

PWM 인버터 시스템의 영상전압 억제에 관한 연구

박찬근* · 이성근*

*한국해양대학교 전기공학과

A Study on the Rejection of Zero Phase Voltage of a PWM Inverter System

Chan-Kun Park* · Sung-Geun Lee*

*Dept. of Electrical Engineering, Korea Maritime University

E-mail : sglee48@hanara.kmaritime.ac.kr

요 약

본 논문에서는 고속의 전력용 반도체를 이용하여 직류-교류 전력변환을 행하는 전압형 PWM 인버터에서 발생하는 영상전압을 억제할 수 있는 회로시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 영상전압과 크기가 같고 역위상의 전압을 발생하여 이를 영상전압 억제용 변압기를 거쳐 인버터 출력에 중첩함으로써 부하에 인가되는 영상전압을 억제하였다. 이로 인해 영상전압분배에 의해 접지선으로 흐르는 고조파 누설전류의 감소효과를 가져왔고, 이에 대한 타당성을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a circuit system that is capable of rejecting the zero phase voltage produced by a inverter, which transform dc-ac power using high speed power semiconductor. It generates a rejecting voltage which has the same amplitude as, but the opposite phase to the zero phase voltage. The rejecting voltage is superimposed on the load line for rejecting of the zero phase voltage through a transformer. Simulation results show that the zero phase voltage applied to the load and ground current are eliminated.

I. 서 론

최근에 전력용 반도체 소자의 발전에 힘입어 컴퓨터를 이용한 dc-ac 전력변환 시스템에 있어서 스위칭 시에 생기는 전압·전류의 급격한 변화와 고속 스위칭 작용에 의해 전력변환 출력단에 영상전압이 발생한다. 이와 같은 영상전압으로 말미암아 모터권선과 프레임사이의 부유용량을 통해 접지선으로, 전력용 반도체 소자와 방열핀 사이의 부유용량을 통해 고조파 누설전류가 흐르게 되고, 전력선과 통신선이 접근해 있을 때 통신선에 전압과 전류가 유도되어 여러 가지 통신장애를 일으키게 된다[1]. 이와 같은 장애를 억제하기 위한 방안으로 코몬모드 쇼크 및 EMI 필터를 사용한 방법과 코몬모드 트랜스와 노말모드 필터를 사용한 방법이 보고되었으나[2][3], 전자는 급격한 전압·전류의 억제는 가능하였으나 영상전압의 소

거가 되지 못했고, 후자는 부하의 부유용량과 배선의 인덕턴스가 형성하는 공진회로의 고조파 진동현상을 억제하였으나 영상전압의 제거는 되지 못했다[4].

본 논문에서는 고속의 스위칭에 의해 직류전압을 교류로 변환하는 인버터 시스템[5]이 발생하는 영상전압을 소거할 수 있는 영상전압 억제회로(Rejecting Circuit of Zero Phase Voltage RCZPV)를 제안한다. RCZPV는 트랜지스터 푸시풀 증폭기와 영상전압 억제용 변압기로 구성되고 인버터에서 발생된 영상전압은 증폭기를 거쳐 변압기로 여자전류를 흐르게 하고 이에 의해 변압기에 역위상의 영상전압이 발생된다. 이 전압은 1:1 영상전압 억제용 변압기를 거쳐 인버터 출력에 중첩시켜 부하에 인가되는 영상전압을 억제시키게 된다.

II. 본 론

2.1. 인버터 출력 영상전압 및 전류

최근 고속전력용 반도체 소자의 개발에 따라서 PWM 인버터의 스위칭 주파수의 출력 고조파 성분에 의해 접지선으로 고조파 진동전류가 발생되어 인버터의 전류제어에 악영향을 주고, 누설차단기의 오동작을 초래하며, 주변 통신시스템에 장애를 준다[3][4]. 인버터의 스위칭 시에 인버터의 출력 영상전압이 변화하게 되고, 이에 의해 영상전류가 모터권선과 프레임 사이의 부유용량을 통해 접지선으로 흐르게 된다.

그림 2.1은 접지선을 통해 영상전류가 흐를 때의 인버터 제어시스템과 그 영상전압 발생시의 등가회로이다. 영상전류는 인버터 스위칭 시에 배선 인덕턴스 및 모터권선·프레임 사이의 부유용량을 통해 흐르기 때문에 LCR 직렬공진 회로로 등가화 시킬 수 있다. 여기서, L_c 는 전력선 및 접지선 배선 인덕턴스이며, C_c 는 모터권선의 부유용량으로서 모터의 입력단과 모터 프레임사이의 정전용량으로 표현하였다. 또한, V_{co} 는 인버터 출력단에서 발생된 영상전압, 즉 V_0 에 대한 인버터 출력의 중성점간의 전위차로 표현된다.

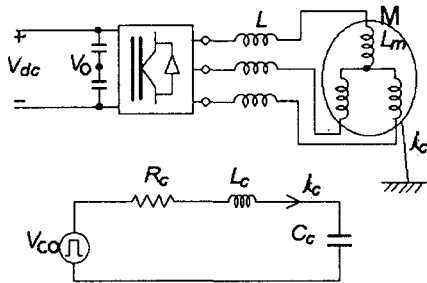


그림 2.1. 영상전압 및 누설전류 등가회로

2.2. 영상전압 억제회로 구성

그림 2.2는 전압형 PWM 인버터의 출력에서 발생된 영상전압 V_{co} 를 억제하기 위한 영상전압 억제회로(RCZPV)를 추가한 것이다. RCZPV는 영상전압 검출용 콘덴서 C , 트랜지스터 push-pull 증폭기, 영상전압 억제용 변압기(1:1) L_m 등으로 구성된다. C 를 통해 검출된 영상전압은 증폭기를 거쳐 자화인덕턴스 L_m 을 거쳐 자화전류 i_m 이 흐르게 되고 이에 의해 자화인덕턴스 L_m 에는 영상전압과 크기가 같고 역위상의 영상전압이 발생된다. 발생한 역위상의 영상전압은 변압기를 통해 인버터 출력에 중첩되어 인버터 출력단의 영상전압을 소거하게 된다.

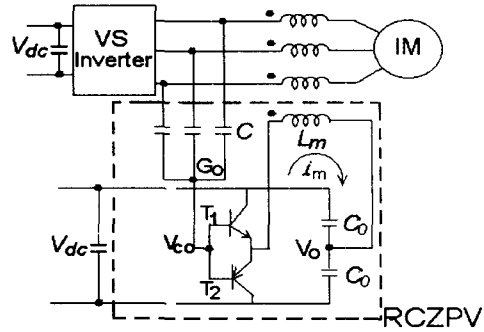


그림 2.2. RCZPV가 추가된 인버터 시스템.

그림 2.3은 RCZPV에 대한 등가모델이다.

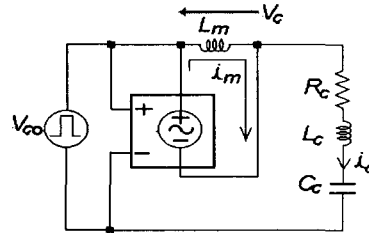


그림 2.3. RCZPV 등가회로

인버터 출력 영상전압의 검출은 출력단에 접속한 Y 결선의 C의 중성점 전위로부터 구하며 C의 용량은 스위칭 소자에 흐르는 전류를 감안해 결정한다.

그림 2.4는 자화전류 i_m 이 흐르는 구간 ①②에서 T_2 에 전류가 흐르는 과정을 도시한 것이다.

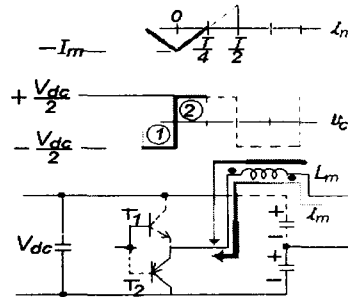


그림 2.4. 자화전류 및 역위상 영상전압

구간 ②에서는 L_m 의 전압이 $-V_{dc}/2$ 에서 $V_{dc}/2$ 로 전환되어 T_2 의 에미터 콜렉터간 전압 V_{ce} 는 $-V_{dc}$ 가 되어 콜렉터 손실이 발생한다.

따라서 T_2 의 평균 콜렉터 손실 P_c 는

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{1}{T} \int_0^{T/4} (-V_{dc}) \cdot i_m(t) dt \\ &= \frac{1}{T} (-V_{dc}) \int_0^{T/4} \left[\frac{4I_m}{T} t - I_m \right] dt \\ &= \frac{V_{dc}}{8} I_m \quad (1) \end{aligned}$$

$$\text{단, } i_m(t) = \frac{4I_m}{T} t - I_m$$

가 된다. 따라서 트랜지스터 콜렉터 손실의 최대정격이 15W일 때 자화전류의 피크치는 식 (1)로부터 0.43A가 된다. 따라서 자화 인덕턴스 L_m 은

$$\begin{aligned} \frac{V_{dc}}{2} &= L_m \frac{I_m}{T/4} \quad \text{에서} \\ L_m &\geq \frac{V_{dc}/2 \cdot T/4}{I_m} \quad (2) \\ &\geq \frac{140 \cdot 100/4 \cdot 10^{-6}}{0.43} = 8.14 [mH] \end{aligned}$$

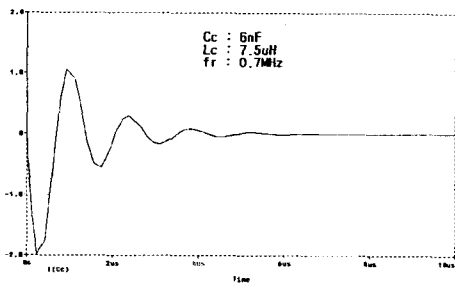
단, sampling time $T : 100[\mu s]$ 이다.

가 된다.

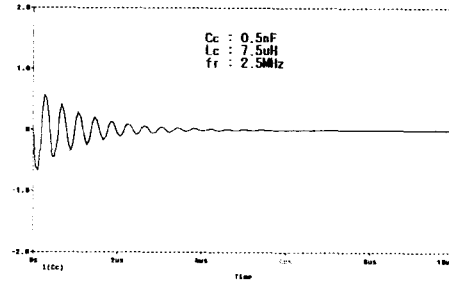
III. 시뮬레이션 및 고찰

3.1. 접지 누설전류 억제효과

그림3.1은 RCZPV가 부가되지 않은 경우의 영상전압분에 의한 접지 누설전류 파형이다.



(a)



(b)

그림 3.1. 누설전류 i_c (비보상시)

그림(a)는 부유용량 C_c 가 6nF일 때이고, 그림(b)는 0.5nF일 때이다. C_c 가 클 때에는 누설전류가 최대 1.0A, 공진 주파수는 0.5MHz이고, 적을 때는 누설전류가 0.5A, 공진 주파수는 2.5MHz로서 누설전류가 매우 크게 나타나고 있다.

그림3.2는 RCZPV를 부가하고 C_c 를 6nF로 하였을 때 영상전압 억제에 따른 누설전류 파형이며, 누설전류의 최대 크기는 75nA로서 극히 감소됨을 알 수 있다. 이는 RCZPV의 부가에 따른 영상전압 소거에 의한 결과이다. 그림에서 실선은 그림 3.1(a)에서의 전류의 스케일과 같게 하였을 때이고, 파선은 이를 확대한 파형으로서 그 스케일은 우측에 나타내고 있다.

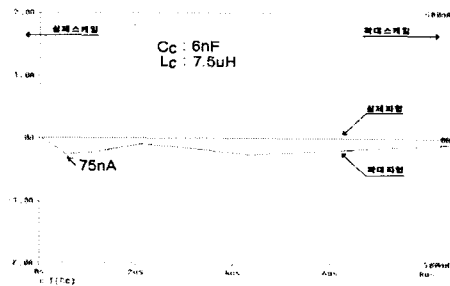


그림 3.2. 누설전류 i_c (보상시)

그림 3.3은 식 (3)에서 구한 자화 인덕턴스 L_m 을 RCZPV를 부가했을 때 자화전류 i_m 과 역위상 영상전압 v_c 에 대한 파형이다. 자화전류의 피크치는 0.14A로서 이론치와 거의 근사화되고 있음을 알 수 있다.

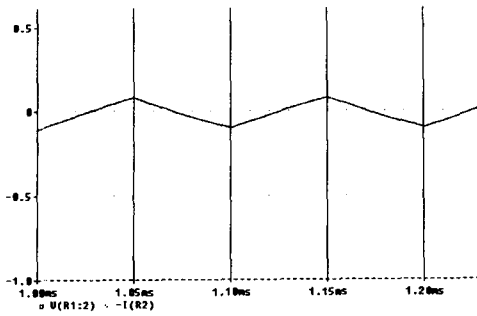
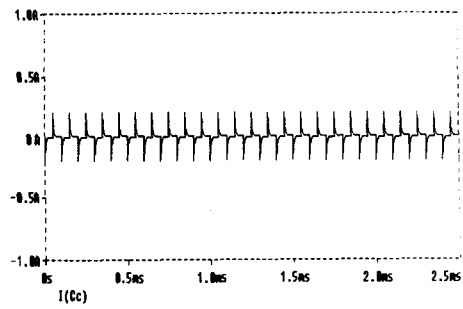


그림 3.3. 자화전류 (i_m)



(b) i_c 파형

3.2. 비접지기에 대한 전위상승의 억제효과

3.1절에서 언급한 영상전압은 비접지기의 기준전위에 대한 전위상승을 가져와 감전에 대한 우려가 있다. 따라서 이러한 영상전압의 발생을 억제하는 것은 감전 예방차원에서도 큰 의미가 있다. 그림3.4는 전동기 프레임과 접지사이에 전위상승의 억제효과를 알아보기 위하여 측정회로를 삽입하고, RCZPV를 추가했을 때와 추가하지 않은 경우를 비교하기 위한 비접지기 전위상승 측정 회로이다. 스텝전압이 인가된 직후의 단자전압의 감쇄시정수는 $C_c - R_l$ 으로 되지만, 그 후의 시정수는 $C_2 - R_2$ 가 되며, 모터의 부유용량 C_c 에 의존하지 않게 된다.

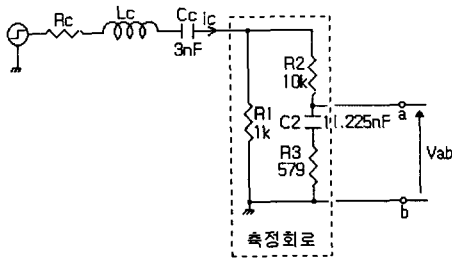
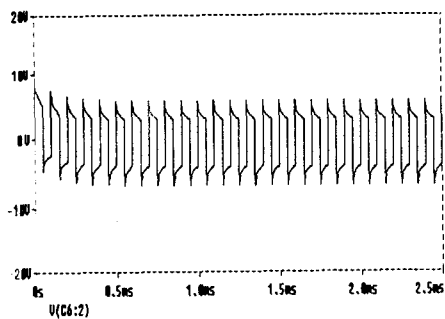


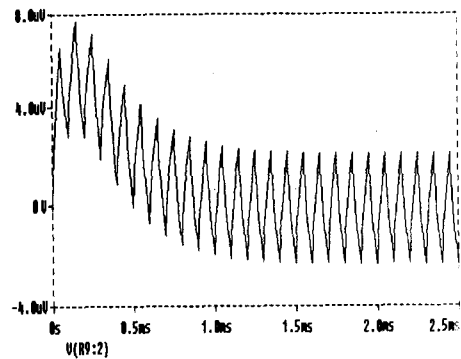
그림 3.4 비접지기 전위상승 측정회로



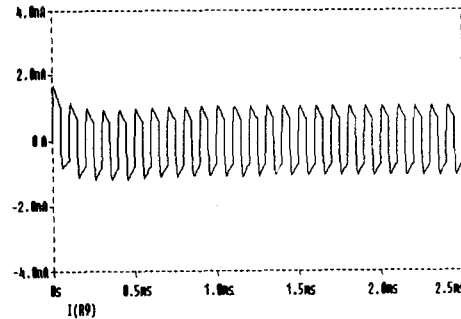
(a) V_{ab} 파형

그림 3.5 측정 단자전압과 누설전류(비보상시)

그림 3.5는 RCZPV가 부가되지 않은 경우의 측정 단자전압과 출력 누설전류의 확대파형을 표시한 것이다. 측정 단자전압의 크기는 평균 5V이고 전류 크기는 0.25A이다.



(a) V_{ab} 파형



(b) i_c 파형

그림 3.6 측정 단자전압과 누설전류(보상시)

그림 3.6은 RCZPV를 사용한 경우의 누설전류 및 단자전압 파형을 표시한다. 이때는 단자전압이 $2.0\mu\text{V}$ 이고, 전류는 1.0nA 로서 전압 및 전류가 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 따라서, RCZPV의 사용은 영상전압의 억제뿐만이 아니라 비접지전기기의 감전예방에도 극히 유효한 특성을 보이고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 PWM인버터 시스템의 영상전압을 억제시키기 위해 RCZPA회로를 구성하여 시뮬레이션을 해 본 결과, 자화인덕턴스 L_m 에서 영상전압과 크기는 같고 역위상의 전압을 발생하여 인버터 출력에 중첩시켜 인버터 출력단의 영상전압을 억제시켰다. 그 결과 부하로 흐르는 영상전류분과 접지 누설전류분이 현저히 감소되었음을 확인하였다. 또한 이와 같은 영상 전압 소거로 말미암아 육상 및 선박용 비접지 전기기기의 감전 예방에 효과가 있을 것으로 사료된다.

V. 참 고 문 헌

- (1) 久保田, 村井 : 「고조파 캐리아인버터로 구동되는 유도전동기의 누설전류 저감 회로」, 昭62電氣學會全大, No. 603.
- (2) 綾野, 小笠原, 赤木: 「COMMON-MODE 트랜스의 고調波 누설 전류 억제 효과와 설계법」 平7電氣學會産業應用部門 全大, No. 93
- (3) 小笠原, 綾野, 赤木: 「PWM 인버터를 이용한 교류電動機驅動 시스템이 발생하는 EMI의 측정과 그 저감법」, 全學論D, 116卷12號, P. 1211-1219 (平8-12).
- (4) 小笠原, 綾野, 赤木: 「電壓形PWM 인버터가 발생하는 COMMON-MODE 전압의 액티브 캔슬레이션」, 全學論D, 117卷 5號, P 565-571 (平9).
- (5) 이성근, “관성모멘트 동정에 의한 유도전동기의 저속운전 특성개선”, 한국해양정보통신학회 논문지, Vol. 2, No. 4, pp. 627-634, 1998. 10.