

영전압 스위칭을 위한 공진형인버터에 관한 연구

정 언 택* 김 원 철** 전 지 용* 노 진 호**

* 명지대학교 ** 명지실업전문대학

A Study on the Resonant Inverter for Zero Voltage Switching

Yon-Tack Chung*, Won-Chul Kim**, Ji-Yong Chun*, Jin-Ho Roh**

* Dept. of Electrical Eng. Myong-Ji Univ.

** Dept. of Electrical Eng. Myong-Ji Junior College.

Abstract

A novel 3 ϕ ZVS PWM VSI topology employing a simple dc bus subcircuit that provides soft switching commutations is proposed in this paper. The main advantage of the proposed inverter commutation scheme is that the dc bus subcircuit is activated only when required, that is, when dictated by the respective PWM. Detailed analysis is provided and simulation results are presented to verify the principles of operation of the proposed inverter scheme.

1. 서 론

전력변환기에 관계되는 연구과제는 효율의 증대, 시스템의 크기와 중량의 감소, 양호한 입출력 특성, 가성 노이즈의 감소, 고주파 동작을 위한 출력전압, 전류, 주파수제어 등으로 나눌 수 있다. 인버터는 직류전압을 3 ϕ 교류의 전력 에너지로 변환하여 폭넓게 이용되며 보편적으로 hard switching에 의한 인버터출력 파형은 고조파 성분을 포함하며 인버터를 고주파로 동작시키면 고조파분을 상당히 줄일 수는 있으나 스위칭 손실이 증가하여 인버터측 주 소자에 스트레스 전압을 가하여 시스템 효율을 저하시킨다.

스위칭손실을 최소화하는 것은 Soft switching 방법을 이용함으로써 효과적으로 얻어지게 된다. 3 ϕ VSI를 위한 영전압 스위칭은 인버터 측 주 트랜지스터가 점호하기 전에 스위치 전압을 0으로 줄이고 소호하는 동안 스위치 전압을 0으로 유지시킴으로써 얻어질 수 있다.

본 연구는 스위칭 손실을 최소화하기 위해 영전압 스위칭 방법을 이용하여 유도전동기 부하시 제안된 공진형 인버터의 동작원리를 simulation을 통해 입증하고자 한다.

2. 해석 및 동작 MODE

직류측 전류회로를 갖는 3 ϕ VSI회로가 그림 1에서 보여진다. 전체적인 전력변환기는 직류 공급전압 V_{IN} , 6개의 인버터 주 스위치 $S_1 \sim S_6$, 역병렬 다이오드 $D_1 \sim D_6$, 커패시터 $C_1 \sim C_6$, 인덕턴스 L_s , 커패시터 C_c , 보조 스위치 S_0 , 보조 스위치와 역병렬로 연결된 다이오드 D_0 를 포함하는 직류측 Tank 회로부 및 3 ϕ 유도전동기로 구성되어 있다. 본 해석은 다음과 같은 가정하에서 동작되어진다.

* 커패시터들과 인덕턴스는 손실이 없는 이상적인 소자로 가정한다.

- * 커패시터 C_c 의 값은 일정한 clamping 전압의 결과로서 크게 설정되어야 한다.
- * 공급전압 V_{IN} 은 Ripple이 없는 것으로 가정한다.

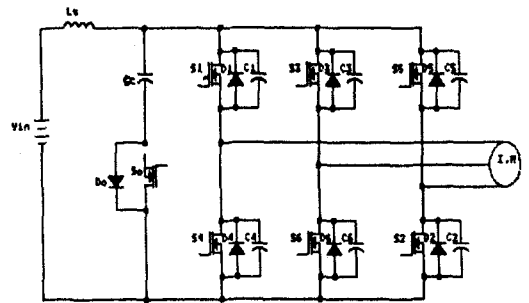


그림 1. 주회로도.

Fig 1. Main circuit.

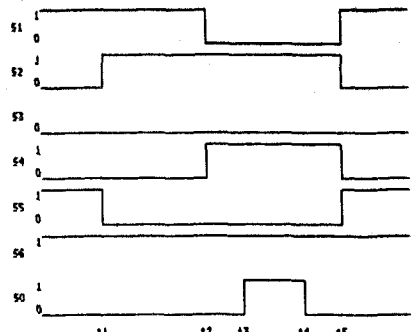


그림 2. 인버터 게이트 신호.

Fig 2. Inverter gate signals.

Clamp 커패시터 C_c 는 다음의 전압으로 얻어질 수 있다.

$$V_{CC} = KV_{IN} \quad (K > 1) \quad (1)$$

또한 $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = C_8$ (2)으로 가정한다.

< MODE I > 기간 $t_3 < t < t_4$

보조스위치 S_0 는 $t=t_3$ 에서 점호할때 직류측 전압 V_{IN} 과 커패시터 C_c 에 걸리는 전압과의 전압차가 인덕턴스 L_s 에 걸린다. 그때 에너지는 커패시터 C_c 로부터 전원으로 전달되며 인덕턴스 L_s 를 통해 흐르는 전류는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$i_{Ls}(t) = \frac{(K-1)V_{IN}}{L_s} (t-t_3) + i_{Ls}|_{t=t_3} \quad (3)$$

또한 $t=t_4$ 에서 인덕턴스 L_s 를 통해 흐르는 전류의 값은

$$I_1 = -\frac{(K-1)V_{IN}}{L_s} (t_4-t_3) + i_{Ls}|_{t=t_3} \quad (4)$$

이 된다.

< MODE II > 기간 $t_4 < t < t_5$

$t=t_4$ 에서 보조 스위치 S_0 는 소호하면 인덕턴스 L_s 를 통해 흐르는 부하전류값으로 인해 먼저 커패시터 $C_1 \sim C_6$ 는 방전되고 에너지는 직류측으로 회생되어지며 모든 역병렬 다이오드는 도통되기 시작하여 직류측을 거쳐 영전압시간을 제공하며, 영전압 스위칭 조건하에서 도통하기 위해 인버터측 소자는 이상적인 조건을 갖추게 된다. 따라서 인덕턴스 L_s 를 통해 흐르는 전류는 부하 I_1 에서 0으로 증가하며 다음 식으로 표현된다.

$$i_{Ls}(t) = -I_1 + \frac{V_{IN}}{L_s} (t-t_4) \quad (5)$$

$t=t_5$ 에서 전류는 이론적으로 0과 같게 된다.

$$i_{Ls}|_{t=t_5} = 0 \quad (6)$$

이 MODE의 기간동안은 식 (7)과 같이 표현된다.

$$t_5 - t_4 = \frac{I_1 L_s}{V_{IN}} \quad (7)$$

< MODE III > 기간 $t_5 < t < t_6$

이 MODE동안 인덕턴스 L_s 에 흐르는 전류는 선형적으로 증가하여 다음과 같은 (8)식에 의해 동작된다.

$$i_{Ls}(t) = \frac{V_{IN}}{L_s} (t-t_5) + i_{Ls}|_{t=t_5} \quad (8)$$

이 MODE는 (9)식일 때 변화한다.

$$i_{Ls}|_{t=t_6} = I_{IN} \quad (9)$$

여기서 I_{IN} 은 인버터측 입력전류이다.

< MODE IV > 기간 $t_6 < t < t_7$

이 MODE에서는 인덕턴스 L_s 가 스위치 커패시터와 공진하며 부 스위치 S_0 와 역병렬로 연결된 diode가 도통하여 커패시터 C_c 에 걸리는 전압을 KV_{IN} 으로 Clamping시킨다. 따라서 공진구간동안 인덕턴스 L_s 에 저장된 여분의 에너지는 커패시터 C_c 로 전달되어진다. 인덕턴스 L_s 를 통해 흐르는 전류에 대한 방정식은 아래와 같이 주어진다.

$$i_{Ls}(t) = I_{IN} + \sqrt{\frac{3C_s}{L_s}} V_{IN} \sin(\omega_r(t-t_6)) \quad (10)$$

단,

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{3L_s C_s}} \quad (11)$$

I_{IN} 은 직류측 인버터 입력전류이다.

< MODE V >

본 MODE에서는 직류측 인덕턴스 L_s 를 통해 흐르는 전류는 부하전류와 같다.

$$i_{Ls} = I_{IN} \quad (12)$$

인버터는 직류측 부회로가 다시 동작되어질 순간까지 일정한 3φ PWM VSI와 같이 동작한다.

3. 스위칭 특성에 관한 고찰.

그림 3은 각 MODE별로 동작되어지는 직류측 부회로의 동작 파형이나, 커패시터 C_c 에 걸리는 과전압(KV_{IN})은 인덕턴스 L_s 에 걸리는 전압이 증가함에 따라 증가한다. 그것은 부하 전류와 스위치 커패시터 C_s 에 의하고, 인덕턴스 L_s 를 통해

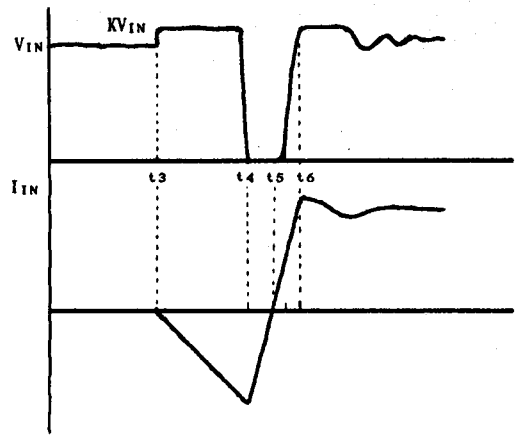


그림 3. 직류측 부회로 동작파형.
Fig 3. DC bus subcircuit operation.

흐르는 전류의 기울기는 전압 $(K-1)V_{IN}$ 과 보조 스위치 S_0 가 도통할 때마다 인덕턴스 L_s 의 값에 의해 결정된다. 직류측 영전압시간은 MODE II와 MODE III의 시간의 합과 같고, 영전압 스위칭 조건을 만족하도록 인버터측 소자가 도통하기에 필요한 시간보다 길어야 한다. 게다가 MODE II 구간은 부하전류와 관계가 있으므로 MODE II구간은 Soft switching 조건하에서 전류하기 위해 스위칭 하는데 어떠한 부하조건 하에서도 동작될 수 있도록 충분한 시간이 요구되어야 한다. 보조 스위치 S_0 의 도통시간에 1.1~1.3배의 V_{IN} 값의 Clamp전압을 얻을 수 있다. 결과적으로 보조스위치 S_0 의 도통시간을 조절함으로써 커패시터 C_c 로 흐르는 평균전력이 0을 유지 된다면 Clamping 전압 KV_{IN} 의 값으로 유지되어진다. 따라서 보조 스위치 S_0 가 도통하고 스위치 커패시터가 더 높은 값으로 충전되어질 때 K 값은 1에 가깝게 유지되어진다.

4. 시뮬레이션 결과.

본 방식의 타당성을 입증하기 위해 유도전동기 부하를 모델링 하여 직류 link부와 제한된 공진형 인버터의 동작을 확인하기 위해 각부 파형을 예측하였으며 다음 표 1의 사양 값을 이용해 시뮬레이션을 수행하였다.

직류측 인덕턴스 : $L_s = 8 [\mu H]$	
직류측 커패시터 : $C_c = 10 [\mu F]$	
입력 전압 : 300 [V]	
과전압 인수(K) : 1.2	
부 스위치 S_0 의 도통시간 : 3.5[μs]	
스위치 커패시터 C_s : 2.5[nF]	
전동기 정격	주파수 : 60 [Hz]
	토크 : 2.16[N·m]
	회전수 : 1800 [rpm]

표 1. 전동기 정격 및 각부 사양.

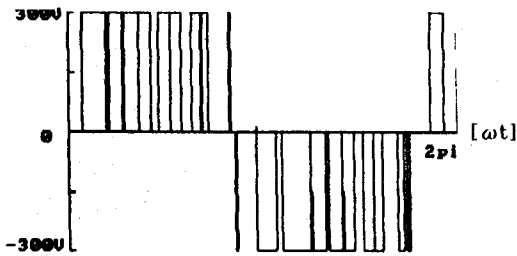


그림 4. 인버터 출력 선간전압.

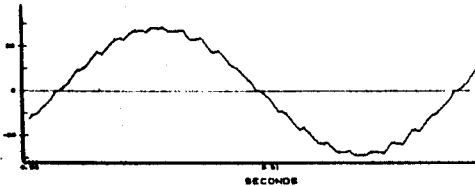


그림 5. 인버터 선전류.

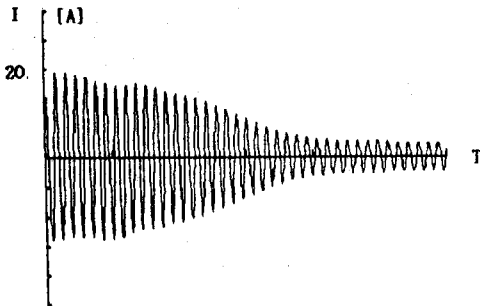


그림 6. 전동기 구동시의 전류 과도응답.

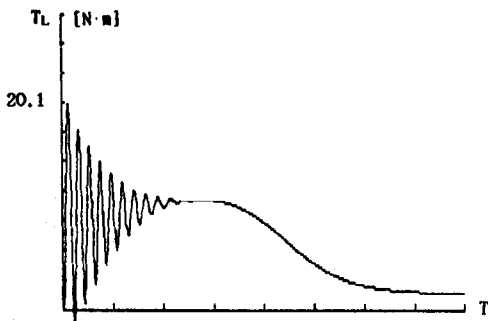


그림 7. 토크 특성.

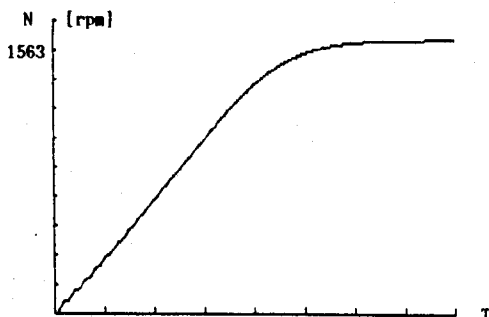


그림 8. 속도 특성.

인버터속 소자물 도통 시키기 위해 이상적인 조건으로 놓았으며, 제안된 간단한 직류속 전류회로로 인버터를 동작시킬 경우 정상상태에서 예측한 출력전압 및 전류파형이 그림 4와 5에서 보여지며, 간단한 직류속 부회로를 PWM 변조방식과 조합함으로써 인버터 스위칭 손실등을 감소시킨다. 또한 유도전동기의 기동시 속도가 변화함에 따른 과도상태 해석을 Runge-kutta법을 이용하여 해석하였으며 전류 및 토크 특성이 그림 6,7,8에서 보여졌다.

6. 결 론

본 논문에서 Soft Switching 방법에 의한 PWM 3φ VSI가 제안되어 해석 되었다. 영전압 스위칭(ZVS)은 용량성 스위치 스너버를 사용하여 발생되는 전류손실을 막기위해 공진회로를 이용하여 직류속 전류회로를 동작시킴으로 얻어졌다. 본 인버터 회로의 주된 장점은 추가적인 전류회로의 간단함이며 또한 부회로 동작은 PWM 방법으로 동기화되어진다. 또한 유도전동기 구동시 보다 나은 과도상태 특성을 얻을 수 있어 실제 시스템 설계에 도움이 될 것으로 기대된다.

[References]

- [1] D.M.DIVAN, "The Resonant DC Link Converter - A New Concept In Static Power Conversion" IEEE, Trans. Ind.Appl. Vol. 25, No.2,1989.
- [2] K.BORNHARDT "Novel Soft Switched GTO-Inverter Circuit" IEEE IAS ANNUAL MEETING pp 1222-1227 1990.
- [3] D.M.DIVAN,G.VENKATARAMANAN "Design Methodologies For Soft Switched Inverters"IEEE IAS ANNUAL MEETING pp 758-766,1988.
- [4] D.M.DIVAN,G.SKIBINSKI "Zero Switching Loss Inverter for High Power Application" IEEE, Trans.Ind. Appl. Vol 25,No 4,1989.
- [5] D.M.DIVAN, "Pulse Width Modulation with Resonant DC Link Converter "IEEE IAS ANNUAL MEETING pp 984-990 1990.
- [6] K.BORNHARDT,"New Possibilities for DC Side Commutated Inverter Circuit",EPE Conf,Record,pp 549 - 554, 1989.
- [7] P.D.ZIOGAS "A Refined PWM Schem for Voltage and Current Source Converter" IEEE IAS ANNUAL MEETING, Vol 2. pp 977-983,1990.