

무정전 전원장치 효율 향상에 대한 연구

Efficiency Improvement of Uninterruptible Power Supply Systems

오홍일, 권종원*, 박용만, 오드게럴, 김희식
 Heungil Oh, Jongwon Kwon*, Yongman Park, Odgerel, Hiesik Kim

Abstract - An efficiency improving method for Uninterruptible Power Supply System(UPS) was developed by using OP-AMP based application circuits such as voltage detection device, current detection device and static switch control device. The efficiency improving algorithm was made by mixing the operating concepts of On-Line type UPS with the operating concepts of Off-Line type UPS. The UPS' inverter does not work if the UPS' output load current is not higher than the low load operating current which is about 0~30(%) of the UPS' output load capacity. The low load operating current is adjustable within the half of the UPS' output load capacity. If the UPS' output load current is rising over than the low load operating current, the UPS' inverter starts working and the inverter output power feeds to the loads of UPS. If UPS' input power breaks out while UPS' inverter does not operate because the load current is low, the inverter starts working within 4(ms) with excessive output voltage which is $\pm 8(\%)$ of normal UPS' output voltage. Like these, UPS can continuously feeds power to it's load device and reduce power consumptions.

Key Words : UPS, OP-AMP, Inverter, On-Line, Off-Line, SCR

1장. 서론

무정전 전원장치는 고도 정보화 사회로의 발전과 전자 응용기기의 보급 확대에 따라 정전사고, 순간정전, 전압변동, 주파수 변동, Surge Flicker 등에 대한 대책으로서, 컴퓨터, 방송통신기기, 관제·관리시스템, 발전소 계측장비설비, 공장의 제조설비, 비상용 등의 비상 전원으로서의 중요한 역할을 다하고 있다.

UPS는 구성 및 운전개념에 따라 크게 3가지로 분류된다. 정상적인 상용전원 인입 시에는 직접 상용 전원을 부하에 공급하고 있다가 정전 시에만 인버터가 동작하여 부하에 인버터전압을 공급하는 Off-Line 방식, 상용전원 입력에 관계없이 항상 인버터가 동작하여 부하에 안정된 인버터 전압을 공급하는 On-Line 방식, 상용전원 인입 시에 인입되는 상용전원이 변압기를 거쳐 부하 측에 공급되는 Line Interactive 방식이 있다.

위의 3가지의 UPS 운전방식 중 산업 현장에서 일반적으로 적용되는 방식은 On-Line 방식이다. On-Line 방식은 UPS가 동작하는 한 부하 측으로 항상 안정된 인버터 출력을 공급할 수 있다는 장점이 있으나 UPS의 인버터 부가 항시 동작하고 있어야 하므로 UPS를 구성하는 IGBT, FAN, 변압기 및 제어회로들의 장기간 사용에 따른 특성열화를 발생시킨다. 이러한 특성열화 현상은 UPS의 주요한 고장원인이다. 따라서 On-Line 방식 UPS는 주기적인 유지 보수를 필요로 한다.

본 연구에서는 이와 같은 On-Line 방식 UPS의 단점을 극복하기 위해 On-Line 방식 UPS에 Off-Line UPS의 운전 개념을 적용하여 운전효율을 개선하였으며UPS를 구

성하는 IGBT, Fan, Transformer 및 제어회로들의 가용 수명을 연장하였다. 알고리즘 구현을 위해 Transformer를 이용한 입력전압 감시회로, CT(Current Transformer)를 이용한 출전전류 감시회로 및 무순단 절체를 위한 Static Switch 제어회로를 설계·제작하였다.

2장. UPS 시험기준 및 환경

2.1 UPS 시험기준

주요 시험규격은 UPS에 관한 한국표준규격(KSC 4310-2003-09)을 사용하였다. UPS와 관련된 많은 기술기준이 있지만 본 연구에서는 대기전력 절감 기능과 직접 관련이 있는 규격만을 시험기준으로 채택하였다. 표 1은 대기전력 절감형 UPS의 주요 시험기준을 나타낸다.

표 1 주요 시험 기준

| 항목 | 규격 |
|-------|---|
| 과도 응답 | UPS의 출력이 By-pass 상태에서 인버터 상태로 절체되는 순간에 발생하는 과도전압은 UPS 정격출력전압 $\pm 8(\%)$ 이내여야 한다. |
| 회복 시간 | 과도전압이 발생하였을 경우 과도전압은 100(ms)이내에 정격 출력전압으로 안정화 되어야 한다. |
| 동기 절체 | By-pass 출력상태에서 인버터 출력상태로 전환될 때 소요되는 절체시간은 4(ms) 이내여야 한다. |
| 부하 감시 | UPS는 부하 량을 감시하여 부하 량에 따라 인버터의 기동·정지가 가능하여야 한다. |

저자 소개

* 오홍일 : 韓國電力技術株式會社 技術員

2.2 시험환경

그림 1은 대기전력 절감형 UPS의 전기적 특성을 시험하기 위한 계측기 및 전원공급 설비들의 구성도이다.

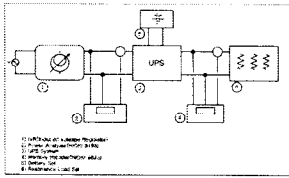


그림 1. 시스템 시험환경

UPS 입력전원은 전력계통에서 IVR(Induced Voltage Regulator)를 거쳐서 인가된다. 유도형 전압조정기인 IVR은 입력단의 전력계통 전압을 0~100(%) 까지 가변할 수 있으며 UPS 입력전압을 정격 AC 220(V) ±10(%)으로 가변 하는 목적으로 사용된다. UPS 입력 단에는 Power Analyzer(HIOKI 3193)가 설치된다. Power Analyzer는 UPS의 저부하 운전모드 상태에서 UPS 소비전력 측정을 목적으로 목적으로 사용되며 입력역률, 과형왜율 등을 측정할 수 있는 기능을 가지고 있다. UPS 출력 단에는 저부하 운전모드에서 입력정전이 발생하였을 경우 UPS 출력이 By-pass 출력 상태에서 인버터 출력 상태로 절체될 때 소요되는 절체시간 및 과도전압 측정을 목적으로 하는 Memory Hicoder(HIOKI 8835)가 설치된다. 또한 UPS 출력 단에는 부하를 인가하기 위한 코일 부하세트가 설치된다. 코일부하는 200(W) 3조, 500(W) 3조, 1(KW) 10조로 구성되어 약 12(KW)의 부하를 인가할 수 있으며 코일 부하는 전류와 전압의 위상이 동상인 선형 부하특성을 가진다. UPS의 입력전원이 상실되었을 경우 UPS 배터리 입력단자에 연결되어 있는 연속전지 세트가 DC 192(V) 전압을 UPS로 공급한다. 연속전지 세트는 DC 12(V) 배터리 16조가 직렬 연결된 형태이다.

3장. UPS 운전효율 향상 알고리즘 및 주요회로

3.1 효율향상 알고리즘

그림 2는 효율개선 알고리즘을 적용한 UPS의 운전상태도를 나타낸다.

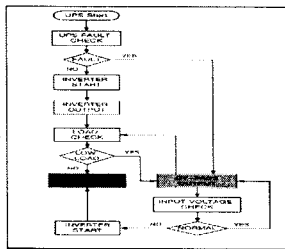


그림 2. UPS 운전상태도

UPS는 수동동작 스위치에 의해 정상적으로 기동된다. UPS 기동 후 20(Sec)가 경과하면 부하전류 감시회로가

부하전류를 측정한다. 측정된 전류를 가변저항을 사용하여 조정 가능한 기준저부하량과 비교한다. 현재 UPS의 출력부하량이 설정되어 있는 기준저부하량 보다 크면 UPS는 인버터 출력운전 상태로 운전된다. 그러나 출력부하량이 설정되어 있는 기준저부하량 보다 작을 경우 UPS는 비상 인버터 기동대기 상태로 들어가며 UPS는 By-pass 출력 상태로 운전된다.

비상 인버터 기동대기 상태에서 UPS 입력전압 상실시에는 UPS 인버터가 기동되어 출력 부하 측에 안정된 인버터 전압을 공급한다. 순간적인 인버터 기동 시 소요시간은 4(ms)이내 이며 발생하는 과도전압은 정격출력전압 ±8(%) 이내이다. 또한 비상 인버터 기동대기 상태에서 부하전류가 설정되어 있는 기준저부하량 보다 상승하면 UPS는 약 20(Sec)의 기동소요 시간을 가지며 인버터 출력전압을 부하 측으로 공급한다.

이와 같은 운전방식을 UPS에 적용하게 되면 심야시간 및 휴일 등과 같이 사용자 감소로 인한 UPS의 부하량 감소 시 UPS는 By-pass 출력상태로 운전되어 인버터 기동에 따른 전력손실 방지 및 UPS를 구성하는 IGBT, 변압기, 제어보드 및 구동부의 운전시간을 단축시킬 수 있어 유지보수 비용 및 전기세를 절감하여 운전효율을 증가시킬 수 있다.

3.2 부하전류 감시회로

부하전류 감시회로는 UPS의 부하 량을 측정하여 기준저부하량과 비교한다. 비교한 결과 현재 부하 량이 기준저부하량 보다 크면 인버터를 기동시킨다.

3.2.1 입력전압 감시회로

입력전압 감시회로는 상시에 UPS의 입력전압을 감시하며 입력 정전 발생시 인버터를 순간기동 시킨다.

3.2.2 Static Switch 제어회로

Static Switch 제어회로는 UPS의 출력을 By-pass상태에서 인버터 상태로 상호 변환시킨다.

4장. UPS 효율향상 실험

4.1 동기절체 시간 측정

비상 인버터 동작 대기상태에서 입력정전 발생시 By-pass 출력상태에서 인버터 출력상태로 절체될 때의 절체 소요시간을 Memory Hicoder를 사용하여 측정하였다.

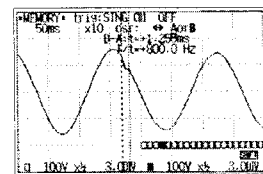


그림 3. 비상 인버터 절체시간 측정

절체소요 시간은 1.25(ms)로 기준치 4(ms)를 만족함을 확인할 수 있다

4.2 과도전압 및 회복시간 측정

그림 4 및 그림 5의 상부는 UPS 입력전압 파형이며 하부는 UPS 출력 전압파형이다.

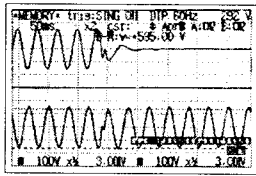


그림 4. 입력정전 발생 순간의 출력전압 전압 파형

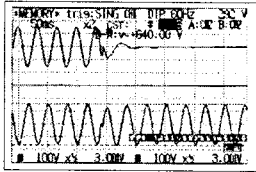


그림 5. 회복시간 경과 후 출력전압 파형

그림에서 보면 비상인버터 동작 대기상태에서 입력정전이 발생한 순간의 UPS 출력전압은 595(V)이다. 이후 인버터가 순간기동 되었을 때 UPS 출력전압은 640(V)이다. 두 전압 값을 이용하여 정전순간(T=0)에 발생하는 과도전압은 다음과 같다.

$$\text{과도전압} = \frac{595 - 640}{640} \times 100 = -7.03(\%)$$

정전순간에 발생한 과도전압 -7.03(%)은 기준치 정격전압 ±8(%)을 만족함을 확인할 수 있다.

그림 9로부터 정전 발생 후 UPS의 출력전압이 정격전압으로 안정되는 시간이 출력 전압파형의 1 Cycle(16.7(ms))이내 임을 확인할 수 있다. 따라서 과도전압 발생 후 정격 출력전압으로 안정화 되는 회복시간 기준 100(ms)을 만족함을 알 수 있다.

4.3. UPS 소비전력 측정

| | | | |
|----------------------|------------|----------------------|------------|
| Voltage: | 359.9 Vrms | Voltage: | 259.9 Vrms |
| Phase A-B: | 99.2 Vrms | Phase A-B: | 259.7 Vrms |
| Phase B-C: | 359.2 Vrms | Phase B-C: | 359.9 Vrms |
| Phase C-A: | 259.4 Vrms | Phase C-A: | 357.2 Vrms |
| Unbalance: | 0.6% | Unbalance: | 0.5% |
| Current: | 1.5 A rms | Current: | 2.5 A rms |
| Phase A: | 0.7 A rms | Phase A: | 1.1 A rms |
| Phase B: | 1.0 A rms | Phase B: | 1.5 A rms |
| Phase C: | 0.3 A rms | Phase C: | 1.7 A rms |
| Unbalance: | 23.6% | Unbalance: | 21.9% |
| Power: | 215.7 W | Power: | 435.3 W |
| Watt-amps: | 529.3 VA | Watt-amps: | 601.5 VA |
| W Reactive: | 1.3 VAR | W Reactive: | 41.9 VAR |
| Power factor: | 0.41 PF | Power Factor: | 0.69 PF |
| Displacement factor: | 1.00 DPF | Displacement Factor: | 1.00 DPF |
| Current Load/Lag: | | Current Load/Lag: | |
| A Current Load: | 29° | A Current Load: | 13° |
| B Current Load: | 29° | B Current Load: | 29° |
| C Current Load: | 2° | C Current Load: | 4° |
| Voltage Sequence: | | Voltage Sequence: | |
| Positive: | 0.12 | Positive: | 0.12 |
| Zero: | 0.00 | Zero: | 0.00 |
| Negative: | 100.00 | Negative: | 100.00 |

그림 6. UPS 소비전력 측정

그림 10은 Power Analyzer를 사용하여 무부하 상태에서 UPS 자체 소비 전력을 측정된 데이터이다. 좌측은 비상인버터 기동대기 상태이고 우측은 인버터 기동상태이다. 좌측과 우측의 데이터에서 소비전력 값을 확인해보면 비상인버터 기동대기 상태 215.7(W), 인버터 기동상태 435.3(W) 임을 확인할 수 있다. 두 소비전력 값을 비교해보는 인버터 기동상태에서 소비전력이 219.6(W) 증가함을 확인할 수 있다. 따라서 대기전력 절감 알고리즘을 UPS에 적용하면 219.6(W)의 소비전력을 절감할 수 있음을 알 수 있다. 표 2 및 표 3은 대기전력 절감형 UPS의 전기적 특성 및 소비전력 절감 효과를 보여준다.

표 2 시험결과

| | 시험규격 | 시험결과 | 만족여부 |
|-------|------------|----------|------|
| 절체 시간 | 4(ms)이내 | 1.25(ms) | 만족 |
| 과도 전압 | ±8(%) 이내 | -7.03(%) | 만족 |
| 회복 시간 | 100(ms) 이내 | 16.7(ms) | 만족 |

표 3 소비전력 절감 효과

| | 인버터정지 | 인버터기동 | 절감전력 |
|---|----------|----------|----------|
| 소비 전력 | 215.7(W) | 435.3(W) | 219.6(W) |
| 연간 절감 소비전력량 P(Wh) = 219.6 × 24 × 365 ≈ 1,924(KWh) | | | |
| 연간 절감 전력요금 = 1924 × 606.8 ≈ 1,167,483(원) | | | |

5장. 결론

본 논문에서는 On-Line 방식 UPS에 부하 량에 따른 Off-Line 방식 운전개념을 적용하여 UPS 운전효율을 향상시켰으며 인버터를 구성하는 IGBT, Fan, Transformer 및 제어회로의 운전 시간을 줄임으로써 UPS 인버터부의 가용수명을 연장시켰다.

참고 문헌

- [1] 진영수, 김경태 “단상 PWM 컨버터의 역률 및 고조파 보상을 위한 교류전압 검출기가 없는 새로운 제어기”, 명지대학교 전기정보제어공학부
- [2] 정용채, “인버터 에어컨용 역률제어회로에 대한 연구”, 남서울대학교 전자정보통신공학부
- [3] Abraham I. Pressman, “Switching Power Supply Design”, McGraw-Hill, Inc., 1992
- [4] <http://hangangups.co.kr> UPS 제조사
- [5] <http://upskorea.com> UPS 제조사
- [6] <http://cafe56.daum.net> 전력전자 자료공유 사이트