풀 PWM 인버터로 일반적으로 널리 사용되는 유형이다.

제시한 UPS의 주요한 특성은 다음 절에서 설명, 분석하는 2중 기능 PFC에 있다.

2. 2중 기능 PFC

그림 3에서 2중 기능 PFC의 회로를 2 가지 모드로 나누어서 설명한다.

먼저 Battery 스위치가 오프 상태이고, 입력 상태 스위치가 온 상태일 경우를 모드(1)이라고 하고, Battery 스위치가 온 상태이고 입력 상태 스위치가 오프인 경우를 모드(2)라고 한다.

이와 같이 주 전원의 2 가지 상태에 의해서 전류의 흐르는 경로에 따라 동작 모드를 나누어서 동작원리를 설명한다.

첫 번째 모드는 주 전원이 온 상태일 때, 인버터는 입력 전류 파형을 정현적으로 성형하고 PWM 형태로 스위치 S₁을 제어함으로써 DC 출력을 발생시키는 PFC기능을 한다.

이 주기에서 메인 스위치의 첨두 전류 $I_{s(PFC_peak)}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$I_{s(PFC_peak)} = 1.414 * P_{out} / V_{in(minimum)} \quad (1)$$

여기에서, P_{out} 은 출력전력이고,

$V_{in(minimum)}$ 은 입력 전압의 최소값이다.

두 번째 모드는 주 전원이 오프 상태일 때, 2중기능 인버터는 PFC 부속기능의 DC 전압 부스터로서 동작한다.

똑같은 PFC 제어 논리와 궤환 회로를 사용함으로써, 메인 스위치 S₁은 같은 DC 출력 레벨까지 상승하는 부스트 Battery 전압 V_B 로 PWM 형태에서 제어될 수 있다.

이 주기에서, 메인 스위치의 첨두 전류 I_s 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$I_{s(\text{boost, peak})} = I_o * V_o / V_{B(\text{min,imum})} \quad (2)$$

여기서, I_o 는 출력 전류 V_o 은 출력 전압이고, $V_{B(\text{min,imum})}$ 은 low-battery 전압이다.

그러므로, (1)식과 (2)식에서 모드(1)과 모드(2)의 전류차 $\Delta I_{S(\text{peak})}$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta I_{S(\text{peak})} = I_{S(\text{boost, peak})} - I_{S(\text{PFC, peak})} \quad (3)$$

식(3)으로부터, 다음과 같이 값이 주어지면, 전류차 $\Delta I_{S(\text{peak})}$ 는 약 9/3[A]가 될 것이다.

$$V_{in(\text{min,imum})} = 90[\text{VAC}]$$

$$V_{B(\text{min,imum})} = 40[\text{VAC}]$$

$$V_o = 250[\text{VDC}]$$

$$P_L = 1[\text{kW}]$$

그러므로, 만일 V_B 가 너무 낮지 않으면 두 가지 모드에 대한 메인 스위치의 전류차는 허용될 것이다. 따라서 메인 스위치의 적당한 정격-전류 용량을 선택할 수 있다면, 공통의 회로를 사용해도 될 것이다.

제시한 컨버터의 제어 논리와 궤환 회로가 첫 번째 모드인 입력 전류 성형 특성에 의해서 결정되므로 두 번째 모드가 이런 종류의 응용에 안정한지를 고려해야만 한다.

안정성을 고려한 두 가지 관점이 있다.

먼저 첫 번째 모드의 전력 회로 셀은 내부 제어 루프를 갖고 있기 때문에 소 신호 모델에 대해서 단지 90° 가 지연되는데, 이것은 연속 도통 모드(CCM) PFC의 고유 요소이고 원래의 180° 전력 회로 셀 중에서 하나의 극점을 제거할 수 있다. 90° 지연되는 제어 시스템에 대한 궤환의 안정도 문제는 없다.

다음으로 V_B 가 바람직한 설계를 하기 위한 입력 전압의 범위안에 존재하기 때문에 두 번째 모드는 첫 번째 모드에 대해서 하나의 동작점에 포함된다.

더욱이, 외부 제어 루프가 필터의 저주파 AC line 리플전압이 되어야 하기 때문에 PFC 회로는 항상 혐 대역폭을 가져서 낮은 시스템 응답의 결과가 된다.

III. 실험결과

제안한 UPS의 실현 가능성을 검증하기 위하여, 적당한 논리와 궤환 회로로 구성된 그림 3에서 제시한 200[W] UPS 전력단이 시험적으로 수행되었다. 이것의 DC 링크 전압은 90[VDC]이다. Battery 세트는 최대 정격 부하 시에 약 2분간의 백업 시간을 지닌 2개의 12[V]/1.9 [AH] Battery를 사용한다. 그리고 플라이백, 충전기는 AC 라인이 정상동작을 할 때, Battery 세트를 충전시키기 위해 (전류제한은 0.3[A]) 24[VDC]를 일정하게 공급할 수 있다.

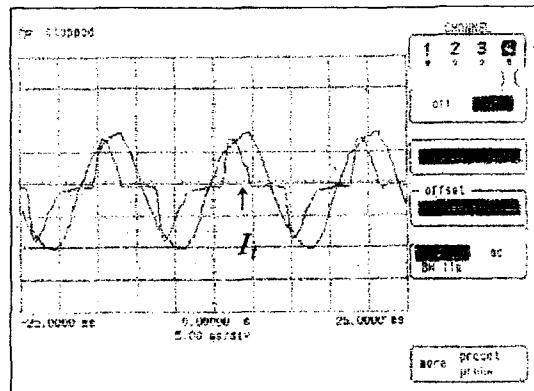


그림 4. 주전원이 공급될 때, PFC 가 동작하지 않는 입력 파형 ($V_{in} = 20[\text{V}]$ /div, $I_t = 1[\text{A}]$ /div), $V_{in} = 110[\text{VAC}]$ /60Hz

Fig. 4. The input waveforms without PFC when mains is supplied. ($V_{in} = 20[\text{V}]$ /div, $I_t = 1[\text{A}]$ /div), $V_{in} = 110[\text{VAC}]$ /60Hz

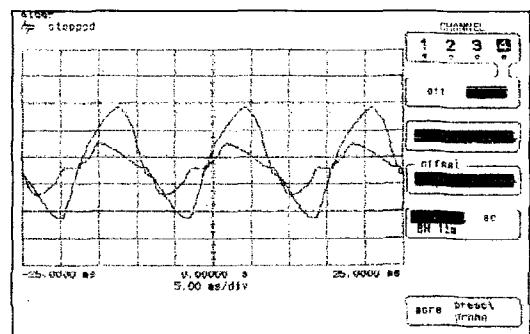


그림 5. 주전원이 공급될 때, PFC 가 동작하는 입력 파형 ($V_{in} = 20[\text{V}]$ /div, $I_t = 1[\text{A}]$ /div), $V_{in} = 110[\text{VAC}]$ /60Hz

Fig. 5. The input waveforms with PFC when mains is supplied. ($V_{in} = 20[\text{V}]$ /div, $I_t = 1[\text{A}]$ /div), $V_{in} = 110[\text{VAC}]$ /60Hz.

그림 4는 PFC가 동작을 하지 않는 동안의 입력 파형을 보여준다. 전압과 전류가 영점에서 교차하는 것에 차이가 있음을 보인다.

그림 5는 PFC가 동작될 때의 입력 파형을 보여준다. 그림 6은 UPS 제어보드의 내부 PWM 파형 발생을 보인다. 상세도인 그림 7과 같이 삼각파 비교방식을 이용하여 듀티비를 조정한 PWM 파형이다.

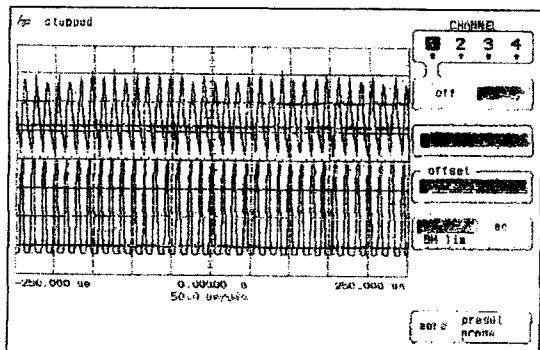


그림 6. 제안한 UPS의 내부 PWM 파형
(10 [us]/div, 2.0 [V]/div)

Fig. 6. The internal PWM waveforms.
(10 [us]/div, 2.0 [V]/div)

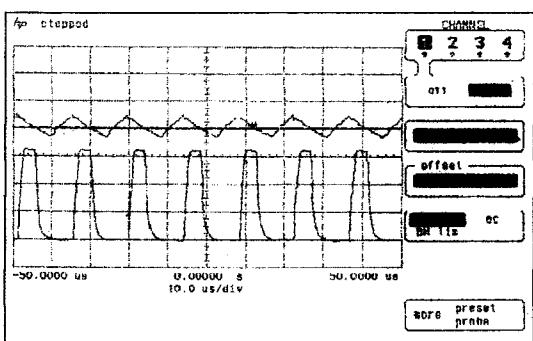


그림 7. 그림 6 의 확대된 PWM 파형
(50 [us]/div, 2.0 [V]/div)

Fig. 7. The zoomed PWM waveforms of Fig. 6. (50 [us]/div, 2.0 [V]/div).

그림 8은 주 전원이 공급되지 않는 순간 개시하는 Battery-스위치의 게이팅 파형을 승압기 스위치의 게이팅 파형과 비교한 그림이다. 주 전원이 공급될 때는 오프상태를 유지하다가 주전원이 공급되지 않을 때, Battery 전압을 링크의 전압으로 인가하기 위하여 스위칭을 개시한다.

그리고 본 논문에서 제안한 단상 On-line 기법을 이

용한 UPS에 최대 부하를 걸었을 경우의 출력 파형은 다음 그림 9에 나타내었으며, 이때 전압 전류의 측정범위는 50V 5A이다.

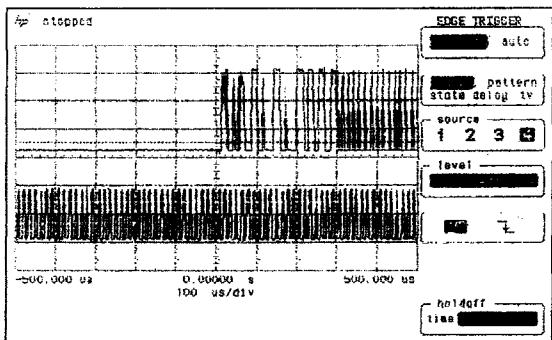


그림 8. 주전원 오프시 시작되는 Battery 스위치의
게이팅 신호 파형

Fig. 8. The gating signal waveform of battery-switch when mains blackout.

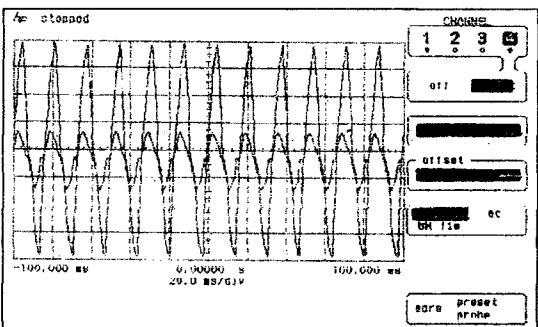


그림 9. 최대 정격 부하시 UPS의 출력파형
($V_o = 50 [V]$, $I_o = 5 [A]$)

Fig. 9. The Output waveforms of the UPS with
Full-load.
($V_o = 50 [V]$, $I_o = 5 [A]$)

IV. 결 론

본 논문에서는, 전단 정류기로 2중 기능 PFC의 형태를 지닌 새로운 단상 on-line UPS 구조가 제시 되었다. 제안한 UPS는 2중 기능 PFC를 전단 정류기로 사용하여 구조가 간단하면서도 부스트 컨버터로서 동작상태와 부하단의 출력 결과가 고전적인 on-line UPS와 마찬가지로 성능상의 문제가 없음을 보였다.

경제적이며 높은 효율을 가진 on-line UPS 컨버터는 현재 중, 저용량의 UPS에서 응용 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] D. C. Griffith. "Uninterruptible Power Supplies: power conditioners for critical equipment", Marcel Dekker New York, pp.157-339, 1989.
- [2] IEEE Std 1100-1992 "IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic equipment". IEEE Emerald Book, pp.159-197, 1992.
- [3] Yuasa Corporation Osaka, Japan, "Developement of UPS using new type of circuits", IEEE INTELEC'94, Conf. Proceedings, pp.635-642.
- [4] I. Kubo, Y. Ozawa, R. Nakatsuka, A. Shimizu. "A fully digital controlled UPS using IGBT's", IEEE IAS'91, Conf. Proceedings, pp.1042-1046.
- [5] R. G. Kessler and E.D. McGee, "New UPS Architectures Meet demands for Continuous, Clean Power to Critical System", Powertechnics Magazine, Nov. 1996, pp. 13-16.
- [6] S. Martinez, M. Casto, R. Antoranz, and F. Aldana. "Off-line uninterruptible Power Supply with Zero transfer Time Using Inte-grated Magnetics", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 36, No.3, pp. 441-445, Aug. 1989.
- [7] G. J. Smollinger and W. J. Raddi. "Reverse Energy Transfer Through an AC Line Synchronizing Pulse Width Modulated Sine Wave Inverter", IEEE Int. Telecommunicat. Energy Conf., Intelec 81, pp. 126-131.
- [8] W. J. Raddi and R. W. Johnson. "An Utility Interactive PWM Sine Wave Inverter Configured as a High Efficiency UPS", IEEE Int. Telecommunicat. Energy Conf., Intelec 81, pp.126-131.
- [9] Vincent G. Bello. "Using The SPICE-2 CAD Package for Easy Simulation of Switching Regulators Both Continuous and Discontinuous Conduction Modes", Proceedings of Powercon pp. 1-13 1981.

저 자 소 개



韓 完 沃(正會員)

1962년 1월 1일생. 1985년 광운대학교 전자공학과(공학사), 1987년 광운대학교 대학원 전자공학과(공학석사), 1995년 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학박사), 현재 여주대학 전자과 조교수, 대한 전자공학회 회원, 대한 전기학회회원, 한국 조명, 전기 설비학회 회원. 연구분야는 전력 전자, 전동기 제어: 3상 유도전동기 의 제어, 서보 모터 제어, 마이크로프로세서 응용



金 泰 雄(正會員)

1964년 3월 1일생. 1988년 광운대학교 전자공학과 졸(공학사), 1990년 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학석사), 1998년 광운대학교 대학원 전자공학과 (공학박사), 1990년~1995년 ED 엔지니어링 근무, 대한 전자공학회 회원, 한국 조명, 전기 설비학회 회원, 연구분야는 전력 전자, 전동기 제어: 3상 유도전동기 의 제어