

**특집 : UPS의 기술동향**

# UPS 입력역률 개선 및 소형, 경량화 방안

김은수

(한국전기연구소 전력전자연구그룹 선임연구원)

## 1. 서론

컴퓨터 및 인터넷을 중심으로 한 정보통신 시스템의 발전에 따라서 UPS의 사회적 중요성과 수요는 현저하게 증대하고 있다. 다양화된 시장 수요에 대응해 UPS의 기술혁신도 급속하게 발전하고 있고, 특히 소형, 경량, 고성능화를 위한 고주파 스위칭기술은 Power Mosfet나 IGBT 등의 고속 스위칭소자의 진보에 따라 중·소 용량 UPS를 중심으로 적용 보급되고 있다.

UPS 주 회로 개발에 있어서 최근 기술개발동향은

- 스위칭 주파수 증가에 따른 출력필터 크기저감
- 효율개선을 위한 새로운 스위칭소자 적용
- UPS 입력전원의 역률 및 파형 개선
- 부하에 관계없이 정현 출력 파형 제어
- 출력전압 변동 없이 넓은 입력전압범위 제어
- 경량, 저 가격 및 최소 전력단 구성에 의한 고효율 등이 있고

UPS에 있어서 단일 회로로 동시에 모든 요구를 만족시킬 수 없으므로 적용 UPS에 맞는 최적의 주 회로 선정이 필요하다.

본 기고에서는 이러한 관점에서 참고문헌<sup>1)</sup>을 기초로 여러 가지 UPS 주 회로에 대한 내용을 검토하고자 한다.

## 2. UPS 주 회로 구성

UPS는 선택된 전력공급제어 경로(Power flow path)에 의해 분류 될 수 있고, 그림 1에 나타낸바와 같이 먼저 상용 AC 입력전원이 필터 등을 통해 바로 부하에 연결되어 공급되고, 상용 AC 입력전원의 고장 및 정전 시 Battery와 출력인버터

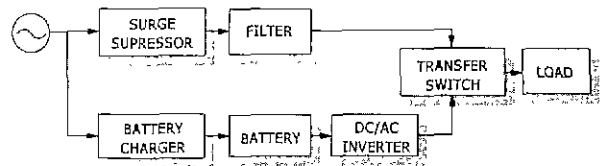


그림 1 일반적인 UPS 블록도

### UPS Topologies

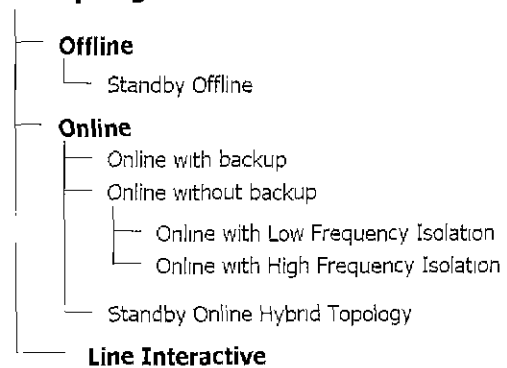


그림 2 UPS 주 회로구성에 의한 분류

를 통해 전력이 공급된다면 이는 Standby UPS 시스템이라고 하고, 이와 반대로, 상용 AC 입력전원이 정상 시 또는 정전시, 충전기, Battery, 출력인버터를 통해 부하로 전력을 공급한다면 이를 On-Line UPS 시스템이라고 한다. 이들 UPS 주 회로 구성에 대한 분류를 그림 2에 나타냈다.

### 2.1 Standby Off-Line UPS 주 회로 구성

Standby 모드에 있어서 충전기의 용량은 Battery를 충전

하기 위한 전력만을 감당하면 되므로 작게 설계되어 적용 할 수 있다. 하지만, Standby 모드 UPS는 정전 시, 상용 AC 입력전원에서 Battery 및 출력인버터로 대체 할 전환시간 (Transfer Time)이 존재하게되는 단점이 있다

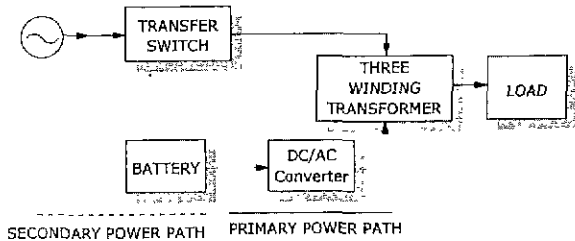


그림 3 Standby Ferro UPS 주 회로구성도

Off-Line UPS의 일종으로 그림 3에 나타난 3전선 변압기로 구성된 Triport UPS는 정상상태에서는 Triport 변압기를 통해 상용 AC 입력전원에서 부하로 직접 전력을 공급하고, 정전 시 Battery 에너지를 출력인버터를 통해 부하로 공급하는 UPS이다. Triport UPS는 전압제어조절기로서 변압기를 사용하는 Ferro-Resonant 기술을 적용한 회로이지만, 정전압 변압기(CVT)를 사용한 Triport UPS 시스템에 있어서 거의 주기적인 진동의 불안정성 문제가 발생하는 등 단점이 있다. 특히 경 부하에서 시스템 안정을 위해 더미(Dummy) 부하저항 사용을 요구하므로 효율저감과 시스템의 온도상승의 원인이 되기도 한다.

### 3. On-Line UPS 특성

그림 4에 나타난 On-Line UPS 시스템의 특징은 다음과 같다.

- 정전 시 및 고장 시 시스템구성과 관련된 전환 시 지연시간이 없다.
- 정상동작동안, 상용 AC 입력전원에서 충전기와 출력인버터를 통한 AC 출력전력 공급제어(Power Flow)는 적용

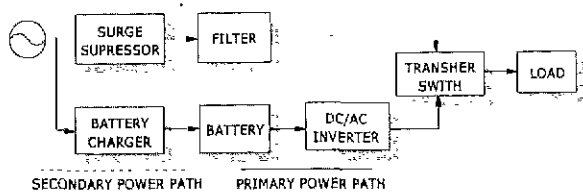


그림 4 On-Line UPS의 구성도

된 전력변환장치에 의한 추가적인 전력손실에 따라 Standby UPS와 비교하여 더 낮은 효율특성을 갖는다.

그림 5는 Bypass 기능이 없는 On-Line UPS 주 회로 구성으로서 UPS의 인버터/충전기 등의 고장시 상용 AC 입력전원으로부터 전력을 공급받을 수 있는 Bypass 기능이 없으므로 UPS는 Back-up Power를 제공할 수 없다 따라서, UPS의 가장 중요한 특성중 하나인 Redundancy 기능을 이 UPS에서는 제공할 수 없다.

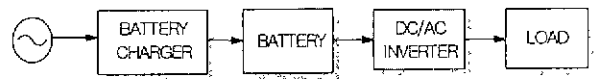


그림 5 Bypass 기능이 없는 On-Line UPS

#### 3.1 60Hz 저주파 절연변압기를 갖는 On-Line UPS

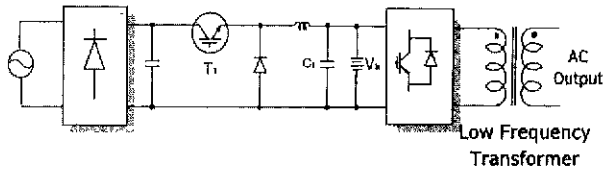
이 회로구성에 대한 특징은 출력에 60Hz 절연 변압기를 사용하고 있으므로 UPS의 무게와 부피를 증가시키는 단점을 갖는다. 하지만, 낮은 Battery Cell 전압과 신뢰성 및 적용의 용이성 때문에 일반적으로 UPS를 생산, 제조하고 있는 업체들이 선호하는 회로방식으로서 많이 적용되고 있는 주 회로 방식이다.

##### 3.1.1 강압 Buck 컨버터적용 UPS (Scheme 1)

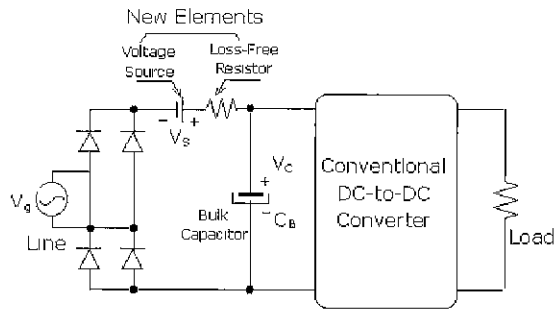
그림 6(a)에 나타난 주 회로는 정류된 AC 전압을 원하는 Battery Cell전압으로 낮추기 위해 강압 Buck 컨버터를 사용하고 있다. 이들 전압사이의 차가 크면 클수록 강압 Buck 컨버터의 동작주파 사이클이 적게되어 요구되는 필터의 사이즈가 증가되는 단점을 갖고 있고, 상용 AC 입력전원에서 다이오드에 의해 정류된 DC 전압을 강압하기 위해 Buck 컨버터를 사용함에 따라 입력 역률이 저하된다.

따라서, 그림 6(c)에 나타난 입력역률 개선 및 Battery에 강압된 전압으로 충전시킬 수 있는 입력역률 보정 기능을 갖는 강압형 Buck 컨버터 적용 UPS 시스템을 나타냈다.<sup>[2]</sup>

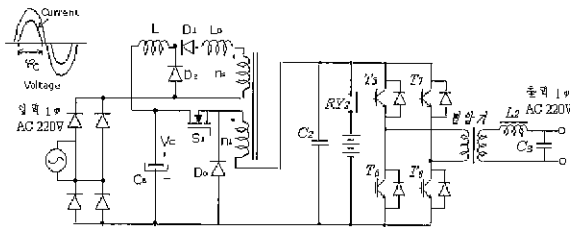
이 주 회로의 특징은 그림 6(b)에 나타난 바와 같이  $V_g$ 의 전압이  $V_c - V_s$ 보다 적다면 입력정류다이오드는 역 바이어스 되어 전류를 흘릴 수 없다. 하지만  $V_g$ 의 전압이  $V_c - V_s$ 의 전압보다 크다면 정류다이오드는 도통하기 시작하여 입력전류가 흐르기 시작한다. 따라서,  $V_s$ 의 전압을 조정하여 입력전압의 0전압 부근에서도 입력전류를 흘릴 수 있도록 제어한다면 IEC 1000-3-2의 고조파 규제를 만족시킬 수가 있다. 그림 6(c)은 이를 구현하기 위해 출력인덕터에 여분의 Coupling 인덕터를 적용하여 입력역률 개선 및 Battery에 강압된 전압으로 충전시킬 수 있는 강압형 Buck 컨버터이다.



(a) 기존 강압 Buck 컨버터적용 UPS



(b) 등가회로



역률보정기능을 갖는 Buck 컨버터

(c) 입력역률 보정 기능을 갖는 강압형 Buck 컨버터

그림 6 강압 Buck 컨버터적용 UPS(Scheme 1)

### 3.1.2 입력역률개선 Boost 컨버터적용 UPS (Scheme 2)

그림 7에 나타난 주 회로방식은 입력역률을 개선 및 AC 입력 전류를 Sine 정현 파형으로 개선하기 위해 입력 단에 승압 Boost 컨버터를 적용한 UPS 시스템이다. 승압 출력전압이 입력전압의 피크 값보다도 더 크므로 출력인버터는 높은 입력전압에서 동작되어 효율은 개선 될 수 있지만 낮은 Battery Cell 전압에 대응하기 위해 강압형 Buck 컨버터를 사용하여야 하는 단점을 갖고 있다. 여기서 승압 Boost 컨버터는 상용 AC 입력전원의 정전 시 동작되어 출력인버터에 높은 입력전원을 공급하도록 구성되어 있다. 따라서, 정전 시 승압 Boost 컨버터는 정격출력을 모두 감당하여야 하지만 충전 시 사용되는 강압형 Buck 컨버터는 매우 적은 정격의 용량만을 필요로 하게된다. 고주파 스위칭에 의한 동작에 따라 승압 Boost 컨버터와 강압형 Buck 컨버터는 Compact하게 Packaging을 할 수 있고 절연은 단지 출력에만 적용되고 있다. 하지만, 출력 측에 60Hz 상용변압기를 사용하고 있으며

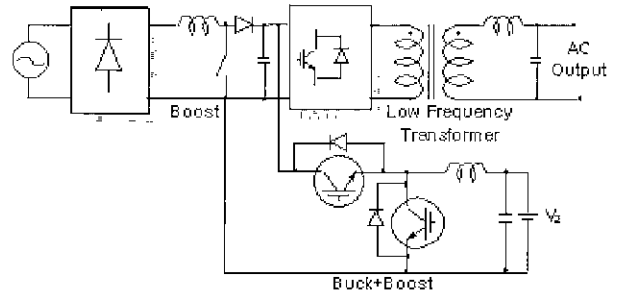


그림 7 입력역률개선 Boost 컨버터적용 UPS(Scheme 2)

로 크기 및 부피가 큰 단점이 있다.

### 3.2 컨버터와 인버터를 공용(共用)한 On-Line UPS (Scheme 3)

그림 8의 UPS 회로방식은 컨버터와 인버터를 공용으로 사용하기 때문에 다단으로 구성되어진 UPS 회로방식에 비해서 회로 구성이 간단하고 스위칭소자의 수를 저감 할 수 있는 새로운 UPS가 제안되어져 있다.<sup>[6]</sup>

이 회로의 동작특성은 상용 AC 입력전원의 +반주기동안 스위칭소자 S1, S2가 턴-온 되면 상용 AC입력전원에서 승압 인덕터 → 다이오드D5 → 스위칭소자 S1 → 상용 AC 입력전원 쪽으로 흐르면서 승압인덕터에 에너지를 축적하면서 전류는 상승하고, 스위칭소자 S2, S3가 턴-온 되면 Battery → 스위칭소자 S2 → 필터인덕터 → 변압기 → 스위칭소자 S3를 통해 Battery 전원을 출력 AC 부하로 에너지를 전달한다. 이때 승압인덕터에 축적된 에너지는 승압인덕터 → 다이오드 D5 → Battery 또는 부하로 축적된 에너지를 전달하면서 전류는 감소한다. 그리고, 상용 AC 입력전원의 -반주기동안은 스위칭소자 S3와 S4가 턴-온, 스위칭소자 S1, S4가 턴-온 하면서 앞서 설명된 같은 동작 Sequence를 갖는다. 이러한 동

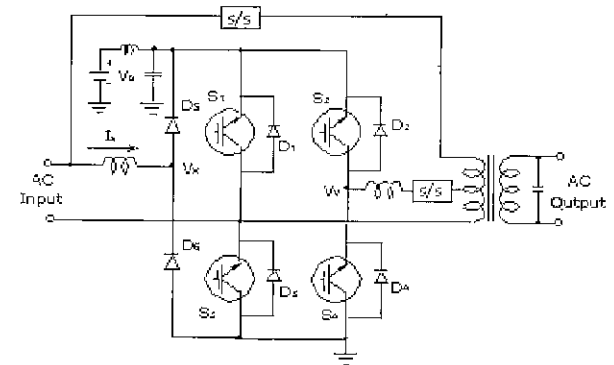


그림 8 컨버터와 인버터를 공용(共用)한 UPS 시스템(Scheme 3)

작특성에 따라 상용 AC 입력전원의 전류 파형 개선 및 입력 역률을 개선할 수 있다. 하지만, Battery의 정격전압이 입력 전압의 피크 값보다 커서 Battery Cell 전압이 상승되어 신뢰도 및 비용 등의 면에서 단점이 있다.

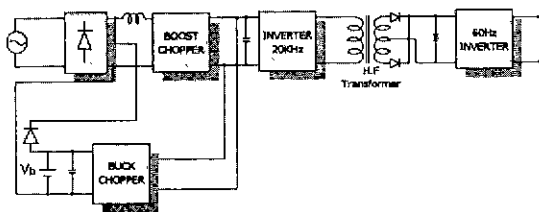
3.3 고주파 변압기 Link 방식 On-Line UPS

고주파변압기의 사용은 UPS의 무게 및 크기를 크게 저감시킬 수 있고, 부가적으로 출력인버터에 있어서 고주파 PWM 기술의 사용은 UPS에 있어서 필터의 크기 및 부피도 줄일 수 있다.

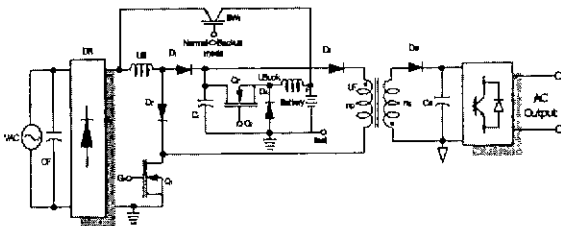
대부분의 현재의 Stack UPS는 이 범주에 속한다.

3.3.1 입력역률 개선 Boost 컨버터적용 UPS (Scheme 4)

그림 9에 나타낸 주 회로방식은 앞에서 기술한 Scheme 1, 2에서 60Hz 상용변압기 대신에 절연을 위해 고주파 변압기 Link 방식을 적용한 UPS 주 회로 구성도이다. 그림 9(a)에서 Battery는 낮은 전압정격이므로 승압 Boost 컨버터 출력전압에서 강압형 Buck 컨버터를 통해 Battery에 충전되고 이때 Buck 컨버터의 용량은 매우 적다. 주 회로에서 승압 Boost 컨버터는 Scheme 2에서처럼 입력역률 1제어 및 정현파 입력전류 파형을 보정 해 주는 역할을 한다. 동일한 승압 Boost 컨버터는 상용 AC 입력전원의 정전 시 Battery로부터 DC Link 전압으로 승압하여 충전되도록 동작된다. 시스템의 효율은 이 모드동안 높지 않지만, 정상동작동안 상용 AC 입력전원에서 단지 4개의 전력변환 단만을 포함하여 부하에 AC 출력을 제공하므로 시스템효율은 높다.



(a) 입력역률개선 Boost 컨버터적용 UPS



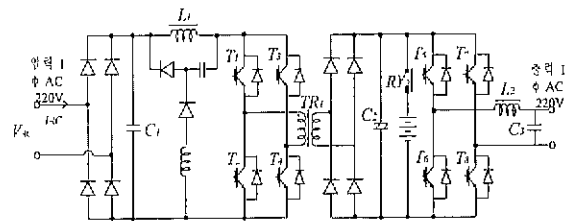
(b) Single-Stage Single-Phase UPS

그림 9 입력역률개선 Boost 컨버터적용 UPS (Scheme 4)

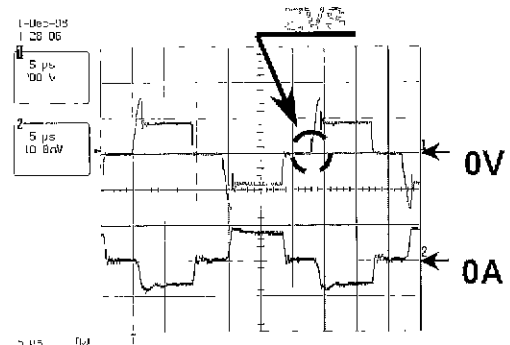
그림 9(b)는 소형, 경량화에 적합한 한 개의 스위칭소자만을 적용한 단일 전력 단으로 구성된 AC/DC 컨버터적용 UPS의 경우 Packaging 크기 및 비용절감을 제공해 줄 수 있는 회로의 한 예이다. 3개의 전력변환 단만을 포함하여 상용 AC 입력전원에서 AC 출력을 부하에 제공 할 수 있으므로 더욱 간소화된 UPS 주 회로 구성이라 할 수 있다.

3.3.2 절연된 단일출력 단 Full-Bridge AC/DC 컨버터 적용 UPS (Scheme 5)

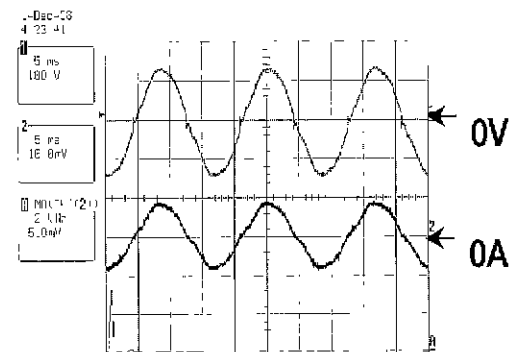
그림 10에 나타낸 UPS 주 회로 구성은 풀-브리지 회로와



(a) 전류원 풀-브리지 AC/DC 컨버터적용 UPS



(b) 고주파변압기(TR1) 1차 측 전압, 전류 파형 (200V/div, 20A/div, 5µs/div)



(c) 상용 AC 입력전압, 전류파형 (100V/div, 20A/div, 5µs/div)

그림 10 단일 출력 단 전류원 풀-브리지 AC/DC 컨버터적용 UPS (Scheme 5)

고주파변압기를 사용한 절연된 단일 출력 단 전류원 풀-브리지 AC/DC 컨버터와 Battery 및 출력인버터로 구성되어 있다.<sup>[7-8]</sup> 여기서, 전류원 풀-브리지 컨버터의 게이트신호를 적절하게 제어 해줌으로써 입력역률 0.95이상, THD 5% 이하로 입력전류를 입력 상 전압과 동상인 정현 입력전류 파형으로 제어할 수 있고, 출력 DC Link 전압은 전압 피드백에 의해 일정 정전압으로 Battery를 충전할 수 있다.

이와 같은 주 회로구성의 UPS는 높은 입력역률을 뿐만 아니라 60Hz 변압기를 50kHz 이상의 고주파 변압기로 대체함으로써 소형, 경량화 및 고효율, 빠른 응답특성 등과 같은 바람직한 특성을 갖고 있으나 Battery 전압이 높은 것이 하나의 단점이다. 따라서, LC 필터를 갖는 출력인버터는 높은 DC 입력전압에서 동작된다.

여기서, 단일 출력 단 풀-브리지 AC/DC 컨버터는 전류원 이므로 스위칭동작에 있어서 승압인덕터 L1에 흐르는 전류가 바로 고주파변압기를 통해 2차 측으로 에너지를 전달하기 어렵기 때문에 스위칭 동작 시 승압인덕터 L1에 흐르는 전류의 저(低) 임피던스경로 제공 및 이에 따른 서지 전압을 억제할 수 있는 무손실 스너버가 필요하고, 특히, 정적부하에서 정지 시 및 Fault 시 승압인덕터 L1 전류는 연속해서 흐르고있으므로 T1-T4를 전부 오프 하면 L1에 축적된 에너지의 전류 경로가 없으므로 스위칭소자 양단에 큰 전압이 발생하여 T1-T4를 파손시킨다. 따라서, 정지신호를 받으면 우선, Boost 모드의 듀티비를 영으로 저감시키고, 0.5이하의 Buck 모드로 듀티비를 계속 저감시키면서 승압인덕터 L1에 축적된 에너지를 저감시키는 동작이 필요하다. 그후에 T1-T4를 전부 오프 시키면 정지 시 승압인덕터 L1에 의한 서지 전압의 발생을 막을 수 있다.

기동 시에 있어서도 Boost 컨버터의 출력콘덴서 C2는 방전상태이므로 바로 0.5이상의 Boost 모드로 동작 시 승압인덕터 L1의 전류는 계속 증가하여 승압인덕터와 고주파변압기를 포화에 이르게 할 수 있으므로 기동 시에 우선, 듀티비가 0인 Buck 모드의 상태에서부터 서서히 각 스위칭소자의 (T1-T4)의 듀티 증가시켜, L1의 전류를 억제한 상태에서 출력콘덴서 C2의 요구된 출력전압에 달하도록 제어 해주어야 한다.

### 3.3.3 강압 Buck 컨버터적용 UPS (Scheme 6)

그림 11에 나타낸 UPS 주 회로구성은 요구된 낮은 Battery 전압을 맞추기 위해 입력 단에 강압 Buck 컨버터를 적용하고 있다. 낮은 Battery Cell 전압은 고주파 인버터와 변압기를 통해 높은 전압으로 승압되고 출력인버터는 높은 입력전압과 높은 효율특성을 가지고 동작된다. 하지만, 이 UPS 주 회로 구성의 단점은 전력을 처리하는데 5단계를 거쳐야하는 복잡한 구조를 갖는다.

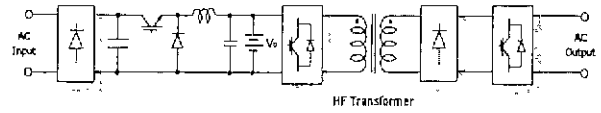


그림 11 강압 Buck 컨버터적용 UPS (Scheme 6)

### 3.3.4 H·F 및 L·F 변압기 적용 UPS (Scheme 7)

그림 12에 나타낸 주 회로 구성은 Battery 입·출력 에 각각 절연된 고주파 변압기 및 상용 AC 변압기를 갖고 있다. 이는 앞 Scheme 6에 나타낸 Buck 컨버터를 제거하고 고주파 변압기를 갖는 고주파 컨버터 Link 방식이 적용된 UPS 시스템이다.

이 Scheme의 단점은 출력인버터가 낮은 입력전압에서 동작되므로 시스템 효율이 좋지 않다.

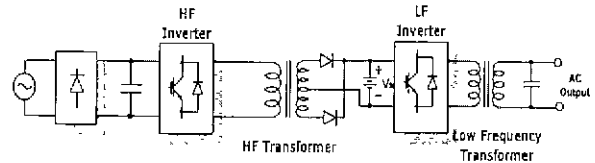


그림 12 H·F 및 L·F 변압기 적용 UPS (Scheme 7)

### 3.3.5 Boost 컨버터와 L·F 변압기적용 UPS (Scheme 8)

그림 13에 나타낸 UPS 주 회로 구성방식은 낮은 출력전압을 제어하는 고주파 스위칭 및 변압기적용 승압 Boost 컨버터를 사용하고 있다. 승압 Boost 컨버터는 입력 역률을 1제어함과 동시에 정현 입력전류 파형으로 보정 할 수 있다. 하지만 출력인버터가 낮은 Battery 전압에서 동작되어 상용변압기를 통해 출력해야 하는 단점을 갖고 있다.

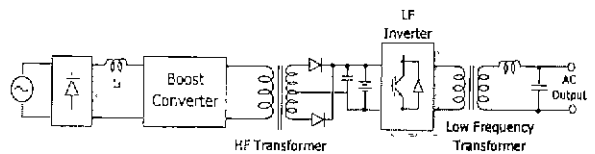


그림 13 Boost 컨버터와 L·F 변압기적용 UPS (Scheme 8)

### 3.3.6 Boost 컨버터 및 Buck/Boost 컨버터적용 UPS (Scheme 9)

그림 14에 나타낸 주 회로방식은 Scheme 2, Scheme 5와 Scheme 7의 바람직한 장점을 취하여 결합된 UPS 주 회로 구성도이다. 승압 Boost 컨버터에서 입력역률 개선 및 파형 개선과 출력인버터도 높은 입력전압에서 동작될 수 있는 특

정을 갖고 있다. Battery는 Buck 컨버터와 Boost 컨버터에 의해 각각 충전 및 방전을 함으로서 연결되고, 절연은 고주파 빈압기를 적용하고 있기 때문에 Compact한 Packaging을 구현할 수 있다.

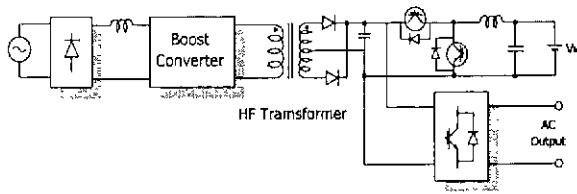
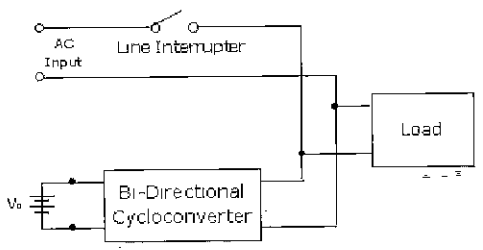


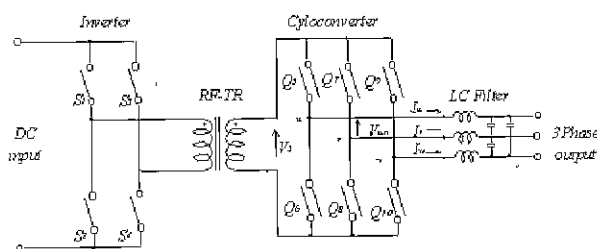
그림 14 Boost 컨버터 및 Buck/Boost 컨버터적용 UPS (Scheme 9)

### 3.4 Line Interactive UPS

이 회로 구성의 블록 도를 그림 15(a)에 나타냈다. 사이클로 컨버터(Cyclo-converter)의 주 회로구성은 그림 15(b)에 나타냈다<sup>6)</sup> Battery와 양방향(Bidirectional) 사이클로 컨버터(Cyclo-converter)가 항상 UPS 출력에 연결되어 있어 Battery 충전은 정상 시, 상용 AC 입력전원으로부터 컨버터로 정류하여 충전되어 동작되고, 부하는 직접적으로 상용AC 입력전원에 연결되어 공급된다. 정전 시 때는 절환스위치(Transfer Switch)가 Open되고, 전력공급은 Battery에서 부하로 전원이 연결된다. 인버터가 항상 동작되고 있으므로



(a) Hybrid Standby On-Line UPS



(b) 사이클로 컨버터(Cyclo-converter)적용 UPS

그림 15 Line Interactive UPS

Standby UPS에 비교하여 보다 나은 스위칭과도 응답제어를 제공한다. 또한, Battery 절연은 양방향 전력수수가 가능한 사이클로 컨버터(Cyclo-converter)에 있는 고주파빈압기에 의해 제공된다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 UPS의 주 회로 개발동향과 동작특성, 크기 및 절연관계와 소형, 경량화 등의 여러 면을 검토했다. 앞으로 UPS의 고 효율, 소형 경량화를 위한 참신한 아이디어를 갖는 주 회로개발에 대한 노력이 절실히 필요로 하는 시점인 것 같다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Krishnan; S. Srinivasan, "Topologies for Uninterruptible Power Supplies", IEEE, ISIE p.p 122-126, Sept, 1993.
- [2] A. Fernandez, J. Sebastian, "AC-TO-DC Buck Converter with Active Input Current Shaper", IEEE APEC'99, pp. 369~374.
- [3] Praveen K. Jain; Jose R/ Espinoza; Hua jin. "Performance of a single-Stage UPS System for Single-Phase Trapezoidal-Shaped AC-Voltage Supplies", IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 13, NO. 5, sept 1998.
- [4] Elias Rodriguez; David Abud; Jaime Arau, "A Novel Single-Stage Single-Phase DC Uninterruptible Power Supply with Power-Factor Correction", IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL. 46, NO. 6, dec. 1999.
- [5] Divan, D.M., "New topology for single phase UPS systems", IEEE Industry Applications/24th IAS Annual Meeting, part-1, pp. 931~936, Oct. 1989.
- [6] Mikihiko Matsui; Masaki Nagai; Masayuki Mochizuki; Akira Nabae, "High-Frequency Link DC/AC Converter with Suppressed Voltage Clamp Circuits Naturally Commutated Phase Anhle Control with Self Turn-Off Devices", IEEE Transactions on Industry Applications, VOL.32, NO. 2, march/april. 1996.
- [7] 김은수, 조기연, 김윤호 외 "무손실스너비적용 소프트 스위칭 Single Stage AC-DC Full Bridge Boost 컨버터", 전력전자학회 논문지 제4권 제4호, 1999년 8월, pp. 377~383.

- [8] Katsuya Hirachi; Yasuhiro Arai; Junji Yoshitsugu; Laknath Gamage; Mutsuo Nakaoka. "A Feasible High-Performance Single-Phase UPS Incorporating Switched Mode Rectifier With High-Frequency Transformer Link", IEEE, ISIE, p.p 792-797, may, 1997

〈 저 자 소 개 〉



김은수(金恩洙)

1964년 3월 26일생 1986년 중임대 공대 전기 공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국전기연구소 산업전기연구단, 전력 전자연구그룹 선임연구원