

## 스위칭 손실저감을 위한 인버터 휴지기간 최소화 알고리즘

최정수, \*신재화, 김영석  
 인하대 전기공학과, \*인천전문대학교 전기과

### A Noble Dead Time Minimization Algorithm for Reducing the Switching Losses

Choi Jung soo, \*Sin jea wha, Kim young seek  
 School of Electrical & Computer Engineering, Inha University, \*Inchon junior college

**Abstract** - In this paper, a noble dead time minimization algorithm is presented for reducing the switching losses. Firstly, the effects of the inverter dead time are examined. Secondly the principle of the proposed algorithm is explained with the commutation conditions. And the validity of the proposed algorithm is verified by simulation results. We can conclude from the results that the proposed algorithm have a virtue which is able to reducing the hamonics in the output vltages and which make the output voltage equal to the reference vlaue. Another merit is this method can reduce the number of inverter switchings.

행하였으며, 문헌[5]에서는 인버터 휴지기간에 의한 지연과 스위칭소자의 턴-온시간(Turn-On Time)과 턴-오프 시간(Turn-Off Time)에 의한 지연 및 스위칭소자의 전압강하분을 보상하는 방법을 제안한 바 있다.

본 논문에서는 인버터 발생전압에 따라 부하로 흐르는 전류의 부호를 판별하여 펄스폭 변조시 휴지기간을 한주기에 두 번만 인가하여 휴지기간을 최소화하는 알고리즘을 제안한다. 본론에서는 인버터 휴지기간에 따라 발생하는 고조파량을 검토하고, 제안하는 알고리즘의 원리와 펄스폭 변조 방식에 의해 만들어지는 게이트 구동 신호에 적용하는 방법을 설명한다. 모의실험에서는 SVM과 연계하여 구현한 경우 고조파 발생량과 스위칭 턴-온 횟수에 대한 비교로 제안하는 알고리즘의 타당성을 검토하였다.

## 1. 서 론

전력용 반도체 소자의 발달과 전력전자기술의 발전에 힘입어 고도의 정밀도를 요구하는 제어전원으로서 인버터의 사용이 증가하고 있으며, 이를 사용한 교류전동기의 가변속제어가 활발히 이루어지고 있다. 제어전원으로서 인버터는 가변주파수 가변전압(VVVF)발생을 위하여 교류전력을 직류로 변환한 이후에 직류링크전압을 변조(Modulation)법에 의해 가변 교류를 발생하는 장치이다. 변조기법은 직류 전압을 효율적으로 사용하여 전력용 스위칭 소자의 온·오프에 의해 직류단의 에너지를 성형하여 출력하는 방법으로 삼각파 비교방식, 스위칭횟수를 줄이는 방법, 특정 고조파를 제거하는 방법 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 가운데에서 공간벡터 변조방식<sup>[1][13]</sup>(Space Vector Pulse Width Modulation, 이하 SVM이라 칭함)은 고조파 발생량이 작고 직류전원을 91%이상 선형적으로 이용할 수 있는 등의 장점을 가지고 있어 이에 대한 연구가 추류를 이루고 있다. 최근에는 고압 대용량화를 위한 NPC(Neutral Point Clamped) Multi-Level VSI(Voltage Source Inverter)에 적용을 위한 공간벡터 변조기법도 활발히 연구되고 있다.

한편, 교류를 발생하기 위한 인버터는 직류에너지를 부하에 대해 정·부방향으로 인가하여야 하므로 스위칭소자의 턴-오프 시간으로 인한 상압(Upper Leg)과 하압(Lower Leg) 사이의 단락방지를 위한 휴지기간(Dead Time)을 두고 있다. 그러나 휴지기간의 존재는 지령전압(Reference Voltage)에 의해 부하로 인가되는 전압에 고조파를 포함하게 되고, 원하는 크기의 전압을 발생할 수 없는 문제가 지적되어 왔다. 이와같은 휴지기간 삽입에 의한 단점을 해결위한 많은 선행연구가 있어왔다. T. Sukegawa[4] 등은 샘플링 시간 동안에 휴지기간의 비례하는 직류링크 전압의 크기를 지령전압에 더하여 보상을

## 2. 본 론

### 2.1 인버터 휴지기간에 의한 영향

인버터 휴지기간의 삽입은 이상적인 스위칭 동작을 저해하고, 고조파를 발생하며, 인가전압의 크기를 줄이는 단점으로 작용하고 있다. 그림 1은 이상적인 스위칭 동작과 휴지기간이 있는 경우의 펄스 패턴을 보이고 있다. 문헌[6]에서 샘플링 시간의 중앙에 펄스패턴을 두어야 고조파발생을 저감할 수 있음이 고찰되었다. 휴지기간으로 인한 펄스패턴의 지연은 고조파를 발생하게 되고, 기본파 한주기의 끝부분에서 기본파주파수와 캐리어 주파수의 비동기에 의해 고조파를 발생하게 되는 단점이 나타난다. 그림 2는 인버터의 캐리어 주파수(Carrier Frequency)를 5kHz로 하고, 삼각파 비교방식에 의해 발생된 전압에 의해 부하전류에 나타나는 고조파 발생량에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 휴지기간이 길어지면 고조파의 발생량이 증가함을 알 수 있다. 인버터 출력이 나타나는 고조파는 유도전동기와 같은 전기기에 온도를 상승시키고 에너지 사용의 효율을 저하하게 된다. 또한 지령전압에 비해 작은 전압이 발생하므로 고정도의 토오크제어를 위해 속도제어기에 보상기를 설치하여 인가전압의 크기를 보상해야 한다. 또한 속도센서없는 벡터제어에서는 실측전압의 사용이 용이하지 않아 지령전압을 사용하고 있어 휴지기간에 의한 인가전압과 지령전압의 위상오차로 인하여 제어 성능이 저하한다.

### 2.2 휴지기간 최소화 알고리즘

유도전동기와 같은 유도성부하의 경우 전류는 연속적으로 흐르게 되므로, 샘플링 시간동안 전류의 방향이 바뀌지 않는다는 가정으로부터 스위칭-온(Switch On)신

호에 대해서 턴-온 조건이 되지않는 소자가 있게 된다. 그림 3은 유도전동기를 부하로 하는 인버터를 나타내고, 그림 3의 (a)는 U상의 전류가 부하로 흐를 때를 정방향으로 하였을 때 정방향의 전류인 경우를 표시하고 있다. 그림 1에 나타난 펄스 패턴을 게이트 구동 신호 (Gate Drive Signal)로 인가할 경우 U신호에 의해 하암의 자기소호형 소자는 턴-온 조건이 형성되지 않고, 전류연속이므로 다이오드에 의해 부하측으로 환류된다. 따라서 턴-온이 일어나지 않는 소자에 대한 휴지기간은 불필요하게 된다. 이와 같이 전류가 부방향으로 흐르는 경우인 그림 3의 (b)에 있어서도 같은 결과를 갖게 된다. 같은 극성의 전류가 흐르게 되는 동안에는 휴지기간을 둘 필요가 없으므로, 전류의 극성이 바뀌는 경우에만 휴지기간을 삽입하면 기본과 한주기에 두 번의 휴지기간이 사용된다. 전류극성이 바뀌는 경우에 대한 고려가 요구된다. 그림 4에 전류극성이 변환되는 경우의 휴지기간의 삽입에 대한 방법을 나타내었다.  $i_{TH+}$ 와  $i_{TH-}$ 는 소

자의 턴-온과 턴-오프 특성에 따라 완전 전류 (Commutation)하기까지 요구되는 시간에 해당하는 최소 전류 레벨을 의미한다. 그림에서 나타난 것과 같이 전류  $i$ 가  $i_{TH+}$ 보다 작은 경우 상암의 스위치 온 신호는 차단되고, 하암의 스위치 온 신호가 인가 된다. 빗금으로 표시된 구간에서 상암의 스위치는 오프상태이고, 하암 스위치는 턴 온이 되지 못하므로 다이오드에 의해 환류한다. 전류가 영(Zero)이 되어 하암 스위치 온 조건이 형성되면 부방향의 전압이 부하에 인가되어 부의 전류가 발생하게 된다. 부방향에서 정방향으로 극성이 바뀌는 경우도 동일한 논리로 구성할 수 있다. 그림 5에 제안한 알고리즘을 구현하기위해 요구되는 전류극성 판별회로를 나타내었다. 표1에 펄스폭 변조에 의해 발생한 게이트 구동 신호와 전류부호 판별신호를 사용하여 제안하는 알고리즘에 의한 스위칭 논리를 나타내었다. 전류부호 판별회로의 결과와 변조 기법에 의해 발생한 스위칭 패턴과의 단순한 논리적에 의해 구현이 가능하다.

### 3. 모의실험 결과

모의실험은 Y결선된 10mH, 2Ω으로 구성된 수동부하에 대해 직류링크 전압을 341V, 모듈레이션 인덱스를 0.5, 인버터의 캐리어 주파수를 5kHz로 전압을 공급하였다. 그림 6에는 휴지기간이 4.5μs인 경우의 전류파형과 제안한 방법에 의한 전류파형을 비교하여 나타내었다. 제안한 방법이 휴지기간을 갖는 인버터 출력에 비해 인가전압의 크기도 줄어들지 않음을 전류의 크기로부터 알 수 있고, 각각의 고조파 분석결과로부터 고조파 함유율도 작음을 쉽게 알 수 있다. 또한 제안하는 알고리즘은 스위치 소자의 구동신호도 반으로 줄일 수 있어 스위칭 손실을 저감할 수 있다.

### 4. 결론

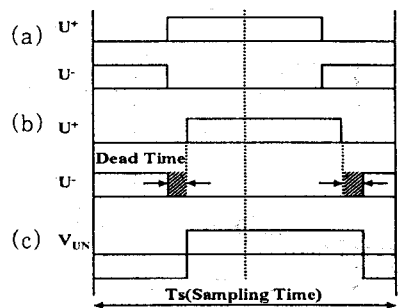
본 논문에서는 인버터 동작원리에 의해 불필요한 스위치 온을 방지하고 휴지기간의 삽입을 기본과 한주기에 두 번으로 제한하는 새로운 휴지기간 최소화 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 방법에 의해 발생하는 전압은 지령치 전압에 대해 크기 감소없이 출력되고, 고조파 함유율도 현저하게 줄어들음을 실험에 의해 확인하였다. 본 방법은 브리지 형태로 구성되고, 자기소호형 소자를 사용한 인버터 및 컨버터에 대하여 모두 적용이 가능하며,

모든 펄스폭 변조 방식에 대해 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 전류부호 판별회로를 기존의 인버터회로에 부가하여야 하는 단점이 있으나, 소요되는 회로구성 소자의 수가 작고 시간지연이 거의 없으므로 실용화 가능하리라 예상된다. 금후의 연구과제로 휴지기간 보상방법에 의한 실험결과와 비교하여 성능을 평가하고 스위칭 소자에 의한 시간지연을 보상하는 것 등이 남아있다.

본 연구는 한국학술진흥재단이 지원하는 자유공모과제 (1997-001-E00206)로 수행되었음을 알립니다.

### 5. 참고문헌

- [1] V. R. Stefanovic, "Space-Vector PWM Voltage Control with Optimized Switching Strategy", IEEE-IAS Ann. Mtg., Vol.1, pp. 1025~1033, 1992.
- [2] J. Holtz, "Pulsewidth Modulation-A Survey", IEEE-PESC Conf. Rec., pp.11~18, 1992.
- [3] Heinz van der Broeck, "Analysis of the Harmonics in Voltage Fed Inverter Drives Caused by PWM Schemes with Discontinuous Switching Operation", EPE Confer. Rec.3, pp.261~266, 1991.
- [4] Takashi Sugagawa, Kenzo Kamiyama, Katsuhiko Mizuno, Takyuki Matsui, Toshiaki Okuyama, "Fully Digital, Vector-Controlled PWM VSI-Fed ac Drives with an Inverter Dead-Time Compensation Strategy, IEEE Trans. I.A., Vol 27, No 3, pp. 552~559, May, 1991.
- [5] 최중우, 설승기, "새로운 데드타임보상법을 이용한 인버터 출력전압의 합성", 대한전기학회 논문집, 제44권, 제4호, pp.453~459, 1995.



(a) 이상적인 스위칭 패턴  
(b) 휴지기간이 부가된 스위칭 패턴  
(c) 신호(b)에 의해 발생한 U상 정압  
그림 1. 인버터 구동신호 신호

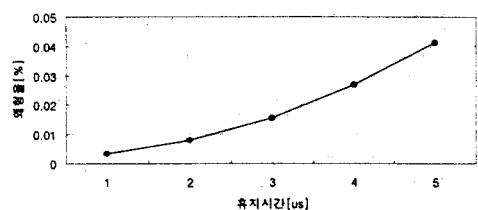


그림 2. 인버터 휴지기간에 따른 왜형률(THD)비교

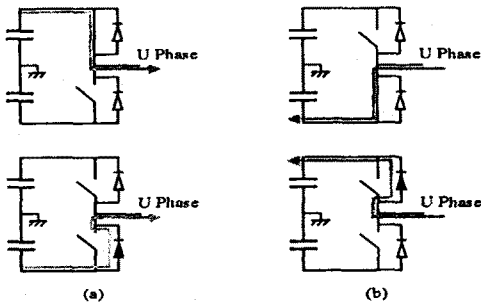


그림 3. 스위치 소자의 턴온(Turn-On) 및 전류(Commutation)설명

- (a) U 상에 정방향으로 전류가 흐르는 경우
- (b) U 상에 부방향으로 전류가 흐르는 경우

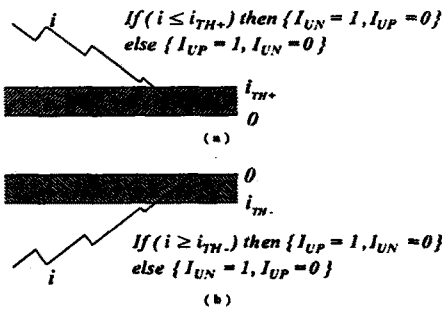


그림 4. 전류극성 절환에서 휴지기간 처리  
 (a) 정방향에서 부방향으로 극성절환의 경우  
 (b) 부방향에서 정방향으로 극성절환의 경우

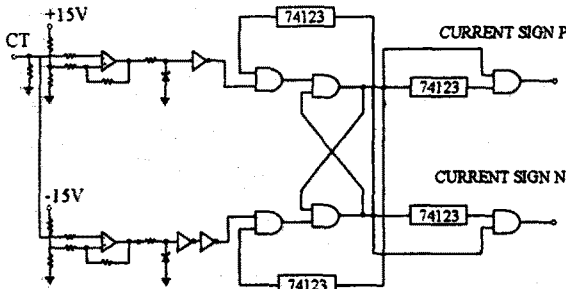
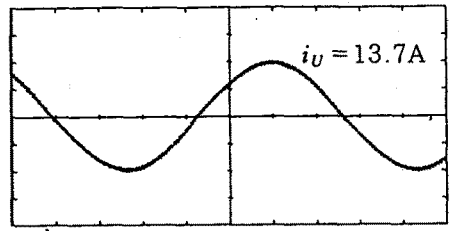


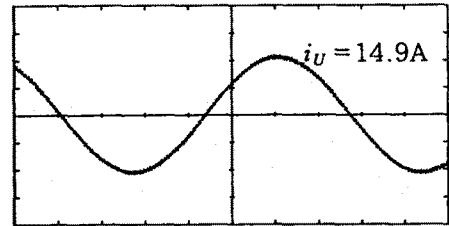
그림 5. 전류부호 판별회로

표 1. 게이트 구동신호 발생 진리표

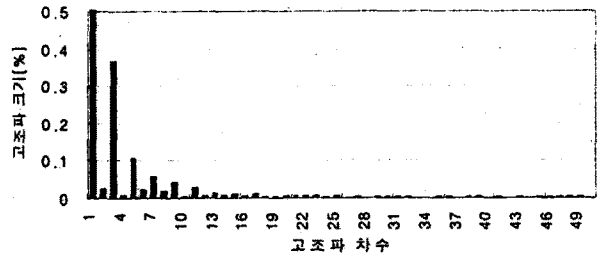
제안하는 게이트 구동 패턴	펄스폭변조법의 출력
$G_{UP} = U^+ \cdot I_{UP}$	$U^+$
$G_{UN} = U^- \cdot I_{UN}$	$U^-$
$G_{VP} = V^+ \cdot I_{VP}$	$V^+$
$G_{VN} = V^- \cdot I_{VN}$	$V^-$
$G_{WP} = W^+ \cdot I_{WP}$	$W^+$
$G_{WN} = W^- \cdot I_{WN}$	$W^-$



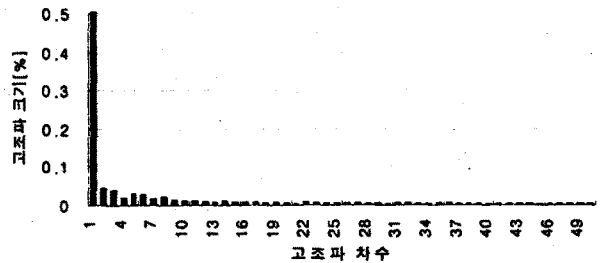
10A/div 3ms/div  
 (a) 휴지기간 4.5μs인 인버터 전류파형



10A/div 3ms/div  
 (b) 제안하는 방법에 의한 전류파형



(c) 결과(a)의 고조파 분석결과



(d) 결과(b)의 고조파 분석결과

그림 6. 시뮬레이션 결과