

유효시간 개념을 적용한 간편한 정적 과변조 기법

박 선 영, 임 동 찬, 이 동 명
홍익대학교 전자전기공학부

A Simple Static Overmodulation Method by using the concept of effective time

Sun Young Park, Dong Chan Lim and Dong Myung Lee
School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

ABSTRACT

In this paper, a static overmodulation method using the effective time to control the overmodulation is proposed. The effective time is derived from actual switching time interval. The proposed method reduces the complex operations such as complicated gating time. The experimental results have been simulated in MATLAB/SIMULINK.

1. 서 론

본 논문에서는 기존의 SVPWM 전압 변조 방식 시 복잡하게 계산되는 실제 게이팅 시간을 'effective time'이라는 개념을 도입하여 간단한 알고리즘을 적용한 과변조 기법 중 선형영역 모드에서 6 step 영역 모드까지 전환할 수 있는 정적 과변조 기법을 제안한다. 제안된 기법은 시뮬레이션 결과를 통하여 그 효용성을 검증한다.

2. Effective time을 이용한 정적 과변조 기법

2.1 정적 과변조 기법

유효시간, 즉 effective time을 이용한 PWM 방식은 전압 변조 시 연산 작업이 매우 간단해 질뿐만 아니라 선형성이 유지되지 못하는 과변조 영역에서도 매우 높은 효율성을 가진다^[1]. 논문 [1]에서는 과변조 영역에서 동적 과변조 기법을 적용할 시 'effective time'의 크기를 조절하거나 구간을 잘라냄으로써 다른 PWM 기법들보다 훨씬 간단한 알고리즘을 제시했다. 논문 [1]에서는 과변조 영역에서의 전압을 공간벡터의 육각형 빔변에 사영시키는 동적과변조에 대한 것만을 언급하고 있다. 따라서 본 논문에서는 유도전동기의 V/F제어 등에서 이용되는, 선형영역 운전에서 DC 전압을 최대로 이용하는 6 step 운전 전환 시 까지 출력전압의 선형성을 유지하기 위한 정적과변조에 'effective time'을 적용하여 더욱 간략해진 알고리즘을 제안한다.

과변조 영역에서는 변조지수 M을 식 (1)과 같이 새롭게 정의하여 M에 따라 모드 1과 모드 2로 나누어 제어한다^{[2] [3]}.

$$M = \frac{V^*}{\frac{2}{\pi} V_{dc}} \quad (1)$$

지령전압 벡터 V^* 가 SVPWM 선형 제어 영역인 육각형의 내접원 상으로 주어지는 최대 선형 제어 상전압 $V_{dc}/\sqrt{3}$ 인 경우 변조 지수 $M=0.9069$ 가 되고, 6 step 제어 모드 시 상전압의 최대값 $2V_{dc}/\pi$ 인 경우 변조 지수 $M=1$ 이 된다. 따라서 정적 과변조 영역의 범위는 다음과 같다.

$$0.9069 \leq M < 1 \quad (2)$$

2.2 Effective time을 이용한 정적 과변조 기법

Effective time은 SVPWM에서 영벡터를 인가하지 않는 실제 스위칭이 될 때의 시간적 구간을 의미한다. Effective time의 개념은 지령 상전압과 직접적인 관련이 있다. 따라서 SVPWM에서 지령 상전압을 dq 공간 상으로 변환하여 T_1 , T_2 를 연산해 게이팅 시간을 구할 필요 없이 지령 상전압을 이용한 T_{abs} 와 T_{eff} 의 간단한 연산만으로 결과를 얻을 수 있다.

2.3.1 과변조 모드 I ($0.9069 \leq M < 0.9514$)

과변조 모드 1에서는 평균적으로 동일한 출력을 내야하기 때문에 선형 영역 내에서의 지령 전압은 보상각 α_c 에 의해 승압시킨 뒤, 육각형을 벗어나는 구간에서 effective time의 크기를 effective time과 sampling time의 비로 줄여 육각형의 빔변으로 지령 전압을 끌어 내리는 동일 위상 과변조 기법을 사용한다. 보상각 α_c 와 본래의 지령 전압 기본파의 관계식은 Fourier series를 이용해 구할 수 있다^[4]. 따라서 과변조 영역 시 새롭게 계산된 게이팅 시간을 A상에 대해서만 보면 다음과 같다.

$$T'_{ga} = \begin{cases} \left(\frac{T_s}{T_{eff}}\right)(T_{as} - T_{min}) & (T_{eff} > T_s) \\ T_{ga} & (otherwise) \end{cases} \quad (3)$$

2.3.2 과변조 모드 II ($0.9514 \leq M < 1$)

과변조 모드 2에서는 유지각 α_h 에 의해 범위를 나누어 지령 전압을 육각형의 꼭짓점에 일정 시간 머물게 하거나 모드 1과 마찬가지로 빔변으로 끌어 내리는 과변조 기법을 사용한다. 과변조 모드 2의 경우는 일정 시간 동안 게이팅 시간을 고정해야 하므로 모드 1과 다르게 불연속 스위칭 모드가 된다. 과변조 영역 시 새롭게 계산된 게이팅 시간을 A상, sector 1 ($0 \leq \theta < \frac{\pi}{3}$)에 대해서만 보면 다음과 같다.

$$T'_{ga} = \begin{cases} \left(\frac{T_s}{T_{eff}}\right)(T_{as} - T_{min}) & (\alpha_h \leq \theta < \frac{\pi}{3} - \alpha_h) \\ \text{holding} & (\alpha_h > \theta \text{ or } \frac{\pi}{3} - \alpha_h \leq \theta) \end{cases} \quad (4)$$

3. 시뮬레이션 및 결론

MATLAB/SIMULINK를 사용하여 2 level 인버터 시스템을 시뮬레이션 한다. 시뮬레이션의 전체 개요 회로도에는 그림 1과 같으며, 부하단 측에 Synchronous machine(squirrel cage)을 연결하였다. DC 전원 전압은 300[V]이고 지령 전압의 주파수는 60[Hz]이다.

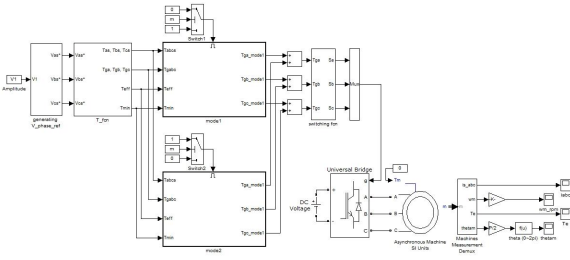
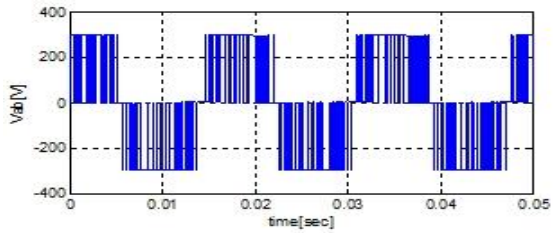
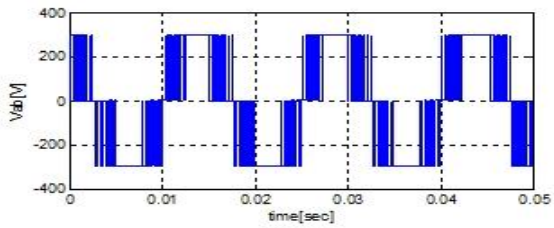


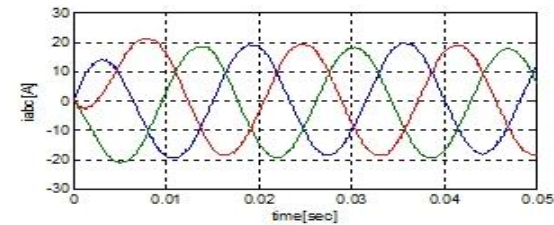
그림 1 Effective time을 이용한 2-level 인버터 시스템
Fig. 1 2-level inverter system using the effective time



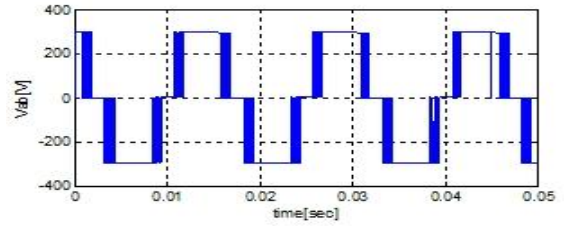
(a) 선형 영역 : $m = 0.9$



(b) 과변조 영역 모드 I : $m = 0.93$



(c) 과변조 영역 모드 II : $m = 0.97$



(d) 6-step 운전 영역 : $m = 1$

그림 2 2-level 인버터의 선간전압과 3상 전류 파형

Fig. 2 line-to-line Voltage and 3-phase current waveforms of 2-level inverter

각각의 시뮬레이션 결과를 통해 기존의 방법보다 알고리즘은 간단하면서도 모드 전환구간을 적절히 제어하는 제한된 과변조 기법을 확인하였다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.
(No. 2010T100200468)

참고 문헌

- [1] D.W. Chung, S.K. Sul and J.S. Kim, "Unified PWM Technique for Real Time Power Conversion", Proceed. of the Power Conv. Conf., vol. 1, pp. 265-270, 1997.
- [2] 김상훈, "DC 및 AC 모터 제어", 북두출판사, 2008.
- [3] D.C. Lee and G.M. Lee, "A Novel Overmodulation Technique for Space Vector PWM Inverters", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 13, no. 6, Nov, 1998.
- [4] 배장호, 김연중, 원충연, 최종목, 기상우 "공간벡터 PWM의 과변조 영역에서 출력전압 선형화", *전자공학학회지*, pp. 1374-1384, 1999.