

멀티레벨 인버터의 Optimized Sine-Wave Modulation

진선호⁺ · 조관준⁺⁺ · 곽준호⁺⁺ · 오진석⁺⁺⁺

Optimized Sine-Wave Modulation of Multi-Level inverters for Electric Propulsion System

Sun-Ho Jin⁺, Kwan-Jun Jo⁺⁺, Jun-Ho Kwak⁺⁺, Jin-Suk Oh⁺⁺

Abstract : This paper is analyzed a new modulation method of OSW(Optimized Sine-Wave) modulation strategy for cascaded H-bridge multi-level inverter. The inverter structure was modified with the maximum output voltage level, and the switching angle was calculated easily to adjust the requested Vrms of the output. The suggested modulation method could make output waveform very close to the ideal sine wave, and the THD value was improved also remarkably.

Key words : MLI(Multi-Level Inverter), **Optimized Sine-Wave**(최적사인파), **SDCS**(분리된 DC전원), **Stepped waveform**(계단식 파형)

1. 서론

대용량의 전력변환 분야에서 멀티레벨 인버터는 최근 들어 많은 주목을 받고 있는 분야로서, 스위칭 시 전력소자가 부담하는 전압 및 전류량이 작고, 스위칭으로 인해 발생하는 AC측의 전압 변동 폭이 낮다.

멀티레벨 인버터(MLI)의 변조방법은 삼각파 변조법^[1], SHE (Selective Harmonic Elimination) stepped waveform 기법^{[2][3]}, 그리고 공간벡터 변조법^[4] 등을 들 수 있다. 그 중 SHE 기법은 최근 많이 연구되는 방법으로써 특정 고조파 제거의 장점은 양호하나 변조비가 낮아질수록 이상적인 사인파에 비해 전압파형의 왜곡이 심하다.

본 논문에서는 이상적인 사인파의 형태를 추종하면서 파형의 왜곡을 감소시킨 최적화된 사인파 변조법을 제안한다.

2. Optimized Sine-Wave Modulation

2.1 확장형 출력 전압을 갖는 MLI 구조

Fig.1은 본 논문에서 적용한 MLI의 구조이다.

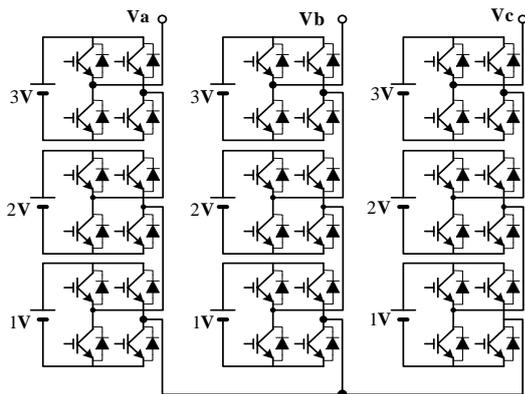


Fig.1 MLI with extended output voltage level

제안된 Optimized Sine-Wave 변조기법은 상 전압의 레벨이 많을수록 정현파에 가까운 전압이 출력된다. 따라서

A, B, C 상의 세 층의 인버터 모듈은 각 상의 출력전압 레벨을 최대화하기 위해 3V:2V:1V의 비를 갖는 소스 전원 구조를 갖는다. Table 1은 Fig. 1의 구조를 갖는 MLI의 스위칭 벡터 및 출력 전압을 나타내며 3 층의 구조로써 13레벨의 출력 전압을 만들 수 있다.

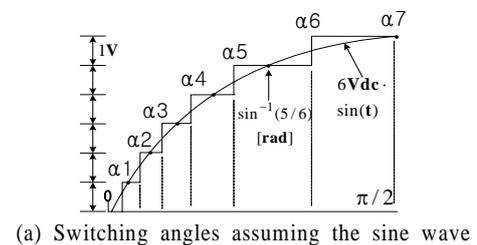
각 인버터 셀을 위한 SDCS는 발전기의 AC전원을 변압기와 정류회로를 통하거나, 축전지 시스템의 경우 축전지의 직,병렬 조합을 통해 얻을 수 있다.

Table 1 Switching vectors and phase voltage

SW1,2,3,4	SW5,6,7,8	SW9,10,11,12	Vout
1010	1010	1010	0
1010	1010	1001(0110)	1V(-1V)
1010	1001(0110)	1010	2V(-2V)
1010	1001(0110)	1001(0110)	3V(-3V)
1001(0110)	1010	1001(0110)	4V(-4V)
1001(0110)	1001(0110)	1010	5V(-5V)
1001(0110)	1001(0110)	1001(0110)	6V(-6V)

2.2 Optimized Sine-Wave Modulation

Fig. 2는 13레벨 MLI의 Optimized Sine-Wave Modulation에서의 출력전압의 실효치 계산방법을 나타내고 있다.

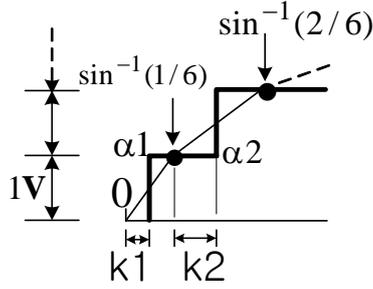


(a) Switching angles assuming the sine wave

⁺ 진선호(한국해양대학교 대학원 기관시스템공학과), E-mail: mylit@naver.com, Tel: 051)410-4866

⁺⁺ 한국해양대학교 대학원 메카트로닉스공학과

⁺⁺⁺ 한국해양대학교 선박전기전자공학부



(b) Switching angles calculation

Fig. 2 Vrms calculation for Optimized sine-Wave modulation

$$\sqrt{\frac{1}{\alpha T} \int_0^{\alpha T} V^2(t) dt} = M \cdot \{6V / \sqrt{2}\} \quad (1)$$

$$\int_0^{\alpha T} V^2(t) dt = V^2 (36 \cdot \alpha 7 - 11 \cdot \alpha 6 - 9 \cdot \alpha 5 - 7 \cdot \alpha 4 - 5 \cdot \alpha 3 - 3 \cdot \alpha 2 - \alpha 1) \quad (2)$$

여기서,

$$\alpha 1 = 0 + k1, \quad \alpha 2 = \sin^{-1}(1/6) + k2, \dots$$

$$\alpha 6 = \sin^{-1}(5/6) + k6$$

및

$$k2 = k1 \cdot [\sin^{-1}(2/6) - \sin^{-1}(1/6)] / [\sin^{-1}(1/6)] \dots$$

$$k6 = k1 \cdot [\sin^{-1}(6/6) - \sin^{-1}(5/6)] / [\sin^{-1}(1/6)]$$

이다.

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션 결과

Fig. 3은 MATLAB 및 SIMULINK를 이용한 시뮬레이션 결과이며 정현파에 근사한 형태의 상전압이 출력됨을 알 수 있다. 또한 FFT 분석결과에서도 매우 낮은 수준의 THD가 나타난다.

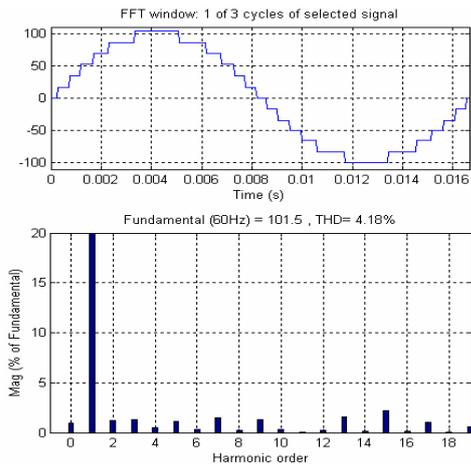


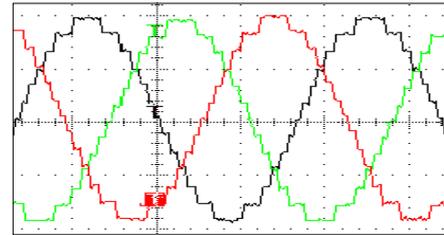
Fig.5 Simulation results of OSW modulation

3.2 실험 결과

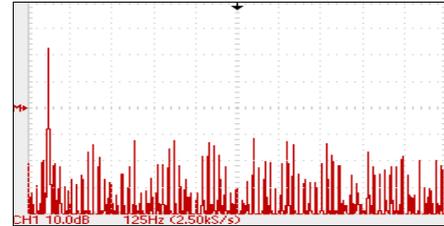
Fig. 4는 실험을 위해 제작된 MLI 시스템으로써 페어차일드의 SGH20NRUFD IGBT 및 TLP250 게이트 드라이브 소자를 사용하였다. 각 상의 컨트롤을 위해서 Microchip사의 dsPIC30F4013 DSC를 사용하였다. 좌측은 게이트 드라이브 단, 우측은 인버터 단으로 구성되어 있다. Fig.5은 상전압 및 FFT의 측정결과이다.



Fig. 4 Three phase multi-level inverter



(a) Phase voltage



(b) FFT analysis

Fig. 5 Experimental results of OSW modulation

4. 결론

본 논문에서는 멀티레벨 인버터의 새로운 변조기법으로써 Optimized Sine-Wave 변조 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 및 실험결과 제안된 변조기법으로써 이상적인 정현파에 가까운 출력전압을 생성할 수 있었으며, 또한 계산된 스위칭 각에 따라 원하는 대로 변조비를 조절할 수 있음을 보였다. 본 변조기법은 정현파의 출력전압이 요구되는 분야에서 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

수중운동체기술 특화연구센터의 지원으로 수행됨

참고문헌

- [1] Brendan Peter McGrath, "Multicarrier PWM Strategies for Multi-level Inverters", IEEE Transactions on Industrial electronics, Vol. 49, No.4, pp.858~867, 2002.
- [2] Siriroj Sirisukprasert, "Optimized Harmonic Stepped-Waveform for Multilevel Inverter", doctoral thesis, Virginia Polytechnic Institute, 1999.
- [3] Jin-Suk Oh, "A Study on the Design of Hybrid Inverter", Journal of Electrical Electrical Engineering and Information Science, Vol. 2, No.1, pp.85~90, 1997.
- [4] Nikola Celanovic, "Space Vector Modulation and Control of Multilevel Converters", doctoral thesis, Virginia Polytechnic Institute, 2000.