

AVR 기능 부가 off-line UPS 설계

*이 성 희, *박 태 준, *이 진 희, *이 왕 하, **이 치 환
*포항산업과학연구원, **위덕대학교

Design of off-line UPS with AVR

*SeungHee Lee, *TaeJun Park, *JinHee Lee, *Wangha Lee **Chiwan Lee,
*Research Institute of Industrial Science and Technology, **Uiduk University

Abstract - In this paper, an off-line UPS with CVT(constant voltage transformer) is designed and the experimental result and problems of the designed UPS is given and discussed. This off-line UPS consists of triple-port CVT and PWM inverter which acts as charger and inverter. It can be evaluated in low price because having simple structure. It offers high performance because CVT restricts the short current automatically about two or three times of rated current, has nearly unit power factor and constant output voltage to varying input voltage. The weak points of this UPS are that the output voltage waveform is not perfect sinusoidal and has phase difference to input voltage. The experimental result and problems of the designed UPS is given.

1. 서 론

UPS(무정전 전원장치)는 전원의 안정성을 요구하는 현대 산업사회에서 중요성이 더해지고 있다. 그런데, 사용자 입장에서 UPS의 채용을 고려하면, 신뢰성과 가격이 문제가 되어 확대 적용에 장애가 되고 있다. UPS는 크게 on-line UPS와 off-line UPS로 구분되는데, on-line은 정전 외에 저전압, 과전압 등에 대한 대책이 강구되어 있지만 가격이 높고, off-line UPS는 가격이 저렴한 반면 정전시에 과도현상을 가지며 저전압이나 과전압에 대한 대책이 미흡한 면이 있다. on-line UPS의 고성능에 off-line UPS의 저렴한 가격이 확보된다면 수요가 확대되리라 생각된다. off-line UPS중에서 배터리 충전부와 인버터를 일체화하여 구조를 단순화시키고, 부가적인 기능을 추가한 UPS가 시도되고 있다.

본 논문에서는, CVT(constant voltage transformer)를 채용하여 AVR(auto voltage regulator) 기능을 부가시킨 off-line UPS를 제시하고, off-line UPS에 채용할 목적의 5kW 용량 CVT를 설계, 실험 결과를 통하여 신뢰성 검증, 문제점 및 문제점 보완 방안을 제시한다.

2. 이론적 배경

통상적인 UPS는 on-line UPS를 말하며, 충전부와 인버터부, 배터리 및 바이-패스 스위치 등으로 구성된다. On-line UPS의 출력은 항상 인버터부를 통하기 때문에 입력 전원의 변동에 영향을 받지 않는다. Off-line UPS는 on-line UPS와 유사한 구조를 가지나 정상시의 출력은 입력 전원이고, 정전시에만 배터리에 충전된 에너지를 인버터를 이용해 부하로 연결한다. 그러므로 off-line UPS는 정전 보상이 과도현상을 가진다.

Off-line UPS 중, 그림 1과 같이 충전부와 인버터부를 하나로 구성한 UPS가 있다. 인버터가 정상시에는 PWM 컨버터로 동작하여 배터리를 충전시키는 역할을 수행하

며, 정전시에는 PWM 인버터로 동작하여 부하에 안정적인 전력을 공급한다. 이러한 UPS는 충전부가 별도로 존재하지 않으므로 chargerless UPS라 한다. 인버터가 라인에 접속되는 방법이 두 가지가 있는데, 하나는 직접 연결되는 것이고 다른 하나는 변압기를 사용하여 연결되는 것이다. 직접 연결의 경우에는 APF 기능을 부가할 수 있고 배터리 전압이 비교적 높다. 변압기를 사용하여 연결하는 경우에는 입출력 접지 분리가 가능하고 배터리 전압을 낮출 수 있다. 만약 변압기가 CVT라면 AVR 기능을 가진다.

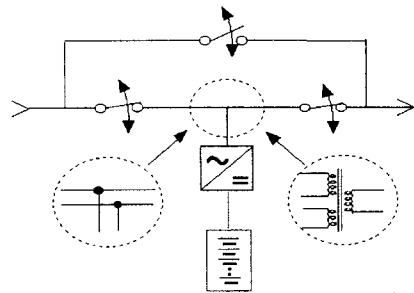


그림 1. Chargerless UPS의 구조

통상적인 변압기는 내부의 권선비에 따라 입력 전압 대비 출력 전압의 크기를 변환시키는 전기기로 산업설비에 필수적인 요소로 사용되고 있다. 그런데, 누설변압기의 일종인 CVT는 일정 전압 이상에서 포화되는 특성을 이용하여 일정범위 내의 입력전압에서 일정한 크기의 출력 전압을 발생시킨다. 이를 이용하여 AVR 기능을 수행시키거나, AVR 기능을 가지는 UPS의 한 부분으로 사용되기도 한다. CVT는 저전압이나 과전압이 입력될 때 정전압 출력 특성뿐 아니라, 부하 단락 전류가 정격 전류의 2~3배에서 제한되는 특성을 비롯하여, 0.95~0.99의 고역률을 가지며, 순시 정전이 발생하는 경우나 서지(surge)가 유입되는 경우에도 공진 특성으로 인해 출력 전압이 안정한 특성을 가진다. 이에 반해 몇 가지 단점이 있는데, 누설 자속이 존재하므로 동작 효율이 낮다는 점과, 자속 포화 특성을 이용하기 때문에 출력 전압이 완전한 정현파를 이루지 못한다는 점이다.

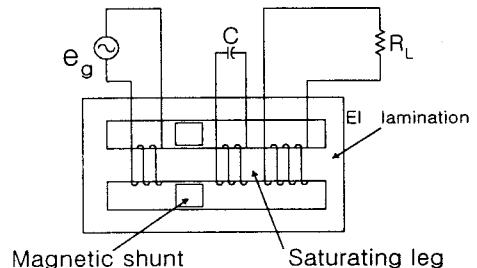


그림 2. CVT의 구조.

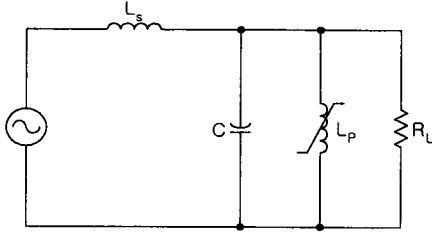


그림 3. CVT의 등가회로.

그림 2는 CVT의 기본 구조이고, 그림 3은 CVT의 등가회로이다. CVT의 코어는 E형 규소강판과 I형 규소강판을 결합하여 제작된다. 1차 권선과 2차 권선은 중간 leg에 권선되고 두 권선 사이에 magnetic shunt를 삽입하여 직렬 인덕터 L_s 를 구성한다. 2차 권선은 큰 용량의 C를 보상하기 위해 두 개의 권선으로 분리되어 권선되고, C의 접속은 저전압 권선에, 부하는 고전압 권선에 연결된다. 병렬 C의 VA 용량은 일반적으로 부하 용량의 2배를 취한다. 공진에 의한 2차측 출력 전압은 1-2차 권선비의 1.2배 이상 얻어지며, 이것은 동작시 2차측 권선의 자료가 포화됨을 의미한다. 1차와 2차 자료의 자속 차이분(difference)은 magnetic shunt를 통하여 흐른다. 외부의 leg는 중간 leg에 비해 자속 포화가 되지 않도록 큰 면적을 가지도록 설계된다. 중간 leg에만 자속 포화를 발생시키므로 일반적인 EI 코어에 비해 효율을 향상시킬 수 있다. Magnetic shunt의 공극은 적절한 인덕턴스 L_s 가 되도록 조정되어야 한다.

인덕터 L_p 는 2차 회로에 얻어지는 자화(magnetizing) 인덕턴스로 포화 영역에서 동작하게 된다. 부하에 병렬인 커패시터 C와 전원에 직렬인 연결된 인덕터 L_s 가 결합되어 철공진을 구성하는데, 철공진이 발생되는 최소 전압 이상에서 인덕터 L_p 의 임피던스는 감소하게 된다. 전압 조정은 입력 전압 증가에 대한 인덕터 L_s 양단의 전압강하 결과로 얻어진다. 무부하 상태에서 정격 주파수의 전압이 0에서부터 천천히 증가한다고 가정하면 입력 전류는 공진 전압 값에서 급격히 증가하게 된다. 이 점을 지나서는 다시 급격한 감소를 보인다. 그림 3의 등가회로에서 입력 임피던스는 다음 수식으로 주어진다.

$$x_{in} = x_s + \frac{-x_c x_p}{x_p - x_c} \quad (식 1)$$

CVT는 출력의 평균전압을 일정하게 유지하며 자속 포화는 출력 파형에 왜곡을 일으킨다. 실효전압은, 평균전압이 일정하지만, 입력전압에 따라 변화된다. 그러므로 CVT는 실효전압을 사용하는 부하보다 정류기와 같은 평균전압을 이용하는 부하에 적합하다. 일반적인 CVT는 입력 15%변화에 출력 1% 전압변화를 가진다. 일반 변압기와 같이 부하변동에 대한 전압제어는 이루어지지 않는다.

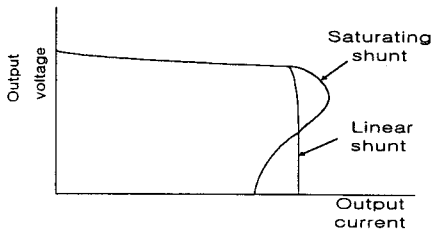


그림 4. CVT의 부하 특성 곡선. CVT의 부하 특성 곡선은 그림 4와 같으며 부하 단락

에 대해 전류제한 기능이 획득된다. Magnetic shunt의 단면적이 적은 경우, 포화 전압에서부터 전류의 제한점이 변화한다. Magnetic shunt의 크기가 선형적인 경우 제한 전류는 일정하지만 포화의 경우 비선형적인 특성을 보인다.

3. CVT 채용 Off-line UPS 설계 및 실험

5KVA 용량의 CVT를 기존의 E형과 I형 규소강판을 조합한 코어를 이용하여 설계하였다. 상세 설계는 표 1에 나타난 설정 파라미터를 근거로 하였다.

표 1. CVT 설계 파라미터

Item	Parameter	Symbol	Typical Range
1	Output-input Voltage Ratio	V_o/V_i	1.4 - 1.6
2	Power factor	$\cos\theta$	0.95 - 1.0
3	Short current Ratio	I_s/I_o	1.1 - 3.0
4	Shunt area ratio	A_{sh}/A_e	1 - 1.53
5	Capacitor VA/W	$\omega C V_o^2/W$	1.4 - 1.9
6	Resonance factor	$\omega^2 L_p C$	0.6 - 0.8
7	Flux density, output		1.94
8	Flux density, input		1.7
9	Insulation class	B,F,H	135-220 °C

입력 전압을 최대 240V로, 출력전압 220V, 5KW 인 경우 정격 부하전류는

$$I_o = \frac{5000}{220} \cong 22.7 [A] \quad (식 2)$$

이다. 인덕터 L_s 는 저전압이 정격의 75%까지 가정하면

$$L_s = \frac{220}{22.7} \times \frac{1}{2\pi f} \times 0.75 \cong 20 [mH] \quad (식 3)$$

로 주어지고 shunt의 단면적은 자료와 동일하게 한다. 코어는 S18 등급의 규소강판 EI 308mm를 두께 70mm로 적층하여 사용한다. 이때, 코어의 단면적은

$$A_e = 103 \times 70 = 0.0072 [m^2] \quad (식 4)$$

이다. 1차의 최대전압은 240V이므로 B_s 자속 밀도 1.7T로 두면 권선수는

$$N_1 = \frac{240}{4.44 \times 60 \times 1.7 \times 0.0072} = 73.6 < 76 [turns] \quad (식 5)$$

이므로 여유를 두어 $N_1=76$ 회로 한다. 정격전류는 22A이므로 코일은 $14mm^2$ 이다. 2차는 출력전압이 220V이므로

$$N_2 = \frac{220}{4.44 \times 60 \times 2.0 \times 0.0072} = 57.3 < 58 [turns] \quad (식 6)$$

이고, N_2 는 58회로 한다. 사용된 S18 코어의 포화 특성이 좋지 않은 결과 출력 파형이 구형파에 가깝지 않으므로 식(6)에서 계수 4.44를 적용했다. 출력 파형이 구형파에 가까울 때는 4.0을 적용하는 것이 적절하다.

$$R_o = \frac{220}{22.7} = 9.69 \cong 10 [\Omega] \quad (식 7)$$

커패시터 C는 정격 부하저항의 1/2정도이므로 용량이

500 μ F로 선정되었다.

$$C = \frac{1}{2\omega R_o} = 694 \approx 500 [\mu\text{F}] \quad (\text{식 } 8)$$

그림 5는 CVT가 채용된 off-line UPS의 구조를 나타내었다. 라인에 연결되는 단자와 부하에 연결되는 단자 외에 인버터로 연결되는 단자가 추가되었다. 인버터로 연결되는 단자는 라인에 연결되는 단자와 같은 leg에 권선되는데, 배터리 전압을 고려하여, 라인 전압이 220V인 경우 70V의 전압이 출력되도록 권선수를 조정하였다. 정상시에 인버터는 배터리의 충전 상태를 관리하는 기능을 수행하고 정전시에는 배터리의 전압을 이용하여 CVT의 1차측에 적절한 교류 전압을 공급하는 기능을 가진다. 인버터의 배터리 관리 기능 및 인버터 기능은 통상적인 PWM 컨버터 및 PWM 인버터 기법이 채용되었다.

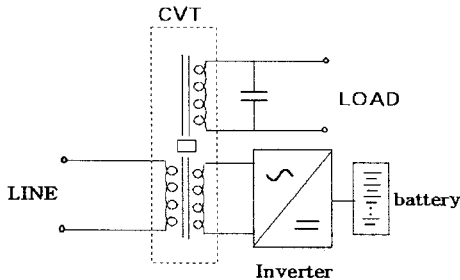


그림 5. AVR 기능 부가 chargerless UPS 구조

그림 6은 제작된 UPS의 정상시 입력 전류와 출력 전압의 파형을 나타낸 그림인데, 입력 전류와 출력 전압에는 약간의 위상차가 존재하고 왜곡된 정현파 형태이다.

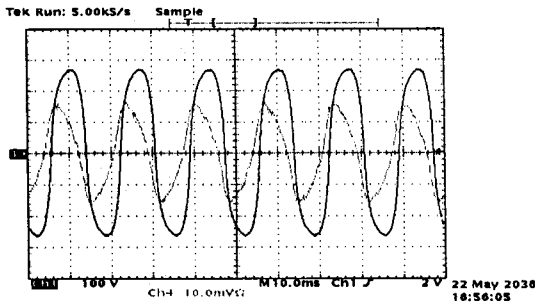


그림 6. 제작된 CVT의 입력 전류와 출력 전압 파형

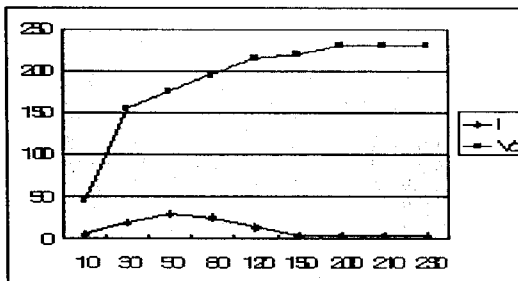


그림 7. 제작된 CVT의 입력전압에 대한 입력 전류 및 출력 전압 특성

그림 7은 입력 전압 변동에 대한 출력 전압 및 전류의

크기를 그래프로 나타내었다. 입력 전류는 초기부터 급격히 상승하여 50V 부근에서 최대점을 이루고 150V 정도에서는 정상상태에 이른다. 무부하 전류는 4A를 유지한다. 출력전압은 초기 입력전압 30V부터 150V 이상이 얻어지고 입력전압 150V부터 220V의 정격출력 전압이 얻어졌다. 입력전압이 180V에서 230V까지 변할 때, 출력전압은 230V로 고정되었다. CVT 동작중 진동음이 발생하였으며, 코어 발열 및 온도 상승은 아주 미진하였다.

UPS 동작은, 입력 전압이 150V 이상이고 240V 이하인 경우에는 CVT가 정전압 특성을 유지하고 이 외의 경우에는 라인 전압을 끊고 인버터가 동작하도록 설계하였다. 그리고, 라인 전압이 부하로 바이-패스 할 경우에는 위상차로 인해 임펄스 전류 등의 과도현상이 발생할 수 있는데, 이는 인버터의 주파수 조정으로 동기 후 바이-패스 절체되는 시퀀스를 구사하였다.

4. 결론

본 논문에서는, AVR 기능 부가 off-line UPS를 제시하고, AVR 기능 구사에 사용되는 CVT의 설계, 제작, 실험을 통하여, 설계 과정의 타당성을 보였다.

CVT를 채용한 off-line UPS는 단순한 구조로 저가격화가 가능하며, 고장률이 낮고, 부하 단락에 대한 대처, 정전압 출력 특성과 고역률 특성 등의 장점을 가진다. 문제점으로 입력 전압과 출력전압 사이에 위상차가 존재하여 바이-패스 절체시 문제 발생 가능성이 있고, 출력 전압 파형이 정현파가 아니다. 그리고, CVT는 무부하 전류를 소모하므로 정격 부하가 연결될 때 효율이 가장 높다.

제작된 AVR 기능 부가 off-line UPS는 동작시 약간의 진동음을 발생시켰는데, 진동음 저감을 위한 변압기 코어 고정과 magnetic shunt의 정확한 설치 방법에 관한 사항이 보완되어야 하고, 무부하 전류가 손실로 작동하는데, 무부하 전류 저감을 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 고려된다.

[참고 문헌]

- [1] Robert J. Kakalec, "A Feedback-Controlled Ferroresonant Voltage Regulator", *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol mag-6, No.1, pp4-8, March 1970.
- [2] Salvador Martinez and Manuel Castro, "Off-Line Uninterruptible Power Supply with Zero Transfer Time Using Integrated Magnetics", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol.36, No.3, pp441-445, August 1989.
- [3] R. Rando, "AC Triport - A New Uninterruptible AC Power Supplier", *proc. INTELEC*, pp50-58, October 1978
- [4] Wen Jung Ho, Jan Bin Lio and Wu Shiung Feng, "Economic UPS structure with phase-controlled battery charger and input-power-factor improvement", *IEE proc. Electr. Power Appl.*, Vol.144, No. 4, pp221-226, July 1997.
- [5] Thomas H. Sloane and Fereydoun Mekanik, "Effects of Line-Failure Phase Angle in Ferroresonant UPS", *IEEE proc.* 1996
- [6] William M. Franagan, "Handbook of Transformer Design and Application", *2nd Edition*, ISBN 0-07-021291-0, McGraw-Hill, 1992
- [7] Colonel Wm. T. McLyman, "Transformer and Inductor Design Handbook", *2nd Edition*, ISBN 0-8247-7828-6, Marcel Dekker Inc.