

시평균화방법을 이용한 PWM 신호발생에 관한 연구

• 홍 순 욱 차 제 덕 조 규 복
효성중공업(주) 기술연구소

A Study on the PWM Generation using Time Average Model

• Soon-Wook Hong Jae-Deok Cha Kyu-Bock Cho

Hyosung Industries Co, Ltd.

Research & Development Institute

ABSTRACT

Programmed PWM(Pulse Width Modulated) generation techniques eliminating several low order harmonics have been widely used in the inverter circuit which produces minimum current ripple, reduced torque pulsations and thereby improves overall system performance. However, the applications of the programmed PWM technique are limited to CVCF(Constant Voltage Constant Frequency) applications and various motor drives. Although the programmed PWM produces a lower harmonic distorted waveform than the carrier modulated PWM, real-time programming is not possible because of the complicated calculation required for the gating signal. In this paper, a new programmed PWM technique named TAM(time averaging model) is developed to compensate for the demerits of the conventional programmed PWM technique with moderate harmonic distortion. Computer simulations are performed to verify the performance of the proposed algorithm.

1. 서 론

인버터회로의 특성은 대개 PWM 패턴의 발생부에서 어떤방식을 이용하는가에 따라 좌우된다. 현재 일반적으로 많이 쓰이고 있는 방식으로는 크게 분류하여 Carrier modulated PWM 방식과 Programmed PWM 방식이 널리 이용되고 있다.

Carrier modulated PWM 방식은 carrier 파형과 원하는 기준 파형을 비교하여 인버터의 출력파형을 발생시킨다. Carrier 파형으로는 삼각파가 일반적으로 널리 이용되고 있으나 톱니파나 삼각파를 기초로 하여 변형된 파형이 그 적용에 따라 연구되어 왔다. Carrier 파형을 이용한 방식의 장점으로는 제어회로가 비교적 간단하고 주파수변조나 전압변조가 용이하다는 장점이 있어 범용 인버터회로나 유도전동기의 속도제어용으로 널리 이용되어 왔다. 그러나 이러한 carrier에 의한 변조방식은 이상적으로 고조파성분이 스위칭에 의해서만 발생하지만 낮은 고조파성분들에 의해 harmonic spectra가 비교적 좋지 못하다.

Programmed PWM 방식은 푸리에 급수에 의해 dc전압의 고조

파성분중에서 일부 고조파를 계산식에 의해 제거시키고 나머지 고조파는 필터나 삼상회로의 결선방식에 의해 제거시키는 방식으로 원하는 기준파형을 발생시킨다 [1],[2]. Programmed PWM 방식은 최소의 리플성분, 제한된 토크변동과 지정된 고조파성분제거와 같은 특정한 함수를 최적화하기 위해 이용되어 높은 특성의 PWM 파형을 얻는데 사용된다. Programmed PWM 방식의 종류로는 크게 선간전압 제어용과 상전압 제어용으로 구분할 수 있다. 한편 이 제어방식은 유도기 제어와 무정전 전원장치의 제어 등에 적용 될 수 있으며, 주파수나 전압레벨의 변화에 따라 구분되기도 하고 유도기 제어에 있어서도 속도변화에 따라서 그 적용 제어방식이 다르게 된다 [1],[3]. 이 방식의 장점으로는 1) 스위칭수가 carrier modulated PWM방식에 비해 50% 정도 줄어 들고 이에 따라 스위칭 손실을 줄일 수 있으며 2) overmodulation을 통해 전압이용율을 높일 수 있고 3) 전압과 전류파형이 좋으므로 dc link 전압에 리플성분이 작다. 이에 비해 단점으로는 낮은 파형 왜율을 얻기위해 복잡한 계산이 필요하며 real-time 변조가 메모리소자에 의해 한정되어 있다는 점이다 [4].

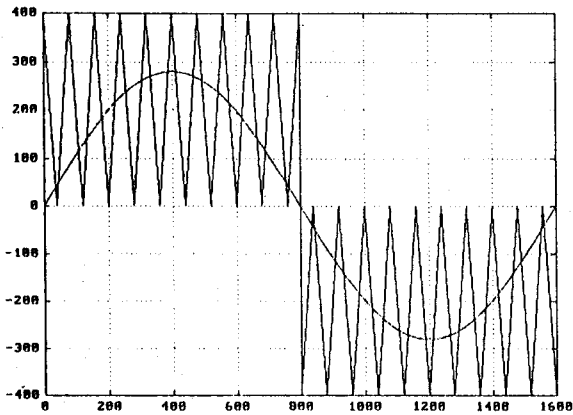
본 논문에서는 삼각파 비교방식의 장점인 연속적인 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 제어를 가능하게 하면서 동시에 programmed PWM 방식의 장점인 낮은 왜율을 얻을 수 있는 새로운 PWM 패턴 발생 기법을 소개하고자 한다. 이 방법은 원리상 programmed PWM 방식을 기초로 하고 있지만 계산방법이 간단하여 real-time 변조가 가능하다는 장점이 있다.

새로 제시된 PWM 발생방식의 특성을 확인하기 위하여 삼각파비교에 의한 PWM 발생방식과 그 특성을 시뮬레이션을 통해 비교하였다.

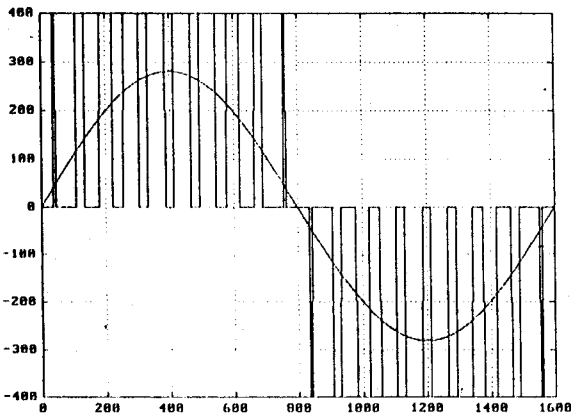
II. 동작 원리

Carrier modulated PWM 방식의 기본원리는 기준파의 주기를 n 등분하여 그 시점의 파형을 특정한 선형 함수와 비교하여 파형을 발생시키며, 발생된 PWM 파형의 기본파성분은 선형 제어 범위에서 기준파형과 같아지고 고조파 성분은 기준파의 주파수의 n 배에 해당하는 주파수와 그 배수의 주파수의 성분을 가진 PWM 파형이 발생 된다.

Carrier modulated PWM 방식의 대표적인 삼각파 비교방식에 의해 발생된 PWM 파형과 필터를 통해 출력된 파형은 그림 1 과



a)



b)

그림 1. 삼각파 비교에 의한 PWM 변조방식

a) 기준파형과 비교삼각파

b) 비교기에 의한 PWM 파형과 출력의 기본파 성분

같다. 그림 1의 (a)에서는 삼각파와 기준파형이 나타나고 있으며, 그림 1의 (b)는 (a)의 삼각파와 기준파의 비교에 의한 PWM 발생과 발생파형에 의한 기본파성분의 파형을 나타내고 있다.

시평균방법에 의한 PWM 발생방식은 programmed PWM 방식을 이용하여 인버터 스위칭을 제어하지만 PWM 발생방법에 있어서는 carrier modulated PWM과 유사하다. 파형발생의 원리는 기준파형을 n 등분 하였을 때, 한 샘플링구간의 기준파형의 면적은 인버터의 dc link 전압과 펄스폭에 의한 면적과 동일하다는 가정에 의해 그 면적에 대한 펄스폭을 결정하게 된다.

제안된 방식의 PWM 패턴의 발생을 식으로 표현하면 다음과 같다.

원하는 기준파형을

$$v(t) = V_m \sin \omega t \quad (1)$$

라고 정의하고 한 샘플링 구간 T_s 가 기준주파수의 주기에 비해 충분히 작아 사인 파형이 구간내에서 dc라고 가정하여 i번째 구간의 기준파형의 면적을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S_{ref}(i) = V_m \sin \omega t_i \times T_s \quad (2)$$

한편 i번째 구간의 스위치의 on-time을 $t_{on}(i)$ 라고 정의하고 인버터의 dc link의 전압을 V_{dc} 라고 정의하여 미지의 PWM 주기의 on-time 동안의 면적은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{pwm}(i) = t_{on}(i) \times V_{dc} \quad (3)$$

가정에 의하여 (2)식과 (3)식을 등가시켜 i번째 구간의 on-time을 정의한다.

$$t_{on}(i) = \frac{V_m \sin \omega t_i \times T_s}{V_{dc}} \quad (4)$$

식 (4)에 의해 각 구간의 on-time을 구할 수 있고 그 파형 발생방식은 그림 2에 나타나 있다. 이러한 이론에 의해 발생되는 각 구간의 duty cycle $d(i)$ 의 일반식을 $d(i) = t_{on}(i)/T_s$ 라 정의할 때 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$d(i) = \frac{V_m \sin \omega t_i}{V_{dc}} \quad (5)$$

식 (5)에 의해 발생된 PWM 파형과 그 기본파성분은 그림 2와 같이 나타난다.

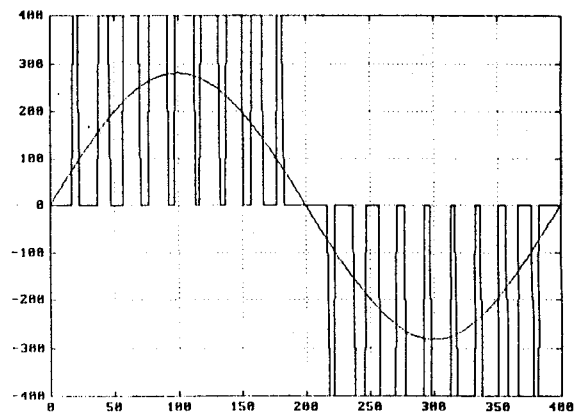


그림 2. 시평균방법에 의한 PWM 패턴과 출력의 기본파 성분

III. 컴퓨터 시뮬레이션

제안된 알고리즘의 특성을 파악하기 위해 파형 왜음을 통해 삼각파 비교방식의 특성과 비교하였다. 시뮬레이션에 사용한 시스템 파라미터는 표 1에 요약되어 있다.

그림 3은 제안된 시평균법에 의한 출력의 왜율과 삼각파 비교방식에 의한 출력 왜율을 비교한 그림이다. Modulation index는 일반적인 유도전동기 제어에 사용되는 0.4 - 1.2까지 변화시켜 그 변화를 관찰하였다. 그림에서 보면 두 방식의 파형 왜율의 변화가 거의 비슷하거나 시평균법에 의한 PWM 방식이 다소 높음을 확인할 수 있다.

같은 조건에서 두 방식의 특성을 비교하기 위해 제 19 고조파 성분의 함유율을 확인하여, 그 결과를 표 2와 표 3에 보았다. 그림 4와 그림 5에는 선형 제어구간의 두 방식의 고조

파성분을 나타내어 그 특성을 비교하였다. 그림 4의 그래프를 보면 삼각파 비교에 의한 PWM 발생방식에서 고조파성분이 비교적 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 반면 그림 5의 그래프는 시평균법에 의한 PWM 발생방식으로 3조파의 성분이 다른 고조파의 성분에 비해 현저하게 크다는 것을 알 수 있다. 이 결과로 시평균법에 의한 PWM 발생 방법의 전체 왜를 자체는 삼각파 비교방식과 비슷하지만 3조파성분이 현저하여 3상 인버터에 적용하면 삼각파 비교방식보다 낮은 파형 왜율이 나타나게 됨을 알 수 있다.

변수 정의	값
샘플링 주파수	6KHz
필터 인덕턴스	0.312mH
필터 캐패시턴스	225.52uF
필터 공조주파수	600Hz
subinterval 수	160
modulation index	0.4-1.2

표 1. 시뮬레이션 파라미터

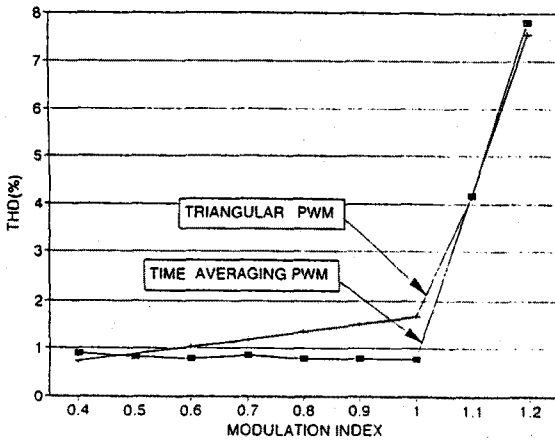


그림 3. modulation index에 따른 파형 왜율

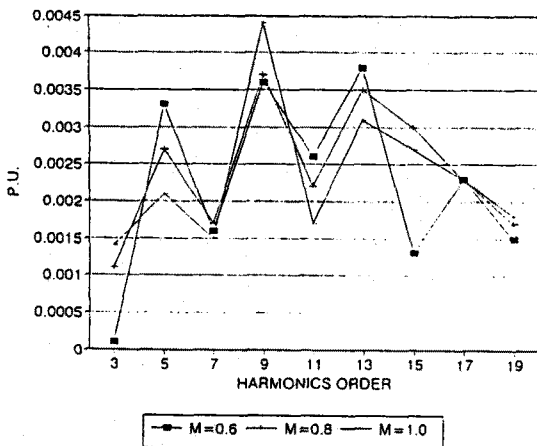


그림 4. 삼각파 비교방식에 의한 각 고조파 성분

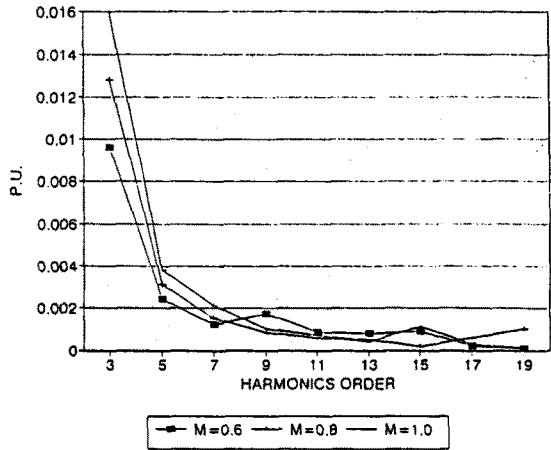


그림 5. 시평균 방식에 의한 각 고조파 성분

order	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
3	0.009	0.018	0.098	0.26	0.11	0.043	0.14	2.88	6.67
5	0.51	0.29	0.33	0.27	0.27	0.28	0.21	2.6	3.9
7	0.035	0.21	0.16	0.22	0.17	0.22	0.15	0.12	0.38
9	0.45	0.52	0.36	0.48	0.37	0.38	0.44	0.77	0.31
11	0.2	0.27	0.26	0.1	0.22	0.27	0.17	0.47	0.89
13	0.32	0.31	0.38	0.38	0.35	0.29	0.31	0.02	0.25
15	0.049	0.11	0.19	0.21	0.3	0.26	0.27	0.28	0.09
17	0.26	0.26	0.23	0.23	0.23	0.26	0.23	0.18	0.18
19	0.89	0.15	0.15	0.18	0.17	0.2	0.8	0.18	0.2
THD	0.89	0.83	0.79	0.86	0.79	0.79	0.77	4.17	7.81

표 2. 삼각파 비교 PWM 방식의 고조파 성분과 파형왜율

order	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
3	0.85	0.81	0.96	1.12	1.13	1.44	1.6	3.22	6.61
5	0.16	0.2	0.24	0.27	0.31	0.35	0.38	2.24	3.48
7	0.085	0.13	0.12	0.13	0.15	0.2	0.21	1.15	0.58
9	0.081	0.13	0.17	0.082	0.081	0.093	0.1	0.47	0.57
11	0.11	0.13	0.085	0.088	0.055	0.076	0.068	0.21	0.69
13	0.063	0.034	0.078	0.055	0.049	0.064	0.039	0.22	0.019
15	0.22	0.15	0.087	0.019	0.019	0.12	0.11	0.23	0.25
17	0.022	0.12	0.023	0.007	0.061	0.023	0.029	0.075	0.34
19	0.051	0.097	0.012	0.074	0.1	0.028	0.014	0.032	0.079
THD	0.74	0.89	1.02	1.17	1.34	1.5	1.67	4.14	7.55

표 3. 시평균 PWM 방식의 고조파 성분과 파형왜율

VI. 결 론

본 논문에서는 시평균방법에 의한 PWM 파형발생과 그 특성을 고조파성분과 파형 왜율을 통해 알아 보았다. 제안된 PWM 발생방식은 programmed PWM 방식을 이용하여 파형을 발생함으로써 3상 인버터회로에서 Carrier modulated PWM 방식에 비해 좋은 왜율이 나타남을 입증하였다.

또한 마이크로 프로세서가 인버터 회로의 제어기로서 점차 일반화되고 있으므로 마이크로 프로세서를 이용하여 PWM 발생을 하면 펄스폭 계산이 매우 간단하여 programmed PWM 방식의 단점인 real-time programming 을 극복할 수 있고, 메모리용량에 의한 제어의 한정성도 극복할 수 있다. 제안된 방식의 적용으로는 마이크로 프로세서를 이용한 PWM 제어기에 적합하여 3상 범용 인버터제어에 응용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] Prasad N. Enjeti, Phoivos D. Ziogas and James F. Lindsay, " Programmed PWM Techniques to Eliminate Harmonics: A Critical Evaluation," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 26, No. 2, March/April 1990 pp.302-316
- [2] P. Enjeti and J. F. Lindsay, "Solving Nonlinear Equations of Harmonic Elimination PWM in Power Control," IEE Electronics Letters, vol. 23, no.12, June 4, 1987, pp. 656-657.
- [3] Ira J. Pitel, Sarosh N. Talukdar and Peter Wood, "Characterization of Programmed-Waveform Pulsewidth Modulation," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-16, No.5, September/October 1980. pp. 707-714
- [4] Giuseppe S. Buja, "Optimum Output Waveforms in PWM Inverters," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-16, No.6, November/December 1980. pp. 830-836