

브리지 형태 PWM 변환기의 데드타임 최소화 방법

김남정\*, 이을재\*\*, 오원석\*\*\*, 조규민\*\*\*  
 특허정\*, 이경산전(주)\*\*, 유한대학\*\*\*

A New Dead Time Minimization Method for the Bridge Type PWM Converters

Nam-Jeung Kim\*, Eul-Jae Lee\*\*, Won-Seok Oh\*\*\*, Kyu-Min Cho\*\*\*  
 KIPO\*, E-Kyoung Sys\*\*, Yuhan College\*\*\*

Abstract

To prevent the short circuit of upper and lower arms of bridge type PWM converters as like a voltage source inverter and PWM AC/DC converter, the dead time is inserted in between two switching signals. As a result, unexpected errors are occurred. In this paper, a new dead time minimization method is proposed. According to the proposed method, very short time which is equal to the applied dead time or more short than it, is adopted at the time of current polarity is changing. Moreover, it can be operated with the polarity information of reference current in case of current control. With the experimental results, the veridity of proposed method is verified.

1. 서 론

현재 전력용 반도체 소자의 특성이 상당한 수준에 와 있고 이들의 스위칭 기술이 날로 발전함에 따라 전력 변환기의 성능이 과거에 비할 수 없을 만한 상황이다. 특히 산업 현장 동력의 70% 이상을 차지하는 전동기 부문에는 전압형 인버터의 사용이 급격하게 증가하고 있다. 또한 전원계통의 고조파 문제를 해결하기 위한 능동 전력필터 및 무효전력을 거의 발생하지 않는 PWM 컨버터들이 활용되기 시작하고 있다. 앞서 기술한 전력 변환기들은 모두 공통적으로 전력용 자기소호형 스위칭 소자를 브리지 형태로 구성하여, 이들의 온오프 스위칭 제어를 통해 희망하는 전력을 변조한다. 이 때 브리지의 한 암(arm)은 직류전원의 +측에 연결된 상암(upper arm) 소자와 -측에 연결된 하암(lower arm) 소자를 직렬로 연결하여 구성하게 된다. 따라서 상하암의 교번동작이 요구되는 경우 직류전원에 의한 암단락을 방지하기 위하여 상하암 스위칭 신호 사이에 데드타임을 삽입하여 운전해야만 한다. 이러한 데드타임의 적용으로 회망하지 않는 많은 문제가 발생되어 이를 해결하기 위한 방법으로 여러 가지의 데드타임 보상 기법들이 제안되어 있으며, 고정도의 제어가 요구되는 개소에는 이러한 데드타임 보상 기법들이 활용되고 있다.[1-3] 그러나 교류전동기를 구동하는 인버터 등의 경우에는 같이 PWM 스위칭 구간에 전류연속이 되는 경우에는 전류의 극성에 따라 상암 또는 하암의 소자 단독 온오프 운전에 의하여도 동일한 제어 성능을 얻을 수 있기 때문에 불필요한 스위칭 횟수를 반감함과 동시에 데드타임을 두지 않는 스위칭 제어법이 Bose씨 등에 의해 제안 된 바 있다.[4] 그러나 이 경우 전류극성이 바뀌는 순간의 암 단락 방지에 대한 언급이 되어있지 않기 때문에 실용적으로 문제가 있으며, 검출 전류의 채터링에 대한 고려를 하기는 하였으나 오히려 이로 인하여 전류검출 계통에 극히 짧은 노이즈나 서지가 발생하였을 때에도 채터링에 대비한 회로가 동작되어 일정 시간 동안 스위칭 신호가

인가되지 않는다는 것이 단점으로 지적된다. 따라서 최근 국내 학계에서 이러한 단점을 극복한 휴지기간 최소화 알고리즘이 소개된 바 있다.[5] 여기에서는 비순환 전류형 사이크로컨버터의 운전 방법과 동일한 방법을 인버터에도 채용함으로써 전류극성 전환시의 암단락을 방지하였다. 즉, 전류극성에 따라 동작되는 상하암 스위칭 신호들 사이에 전류극성이 절환되는 시점에서 동작군 교체 휴지기간을 삽입함으로써 상암과 하암의 단락을 방지하는 알고리즘을 제안하였다. 이에 더불어 전류 검출의 정도에 따라 원활한 전류의 극성절환이 이루어지지 못할 가능성이 있는 경우 미소전류 구간에서는 기존의 방법과 같이 데드타임을 두어 운전하는 방법을 함께 제안하였다. 그러나 전자의 경우에는 극성절환시 전류가 불연속이 될 수 있다.

본 논문에서는 전류의 극성에 따라 상하암 소자를 선택하여 스위칭함과 동시에 전류의 극성이 바뀌는 순간에 있어서도 실제 상하암 소자가 단락을 일으킬 가능성이 있는 경우에만 휴지기간을 적용하는 새로운 휴지기간 최소화 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 휴지기간 최소화 방법은 데드타임 5[μsec]이하, 10kHz 스위칭의 단상 인버터에 적용할 때, 0.9 이하의 전압 변조를 또는 역률 0.43 이상의 전동부하의 경우에는 데드타임이 전혀 적용되지 않기 때문에 변조방법에 따른 이상적인 출력을 얻는 것이 가능하다. 또한, 본 논문에서는 실제 전류의 정확한 검출이 어려울 경우, 히스테리시스 비교 방식의 전류제어 등과 같이 전류제어가 이루어지는 경우에 있어서는 실제전류를 검출하지 않고 지령전류의 극성 판단만으로도 제안하는 데드타임 최소화 방법의 적용이 유용함을 실험결과로써 입증하고자 한다.

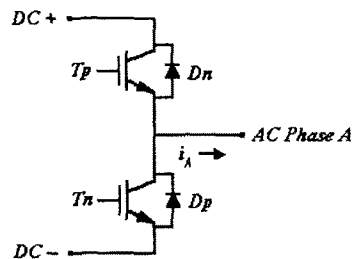


그림 1 브리지 한 암의 회로  
 Fig. 1 Configuration of bridge one arm

2. 기존의 스위칭 방법

그림 1에 브리지 한 암의 회로를 표시하였다. 교류측에 연결된 상을 A라하고 A상에 흐르는 전류  $i_A$ 의 정 방향을 그림에서와 같다고 하면  $i_A$ 의 양의 전류는 스위칭 소자  $T_p$  또는 환류 다이오드  $D_p$ 를 통하여 흐르고  $i_A$ 의 음의 전류는 스위칭 소자  $T_n$  또는 환류 다이오드  $D_n$

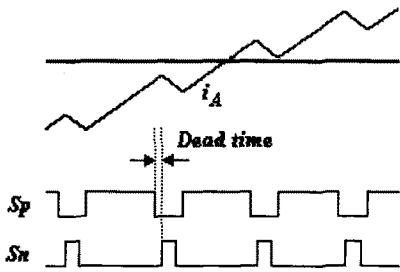


그림 2 일반적인 스위칭 방법  
Fig. 2 Conventional switching method

을 통하여 흐름을 알 수 있다.

통상의 경우에 있어서는 그림 2의 나타난 것과 같이  $T_b$ 의 스위칭신호  $S_b$ 와  $T_n$ 의 스위칭신호  $S_n$  사이에 수  $\mu\text{sec}$ 의 데드타임을 삽입하여 변환기를 운전한다. 그림 2에서 전류  $i_A$ 가 음인 경우  $S_b$ 가  $T_b$ 에 인가되어도  $i_A$ 가 그림 1에 나타난 환류다이오드  $D_n$ 을 통하여 흐르고 있기 때문에  $T_b$ 는 온 조건을 만족시키지 못하며 따라서  $S_b$ 의 인가는 무의미함을 알 수 있다.  $i_A$ 가 양인 경우에는  $S_n$ 의 인가가 무의미해진다. 이런 무의미한 스위칭 신호의 인가를 위하여 데드타임을 삽입하게 됨으로써 무시할 수 없는 오차가 발생하게 된다. 따라서 신뢰할 수 있는 제어성능을 위해서는 데드타임에 의한 영향을 반드시 보상해야만 한다. 그러나 그림에 나타난 것과 같이 전류의 극성이 원활하게 절환될 수 있다는 장점이 있다.

그림 3에 기존 데드타임 최소화 스위칭 방법의 일례를 표시하였다.  $i_A$ 의 크기를 판단하여  $i_A$ 가 양이 아닌 구간에서는  $I_n$ 을,  $i_A$ 가 양이 아닌 구간에서는  $I_b$ 를 1로 하여  $I_b$ 가 1로 세트된 동안에는 스위칭신호  $S_b$ 만 인가하고,  $I_n$ 이 세트된 동안에는 스위칭신호  $S_n$ 만 인가하는 방식으로 전류의 극성이 바뀌는 순간에만 1회의 데드타임을 삽입하여 압단락을 방지하기 때문에 일반적인 스위칭 방법에 비하여 데드타임에 의한 영향이 거의 없으며 구동회로의 전력을 반감시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 전류가 정확히 0이 되는 순간을 검출하기는 어렵기 때문에, 일례로 전류가 음에서 양으로 절환되어야 하는 경우  $i_A$ 가 그림에 표시한  $i_{Th}$  크기가 되면  $I_n$ 을 0으로 리셋시켜  $S_n$ 의 인가를 금지시키고 일정한 데드타임을 삽입한 후  $I_b$ 를 세트시켜  $S_b$ 의 인가를 허용시

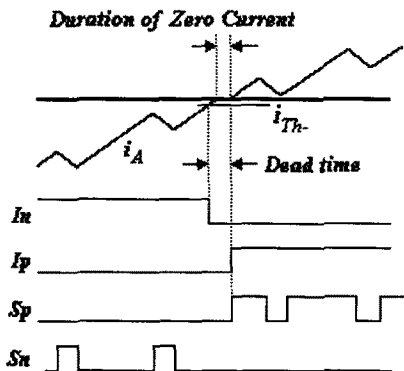


그림 3 데드타임 최소화 스위칭 방법 일례  
Fig. 3 One of dead time minimization switching method

키기 때문에 그림에 나타난 것과 같이 전류가 0인 전류 불연속 현상이 발생할 수 있다. 삽입하는 데드타임이 매우 짧으므로 일반적인 경우에 있어서는 큰 문제가 되지 않지만,  $i_A$ 의 주파수가 높아질수록 문제점이 커진다.

### 3. 제안하는 데드타임 최소화 스위칭 방법

그림 4에 본 논문에서 제안하는 새로운 데드타임 최소화 방법을 나타내었다. 본 방법은 그림 3에 표시한 기존의 데드타임 최소화 방법과는 달리 데드타임을 삽입하는 일반적인 스위칭 방법과 동일하게 전류의 극성이 유연하게 절환될 수 있다.

그림 5에 제안하는 데드타임 최소화 스위칭 방법의 구체적인 스위칭신호 발생 알고리즘을 도시하였다.

그림에서,  $S_b$ 와  $S_n$ 은 변조 신호이고,  $I_b$ 와  $I_n$ 은 상하압의 스위칭 소자 선택신호이다. 먼저,  $S_b$ 와  $I_b$ 의 논리 곱과  $S_n$ 과  $I_n$ 의 논리곱을 취하여  $S'_b$ 와  $S'_n$ 을 얻어내고 이들의 각 falling edge에서 데드타임을 얻어낸다. 이들 신호를  $O_n$ 과  $O_p$ 라 하면 상하압 스위치에 인가될 게이트신호  $G_b$ 와  $G_n$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$G_b = S'_b * I_b * O_p \quad (1)$$

$$G_n = S'_n * I_n * O_n \quad (2)$$

그림에서 알 수 있듯, 데드타임이 모든  $S'_b$ 와  $S'_n$ 의 falling edge에서 발생하긴 하지만 실제로 적용되는 데드타임은 전류극성이 절환 되기 직전의 마지막 데드타임 일 뿐이며 이 또한 최소한 전류극성의 절환 시점과 같거

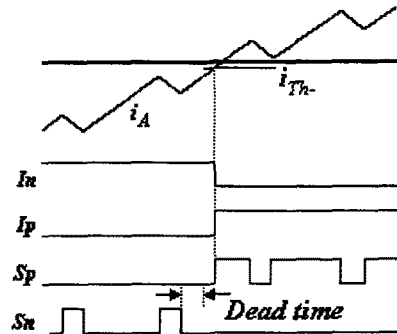


그림 4 제안하는 데드타임 최소화 스위칭 방법  
Fig. 4 Proposed dead time minimization switching method

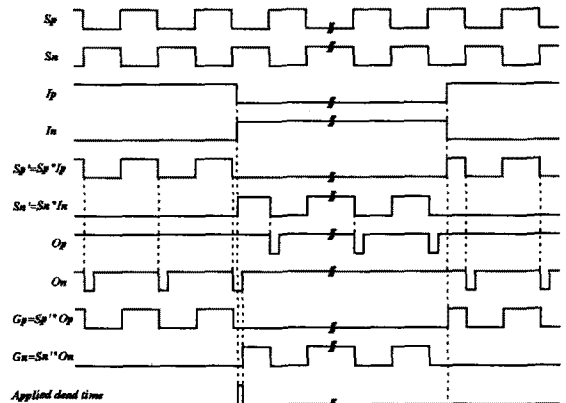


그림 5 구체적인 스위칭신호 발생 알고리즘  
Fig. 5 Detail switching signal generating algorithm

나 이보다 앞서기 때문에 실제 적용되는 데드타임은  $O_b$  또는  $O_n$ 의 시간보다 같거나 작다. 따라서 그림에서와 같이 실제 적용되는 데드타임은 전혀 적용되지 않을 수도 있다.

수동부하의 단상 인버터의 경우로써 전술한 내용을 구체적으로 고찰하기로 한다.

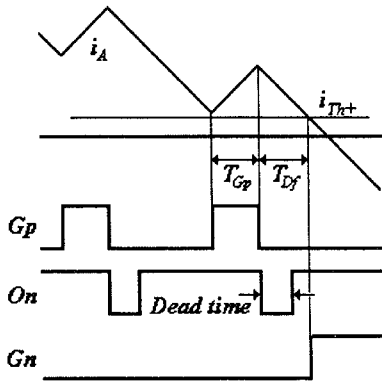


그림 6 전류극성 전환시의 상황  
Fig. 6 Configuration at the changing time of current polarity

그림 6에서 상암 스위칭 소자의 마지막 게이트신호  $G_p$ 가  $T_{Gp}$  동안 세트 유지하다가 리셋 되면  $i_A$ 는 그림 1에 도시한 환류다이오드  $D_b$ 를 통하여 환류하게 된다.  $i_A$ 가 환류에 의하여 감소를 하다가  $i_{Tn+}$ 와 만나게 될 때까지의 환류기간을  $T_{Df}$ 라 하자. 스위칭의 한 주기 내의 짧은 기간이므로  $T_{Gp}$  동안의  $i_A$  평균 변화율 크기와  $T_{Df}$  동안의  $i_A$  평균 변화율 크기가 같다고 보면 식 (3)이 성립한다.

$$T_{Df} > T_{Gp} \quad (3)$$

이 때, 데드타임을  $T_d$ 라고 하면

$$T_{Df} \geq T_d \quad (4)$$

를 만족하게 된다면 전류극성 전환시 데드타임은 실제로 적용되지 않는다. 식 (3)과 식 (4)로부터

$$T_{Gp} \geq T_d \quad (5)$$

가 된다. 이제 인버터의 전압변조율과 스위칭 주기를 각각  $a$ ,  $T_s$ 라하고, 부하역율각을  $\alpha$ 라 하자. 또한 현재 스위칭 주기에서 전류의 위상을  $\pi\alpha$ 라 근사하면  $T_{Gp}$ 는 식 (6)으로 표현된다.

$$T_{Gp} = \frac{1 - a \sin \alpha}{2} T_s \quad (6)$$

따라서 식 (5)와 식 (6)으로부터 데드타임이 적용되지 않을 조건은 식 (7)이 된다.

$$a \sin \alpha \leq 1 - \frac{2T_d}{T_s} \quad (7)$$

임의의  $\alpha$ 에 대하여 식 (7)을 만족하는  $a$ 의 범위는

$$a \leq 1 - \frac{2T_d}{T_s} \quad (8)$$

가 되고 임의의  $a$  (단,  $0 < a < 1$ )에 대하여 식 (7)을 만족하는  $\alpha$ 의 범위는

$$\alpha \leq \sin^{-1} \left( 1 - \frac{2T_d}{T_s} \right) \quad (9)$$

가 된다. 이를 부하역율을 이용하여 표시하면

$$\cos \alpha \geq 2 \sqrt{\frac{T_d}{T_s} \left( 1 - \frac{T_d}{T_s} \right)} \quad (10)$$

가 된다.

그림 7은 부하역율 및 전압변조율에 따른 데드타임이 적용되지 않는 운전영역을 보여준다. 광범위한 영역에

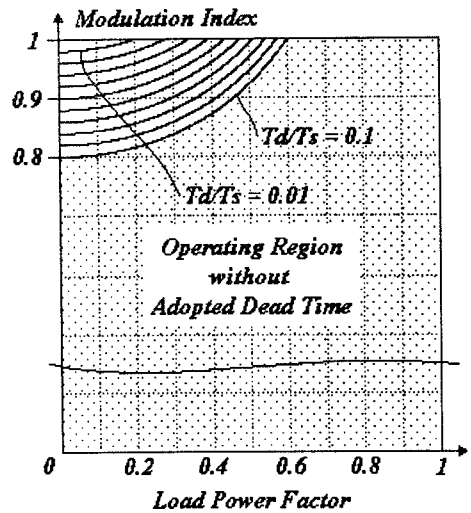


그림 7 데드타임이 적용되지 않는 동작 영역  
Fig. 7 Operating region without applied dead time

서 데드타임이 적용되지 않는 이상적인 동작을 할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 능동부하의 경우에는 역기전력의 크기에 비례하여 그 영역이 좁아지게 된다.

#### 4. 전류 지령치 극성에 의한 스위칭소자의 선택

본 논문에서 제안한 데드타임 최소화 방법은 변환기가 전류제어를 행하고 있는 경우에 있어서, 실제 전류의 극성을 판별하지 않고 지령전류의 극성을 판별하여 상하암 스위칭소자를 선택할 수 있다.

전류제어의 방법으로써 어떤 방법을 취하든 전류제어가 올바르게 행하여지고 있다면 그림 8의 (a)와 (b)에 나타난 것과 같이 지령전류는 실제전류의 맥동폭 내에 위치하게 된다. 그림 8의 (a)는 지령전류의 0점에서 실제전류가 하강하고 있는 경우이며 그림 8의 (b)는 상승하고 있는 경우이다. 어느 경우에 있어서든 지령전류의 극성을 판별하여 상하암 스위칭 소자를 선택운전하여도 자연스럽게 전류제어가 행하여질 수 있음을 알 수 있다. 만일 전류제어 성능이 좋지 못하거나 지령전류 또는 부하의 급격한 변화가 있게 될 경우에 대하여 고찰하기로 한다. 그림 8의 (c)와 (d)에 실제전류가 지령전류에 대하여 다소 큰 오차를 가지고 있을 경우를 나타내었다. 그림 8의 (c)는 오차가 양일 경우이고 그림 9의 (d)는 오차가 음일 경우이다. 먼저, 오차가 음일 경우, 지령전류의 0점에서 상하암 스위칭 소자를 바꾸게 되면 상암의 스위칭신호가 제거되기 때문에 오히려 더 빨리 실제 전류가 0으로 감소하게 되므로 기존의 스위칭 방법보다 오히려 장점이 된다. 오차가 양일 경우에 있어서는 하암의 스위칭신호가 금지되어 있기 때문에 지령전류보다 앞서서 실제전류가 음이 되는 상황을 방지할 수 있으므로 이 또한 기존의 스위칭 방법보다 장점이 된다. 결국 어떠한 경우에 있어서든 본 논문에서 제안한 새로운 데드타임 최소화 방법은 전류제어를 행하는 경우에 있어서, 실제전류의 검출이 필요 없이 지령전류의 극성 정보만으로도 상하암 스위칭 소자를 선별하여 운전하는 것이 가능하다. 따라서 실제전류를 검출할 때의 문제점인 전류검출기의 오프셋과 드리프트, 검출계통의 노이즈, 스위칭에 의한 서지전류, 0전류 부근에서의 채터링 등이 아무런 문제가 되지 않는다. 이는 제안하는 방법의 가장 큰 장점이 된다.

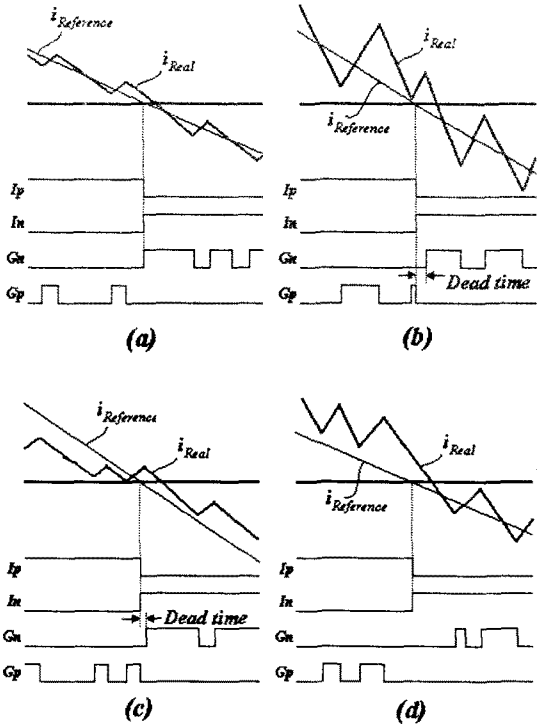


그림 8 지령전류에 의한 상하암 소자 선택  
Fig. 8 Section of switching device with the reference current

### 5. 모의실험 및 실험 결과 고찰

그림 9에 실험에 적용한 새로운 데드타임 최소화 스위칭 방법의 회로에 단지 And 게이트 두 개와 Not 게이트 한 개만 추가되었음을 알 수 있다. 물론 이는 실제 전류를 사용하지 않고 지령전류의 극성을 이용하는 경우이다. 프로세서 등에 의하여 전류를 제어하는 경우에는 프로세서가 스위칭신호에 부가하여 1bit의 지령전류의 극성 정보를 추가로 출력하면 되고 선형의 지령전류가 있을 경우에는 비교기 한 개로 간단히 지령전류의 극성을 판별할 수 있다.

먼저 그림 10에 기존의 스위칭 방법으로 히스테리시스 비교 방식의 전류제어를 행하는 단상 인버터의 전류 파형을 나타내었다. 모의실험에 사용한 제반 정수들은 그림에 표시된 바와 같다.  $3\mu\text{sec}$ 의 길지 않은 데드타임의 인가에도 다소의 오차가 존재함을 볼 수 있다.

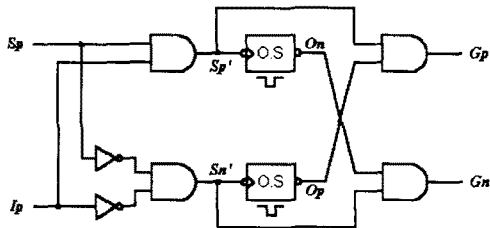


그림 9 제안 알고리즘 구현 회로  
Fig. 9 Circuit configuration of proposed algorithm

이는 전류가 양인 경우 하단 히스테리시스 밴드에 교차되었을 때 곧바로 상암을 턴온시키지 못하고 데드타임 시간 이후에 상암을 턴온시키기 때문에 양의 전류는 하단 히스테리시스 밴드를 벗어나게 되며 음의 전류일 경우에는 상단 히스테리시스 밴드를 벗어나게 된다. 결국 기본파의 입장에서 지령에 대비하여 다소 작은 전류가 흐르게 된다. 그러나 동일한 조건하에 본 논문에서 제안한 휴지기간 최소화 방법을 이용하였을 경우에는 그림 11에서 알 수 있듯, 실제전류가 지령전류 상하로 일정한 크기로 맥동하므로 전류제어 오차가 발생하지 않음을 알 수 있다.

그림 12는 3상 인버터에 대한 모의실험 결과로, 공간 벡터 변조법에 의한 전류제어에 본 논문에서 제안한 데드타임 최소화 스위칭 방법을 적용한 경우이다. 전류제어를 행하고 있기 때문에 지령전류의 극성 판단에 의한 상하암 스위칭 소자 선택에 있어 아무런 문제 없이 전류의 극성이 원활하게 전환됨을 볼 수 있다. 본 논문에서 제시한 파형으로는 관측이 어렵지만, 전류의 단속 구간 없이 극성이 전환됨을 확인할 수 있었다.

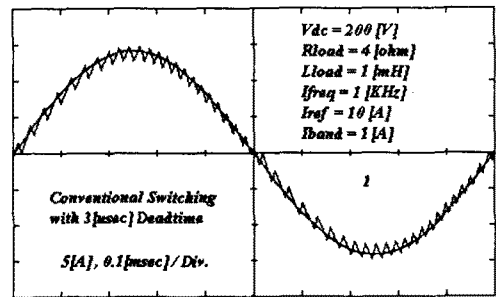


그림 10 데드타임을 적용한 모의실험 결과  
Fig. 10. Simulation result with dead time

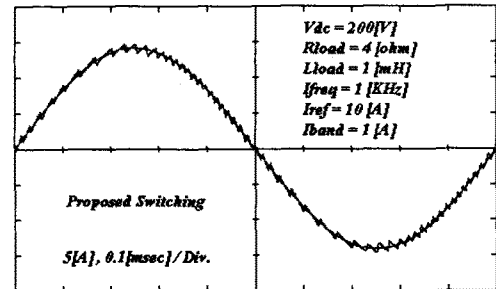


그림 11 데드타임을 적용하지 않은 모의실험 결과  
Fig. 11. Simulation result without dead time

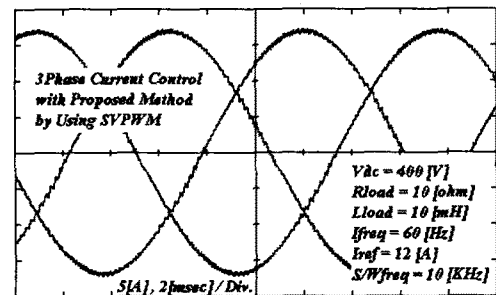


그림 12 3상 SVPWM 모의실험 결과  
Fig. 12. Simulation result of 3 phase SVPWM

다음은 단상 인버터의 전류제어에 본 논문에서 제안한 방법을 적용한 실험 결과를 살펴보기로 한다.

그림 13에 100Hz 구형파 전류제어에 대한 응답 결과를 나타내었다. 전류의 극성 전환시 단속이 전혀 발생하지 않음을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법의 경우 데드타임을 삽입하지 않고 스위칭을 행하기 때문에 스위칭 주파수를 드라이브 회로와 스위칭 소자가 갖는 한계까지 높일 수 있음을 확인할 수 있었다.

그림 14는 200Hz 정현파 전류를 제어한 결과이다. 이는 최대 스위칭 주파수를 30KHz로 제한 한 경우임에도 거의 완벽한 정현파 형태임을 확인할 수 있다.

그림 15와 그림 16은 과도상태에 대한 응답을 보여 준다 전류제어가 잘 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 특히 그림 16은 100( $\mu\text{sec}/\text{div}$ )에서 관측된 파형임을 고려하면 매우 우수한 전류제어 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

다음은 전류극성이 전환되는 순간의 세부 파형에 대하여 고찰하기로 한다. 그림 17은 전류가 양에서 음으로 전환되는 경우이고 그림 18은 전류가 음에서 양으로 전환되는 경우이다. 그림에서 (a)파형은 지령전류의 0점 비교기 출력이고 (b)파형은 실제 전류 파형이며, (c)와 (d)는 각각 드라이브 회로로 인가된 active low의 상압 소자와 하압 소자의 스위칭 신호이다. 전류의 극성 전환시 데드타임을 적용되지 않고 있음을 확인할 수 있다. 이는 앞서 기술한 바 있는 데드타임을 적용되지 않는 영역에서 동작이 이루어졌기 때문이다.

지령전류를 급격히 가감하여 데드타임을 적용되는 경우를 포착한 파형을 그림 19에 나타내었다. 전류가 양에서 증가하고 있는 상태에서 지령전류의 극성 음으로 바뀌었기 때문에 데드타임을 적용되는 경우이다. 이 경우에 있어서도 전혀 전류의 단속은 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 기존의 데드타임 최소화 방법보다 더욱 고성능의 제어를 피할 수 있는 새로운 데드타임 최소화 방법을 제안하고 제안한 방법의 특성을 해석하였으며, 모의실험 및 실험 결과로써 제안한 방법의 타당성을 확인하였다. 그 결과 본 논문에서 제안한 방법은 실제로 적용되는 데드타임을 전류극성 전환시 단락방지를 위하여 삽입하는 데드타임 보다 짧게 유지할 수 있으며, 수동부하의 경우 광범위한 영역에서 데드타임을 전혀 적용되지 않는 이상적인 스위칭이 가능함을 밝혔다.

그리고 전류제어의 경우에 있어서는 실제 전류의 극성을 검출하지 않고 지령전류의 극성을 이용하여 상하압 스위칭 소자를 선택함으로써 실제 전류의 영점을 검출하는데 발생하는 제반 제약으로부터 벗어날 수 있음을 확인하였다. 이로써 전류제어를 행하는 인버터 급전 유도전동기의 벡터제어, 능동 전력필터, PWM 컨버터 등에 실용적으로 본 방법이 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

추후 연구과제로는 본 논문에서 제안한 방법을 유도전동기 벡터제어와 컨버터 입출력 동시보상 능동 전력필터에 적용하여 그 활용성을 입증하는 것이다.

### [참고 문헌]

- [1] Sugawara, T. et al, "Fully Digital Vector-Controlled PWM VSI-Fed ac Drives with an Inverter Dead-Time Compensation Strategy", IEEE Trans. IA., Vol. 27, No. 3, pp. 522-559, may, 1991.
- [2] Leggate, D., Kerman, R. J., "Pulse Based Dead Time Compensator for PWM Voltage Inverters", IEEE IECN Conf. Rec., Vol. 1, pp. 474-481, 1995
- [3] 오원석 외, "공간벡터 전류제어기법을 이용한 벡터제어형 인버터의 dead time 보상", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.265-269, 1994

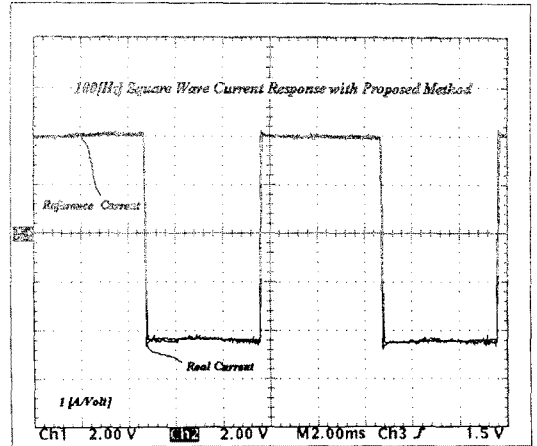


그림 13 100Hz 구형파 전류 응답  
Fig 13. 100Hz square wave current response

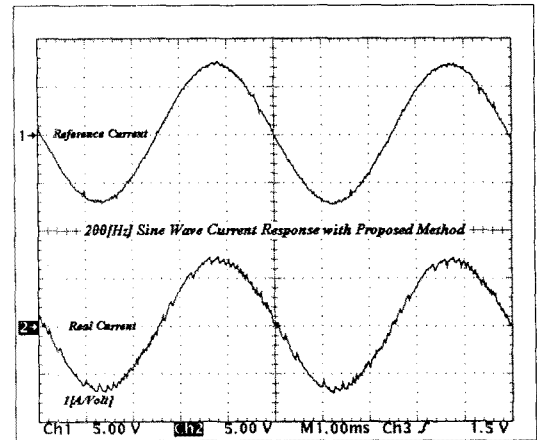


그림 14 200Hz 정현파 전류 응답  
Fig 14. 200Hz sine wave current response

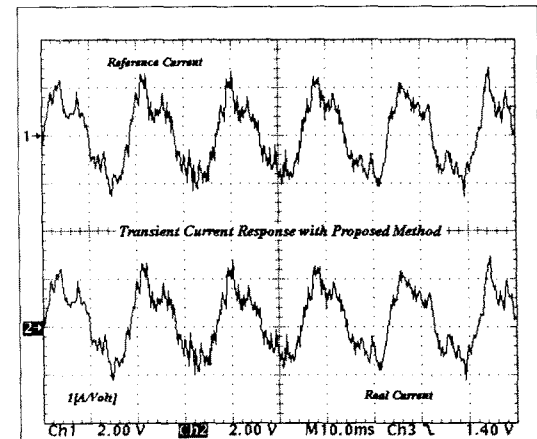


그림 15 과도상태 전류 응답  
Fig 15. Transient current response

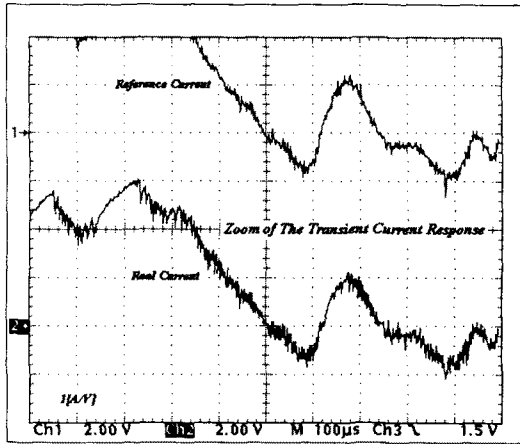


그림 16 과도상태 전류 응답의 확대  
Fig 16. Zoom of transient current response

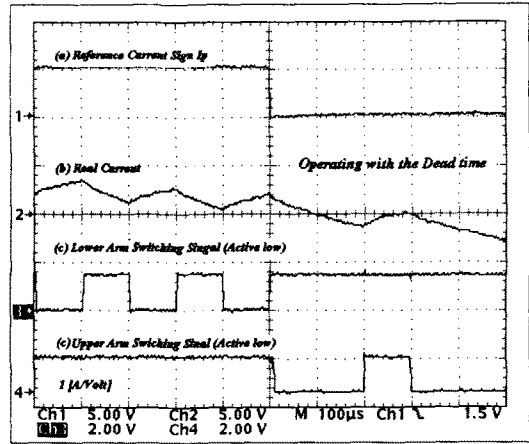


그림 19 데드타임이 적용된 경우  
Fig 19. In case of adopted dead time

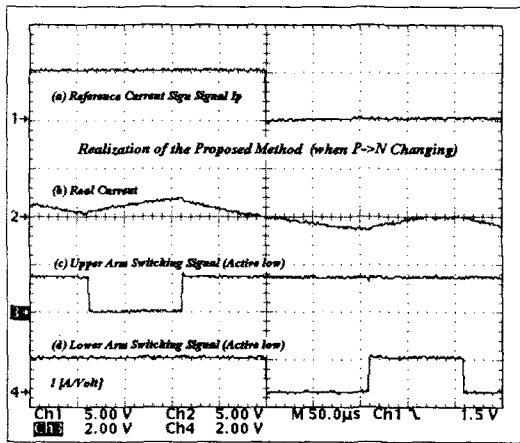


그림 17 극성 전환시의 파형 ('양 -> 음'의 경우)  
Fig 17. Waveforms at polarity changing  
(in case of positive to negative)

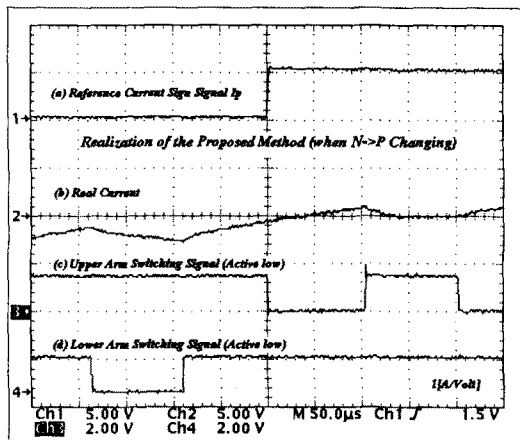


그림 18 극성 전환 시의 파형 ('음 -> 양'의 경우)  
Fig 18. Waveforms at polarity changing  
(in case of negative to positive)

[4] Bose, B. K. et al, "Base/Gate Drive Suppression of Inactive Power Devices of a Voltage-FED Inverter and Precision Synthesis of AC Voltage and DC Link Current Waves", IEEE-IECON Conf. Rec., pp. 1034-1040, 1990.

[5] 한윤석 외, "인버터 출력파형 개선을 위한 새로운 휴지기간 최소화 알고리즘", 대한전기학회 논문집, 제 48B권 5호, pp. 269-277, 1999.

본 논문은 유한대학 학술 연구비 지원에 의하여 수행된 연구의 결과입니다. 학교 당국 및 연구소 관계자 분들께 감사드립니다.