

UPS용 병렬공진형 직류링크인버터를 위한 제어방식에 관한 연구

⁰백 주 원*, 유 동 욱*, 민 병 권**, 류 승 표**

* 한국전기연구소 전력전자 연구부 전력변환팀 ** 현대중공업 중앙연구소 전력전자연구실

Control Strategy of Resonant DC Link Inverter for UPS

J.W. Beak*, D. W. Yoo*, B. G. Min**, S. P. Ryu**

* Power Conversion Team, Power Electronics Division, KERI

** Power Electronics Department, Hyundai Heavy Industry Central Research Institute

Abstract : A new control technique which generates high-quality sinusoidal output voltage from a single-phase resonant dc link inverter suitable for the UPS systems is presented. The inverter output voltage control system has the PID controller with a minor loop of the filter inductor current and the feedforward controller. The proposed control scheme also solves resonant voltage overshoot without any additional switch or passive component, resulting in pulses with uniform amplitude and high efficiency. Experimental results in the case of linear and nonlinear loads are presented to confirm the usefulness of the proposed control algorithms.

1. 서 론

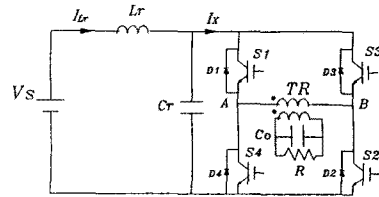
현재, UPS 시스템은 상용 전원의 정전, 고장등으로 부터 개인용 컴퓨터, 사무용 기기등의 보호를 위해 많이 쓰이고 있다. 따라서 그런 UPS 시스템은 매우 낮은 왜형율을 갖는 순수한 정현파가 되어야만 한다. 이러한 시스템들은 또한 비선형 부하에서도 출력 전압이 일정하게 유지되도록 제한되고 있다. 기존의 하드 스위칭 펄스폭 변조방식의 인버터는 위의 요건을 충족시킨다. 그러나 스위칭 손실에 의해 스위칭 주파수의 영역이 15에서 20 kHz로 제한되는 문제점이 있다. 이러한 상기의 문제점을 해결하면서 제한들을 충족시키기 위해 병렬공진형 인버터가 많이 연구되고 있다. 이것은 모든 스위치들이 영전압에서 스위칭하므로 스위칭 손실없이 고주파화하기가 용이하기 때문이다. 본 논문은 병렬공진형 직류링크 인버터를 위한 새로운 제어회로를 제시하며, 제어회로는 PID 제어기, 내부루프로서 필터 인덕터 전류제어기 그리고 두가지의 피드 포워드 루프를 갖는다. 그러므로 정현파 출력전압을 이 제어기를 통해 얻을 수 있으며 중요한 특징은 PID제어기의 이득이 기준전압에 따라 변하며 기준전압과 출력전류의 피드포워드 루프를 갖는다는 것이다. 따라서 비선형 부하에서도 낮은

THD와 균일한 출력전압을 얻을 수 있다. 또한 제어회로는 불규칙하게 공진전압이 입력전압의 3-4배이상으로 높게 나타나는 현상을 막기 위해 어떠한 소자를 첨가하지 않고 단지 제어회로에 의해 공진전압을 일정수준 이하로 제어하였다.

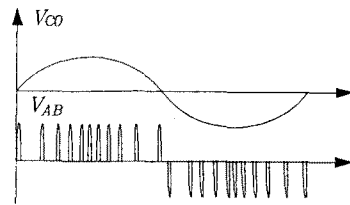
본 논문에서는 이러한 제어회로의 타당성을 검증하기 위해 5kVA급의 인버터 회로를 제작, 시험하였다.

2. 회로의 구성 및 동작원리

병렬 공진형 인버터는 공진부와 브릿지 회로부분 그리고 상용 주파수 변압기와 필터 커패시터로 구성되며 그림 1(a)에서 보여진다. 출력전압은 일련의 공진전압이 한 주기동안에 바라는 기본파 전압으로 합성되며 그림 1(b)에서 보여진다.



(a) 회로도



(b) V_{AB} , V_o

그림 1. 병렬공진형 인버터 회로도 및 V_{AB} , V_o 파형

3. 제어회로 구성

기존의 전압제어회로는 L, C 필터에 의해 제어입력과 출력전압 사이의 전달함수가 2차가 된다. 바라는 페루프 특성은 이 2차의 전달함수에 의해 어려워진다. 동작특성을 향상시키기 위해, 제시된 제어기는 내부 전류제어 루프와 외부의 출력전압제어 루프를 가진다. 그리고 출력 파라미터의 변동에 대처하기 위해 피드 포워드제어가 첨가된다. 이의 제어블록도가 그림 2에서 보여진다. 그리고 공진전압의 침투치 제한이 역시 제어회로를 통해 이뤄진다.

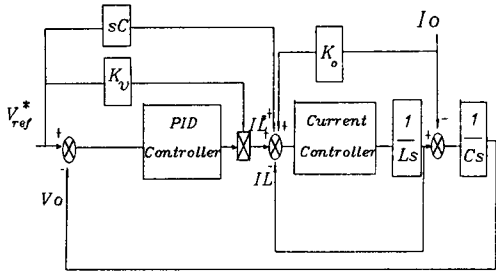


그림 2. 출력전압 제어시스템의 구성

3-1. 출력전압 제어 루프

출력전압 제어루프는 기본적으로 PID 제어기의 형태를 가진다. 전달함수는 다음식과 같이 주어진다.

$$G_{Pm} = (K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s) \frac{1}{(K_a s + K_b)} K_v$$

K_p : 비례이득 K_i : 적분 이득 K_d : 미분 이득
 K_a, K_b : 상수

K_v 는 기준전압에 따라 변한다. 그러므로 G_{Pm} 도 역시 기준전압에 의해 변화한다. 이것은 외부 출력전압제어루프인 PID 제어기가 전파정류형태의 이득모양을 가지는 형태이다. 이것은 soft start 동안에 인버터 시스템을 안정화시키는 효과를 갖는다. 그리고 무부하시에도 바라는 필터 커패시터의 출력전류를 얻기 위해 기준전압의; 피드 포워드 루프가 더해지며 비선형 부하에서의 동특성을 향상시키기 위해 부하전류 피드포워드 루프가 역시 더해진다.

3-2. 내부 전류제어 루프

그림 2에서 보여진 것처럼 전류제어기는 제어기에서 가장 중요한 부분이다. 이 전류제어기는 필터 인덕터의 전류를 등가적으로 제어되는 전류원으로 바꾼다. 따라서 출력전압과 제어 입력사이의 전달함수를 일차함수로 바꾸어 제어가 용이하게 된다. 전류제어

기는 비교기와 기준전압의 zero crossing detector 로 구성된다. 필터 인덕터 전류의 상태에 따라 4가지의 스위칭 상태가 존재하게 된다.

먼저, 스위칭 상태식을 다음과 같이 정의하면

$$S1 = \begin{pmatrix} S1 & S2 \\ S3 & S4 \end{pmatrix}$$

각 스위칭 상태식은 단락구간의에 다음과 같이 주어진다.

$$S1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ if } I_L^* > I_L, V_{ref} > 0$$

$$S2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ if } I_L^* > I_L, V_{ref} < 0$$

$$S3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ if } I_L^* < I_L, V_{ref} > 0$$

$$S4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ if } I_L^* < I_L, V_{ref} < 0$$

I_L^* : 필터 인덕터 기준전류, I_L : 필터인덕터 전류,

V_{ref} : 출력 기준전압

위의 식에서 볼 수 있듯이 출력전압이 기준전압을 넘어설때마다 환류모드로 동작함으로 출력전압 리플이 줄어들게 된다.

3-3. 공진전압 제어루프

모든 스위치가 턴 오프하거나 부하전류가 전원으로 회생할때 공진전압이 대단히 높게 나타나는 현상이 일어난다. 그러므로 공진전류의 제어가 위의 경우에서 필요하게 된다. 제시된 제어방식은 다음과 같은 제어규칙으로 동작한다.

(i) 환류동작으로 모드를 전환함, $I_L(t_0)$ 은 적절한 값으로 조정됨.

$$I_L(t_0) - I_x \geq I_p$$

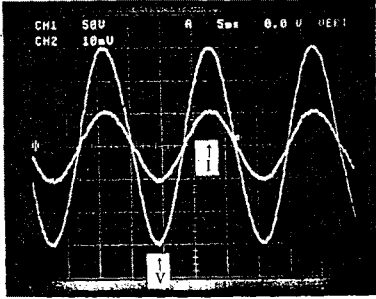
(ii) 환류모드로 동작함, 스위치들을 턴오프시킴.

$$I_L(t) - I_x \geq I_p$$

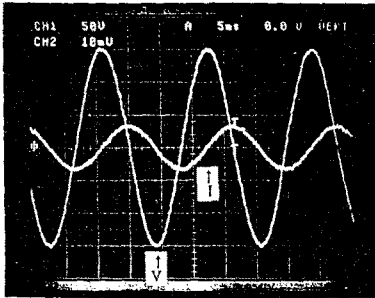
위의 제어규칙을 가지고 공진전압은 거의 균일한 전압으로 유지된다.

4. 실험 결과

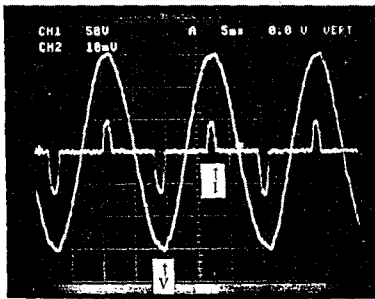
제시된 제어방식의 타당성을 입증하기 위해, 5kVA 의 RDCL 인버터가 제작, 시험되었다. 입력 250V의 직류에서 110V 의 교류 정현파 출력을 얻었다. 그림 3 은 여러가지 부하에서의 출력전압을 보여준다. 출력전압의 변동율은 1% 이내이며 파형의 THD는 2% 이내이다. 그리고 그림 4는 비선형 부하에서도 균일한 공진전압을 보여준다. 그러므로 위의 결과에서 비선형 부하에서도 시스템이 안정되며, 우수한 특성을 가짐을 볼 수 있었다.



(a) 저항부하



(b) 인덕터 부하



(c) 정류 부하

그림3. 각 부하에 따른 출력전압, 전류파형
(50V/div, 50A/div, 5ms/div)

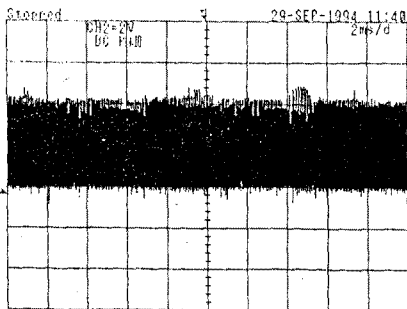


그림 4. 비선형 부하에서의 공진전압 파형 (240V/div, 2ms/div)

5. 결론

병렬공진형 인버터를 이용한 UPS용 고주파 인버터 시스템을 위한 제어방식이 본 논문에서 제시되었다. 내부전류제어 루프와 부하전류, 기준전압의 피드포워드 루프를 통해 제시된 제어기는 비선형 부하에서도 우수한 특성을 보였다. 그러므로 제시된 제어 방식은 UPS 시스템을 위한 병렬공진형 인버터에 매우 효과적인 것을 알 수 있었다.

6. 참고 문헌

- [1] D. M. Divan, "The Resonant DC link Converter - A New Concept in Static Power Conversion", IEEE-IAS Conference Record, 1986, pp648-656
- [2] D. M. Divan, T. M. Jahns, " Discrete PulseModulation Strategies for High-Frequency Inverter Systems", PESC 89, pp 1013 - 1020
- [3] R. C. Castanheira, B. J. Cardoso, B. R. Menezes, P. D. Garcia, A. F. Moreira, "A Control Technique to Eliminate Irregular Current and Voltage Pulses in Resonant DC Link Power Converters", PESC 94, pp671 - 676