

Matlab을 이용한 3상 구형파 인버터 출력단의 FFT분석

최현영, 오세호, 류형선, 김 현, 손운락, 김양모
충남대 전기공학과

**FFT analysis About 3 Phase square - wave inverter
Using the Matlab**

Choi Hyun-Young, Oh Se-Ho, Ryu Hyoung-Sun, Kim Hyun, Son Yoon-Rak, Kim Yang-Mo.
Dept. of Electrical Engineering Chungnam National University

Abstract - The purpose of this paper is to analyze the harmonics of power electronics equipment, especially 3 phase square-wave inverter.

In this paper, we simulated 3 phase square-wave inverter by using the matlab and analyzed the simulated output waveforms to analyze the harmonics included in the inverter. In the matlab we expressed to amplitude and phase of harmonics current, and calculated to total harmonics distortion of out voltage.

1. 서 론

모든 산업이 고도화되고 국민생활의 향상에 따라 첨단 제어장치, 전력변환 장치의 광범위한 이용으로 비선형 특성을 갖는 부하가 급증하여 전원파형을 왜곡시키는 문제들이 발생하고 있다. 이러한 고조파문제를 해결하기 위하여 기술선진국인 미국 및 유럽의 경우는 고조파 관련 규격(EN61000, IEC555, IEEE519)을 제정하여 고조파에 대한 규제를 강화하고 있으며 이에 따라 능동필터에 대한 개발에 주력하고 있는 실정이다. 고조파에 의한 문제점은 전기기기의 장애 발생이나, 고조파 전류로 인한 온도상승으로 열손실 증가, 효율 감소등의 문제가 발생하고 고조파 장애가 극히 심한 경우 기기의 소음, 진동, 과열, 계전기 오동작등의 문제를 야기시킨다. 이러한 고조파 발생원에는 반도체 스위칭 소자를 이용한 전력변환장치가 있는데 이는 배전 시스템을 통하여 다른 고조파원이 없는 수용가에게 까지 악영향을 미친다.

이 중 인버터는 최근 많이 사용되고 있는 전력변환장치로 본 논문에서는 이러한 전력변환장치에서 발생하는 고조파 방지 대책의 수립에 대한 정확한 이론정립을 위해 인버터 중에서도 가장 현저한 고조파 왜곡을 나타내는 3상 구형파 인버터를 matlab의 simulink를 통한 modeling과 simulation를 통해, 출력전압과 전류를 제시하였다. 또 simulation한 결과에 대한 data를 각 차수별 고조파 전압 및 전류 값을 알기 위해 50차까지 분석하여, 총 고조파 전압 왜형률 및 전류 왜형률을 구했으며, 각 고조파 스펙트럼을 도시하고, 주요 고조파에 대한 THD를 분석하였다.

2. 회로 구성 및 동작

3상 인버터는 그림1과 같이 단일 직류 입력전원으로부터 3상 교류 출력전압을 발생하여 3상 부하에 공급하는 기능을 갖는다. 그림에서 V_{dc} 는 직류단 전압을 의미하며, n은 가상의 직류단 중성점 전위이다. S_a, S_b, S_c 는 각각 3상의 양방향전력 스위치 함수로서, $S_a = 1$ 은 a상 위쪽의 스위치가 도통함을 의미하고, $S_a = 0$ 은 a상 아래쪽 스위치가 도통함을 의미한다. S_b, S_c 의 경

우도 마찬가지로 정의된다.

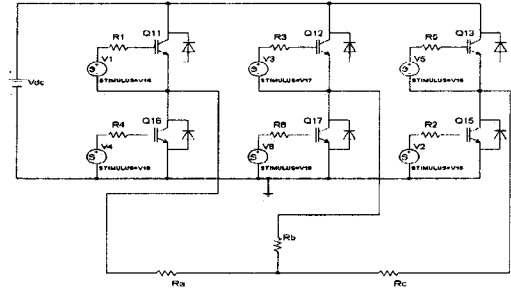


그림 1. 3상 전압형 인버터

3상 인버터는 서로 독립적으로 동작할 수 있는 3개의 pole로 구성되며 각 pole은 각 상의 출력 pole전압 V_{an}, V_{bn}, V_{cn} 을 각각 발생시킨다. 스위칭 함수와 pole 전압의 관계식은 다음과 같다.

$$V_{an} = \frac{V_{dc}}{2}(2S_a - 1)$$

$$V_{bn} = \frac{V_{dc}}{2}(2S_b - 1)$$

$$V_{cn} = \frac{V_{dc}}{2}(2S_c - 1)$$

3상 교류 출력전압의 파형은 그림1에서 양방향 전환스위치 S_a, S_b, S_c 를 제어하는 방법에 따라 정해진다. 3상 인버터는 서로 독립적으로 동작할 수 있는 3개의 pole로 구성되며 각 pole은 a상, b상, c상의 출력 상전압 V_a, V_b, V_c 를 각각 발생한다. 3상 인버터의 각 출력 상전압은 서로 120°의 위상차를 갖도록 제어된다. 그러므로 출력 선간전압 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} 도 서로 120°의 위상차를 갖는다.

표1. 3상 전압형 인버터의 스위칭 상태 및 출력전압

스위칭 상태			출력 폴 전압			출력 상 전압		
Sa	Sb	Sc	Van	Vbn	Vcn	Vas	Vbs	Vcs
0	0	0	-Vdc/2	-Vdc/2	-Vdc/2	0	0	0
0	0	1	-Vdc/2	-Vdc/2	Vdc/2	-Vdc/3	-Vdc/3	2Vdc/3
0	1	0	-Vdc/2	Vdc/2	-Vdc/2	-Vdc/3	-2Vdc/3	-Vdc/3
0	1	1	-Vdc/2	Vdc/2	Vdc/2	-2Vdc/3	Vdc/3	Vdc/3
1	0	0	Vdc/2	-Vdc/2	-Vdc/2	2Vdc/3	-Vdc/3	-Vdc/3
1	0	1	Vdc/2	-Vdc/2	Vdc/2	Vdc/3	-2Vdc/3	Vdc/3
1	1	0	Vdc/2	Vdc/2	-Vdc/2	Vdc/3	Vdc/3	-2Vdc/3
1	1	1	Vdc/2	Vdc/2	Vdc/2	0	0	0

표 1에서 스위칭 상태에 따른 인버터의 출력 pole 전압

및 상전압을 정리하였다. 출력 pole전압은 2레벨파형이고, 출력 상전압은 5레벨의 파형이다. 출력 pole전압이 2레벨 파형이므로 본 인버터를 '2레벨 인버터'라 부른다.

3. THD

비정현 주기파는 기본파에 직류성분과 고조파성분이 더해져 구성되므로 기본파의 정현파형이 일그러진 형태이다. 이러한 왜곡의 정도는 기본파에 더해져 정현파의 모양을 훼손하는 나머지 성분, 즉 직류성분과 고조파성분의 양에 딸 정해진다. 이러한 기본파를 제외한 나머지 성분을 고조파 왜곡으로 나타내며 왜곡의 정도를 THD(total harmonics distrtion)와 DF(distortion factor)로 나타낼 수 있으며 이것은 다음과 같다.

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1}$$

$$DF_i = \sqrt{\frac{1}{1 + THD_i^2}}$$

4. matlab을 이용한 인버터 modeling

스위칭 소자는 matlab에서 지원되는 3상 IGBT를 사용하였고, modeling에 사용된 Spec.은 표 2.와 같다

표 2. 3상 구형파 인버터 Spec.

frequency	switching frequency	DC voltage	gate voltage	Rload
60Hz	1kHz	220V	5V	0.02Ω

matlab의 simulink를 이용한 3상 구형파 인버터 modeling은 그림 2와 같고,

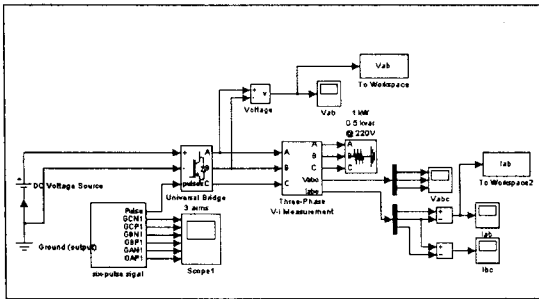


그림 2. 3상 구형파 인버터 modeling

그림 2.는 3상 구형파 인버터를 구동시키기 위한 gate pulse를 modeling한 것이다. 각 펄스당 120°의 위상차를 주고 그것을 positive와 negative로 나누어 설정된 pulse generator를 mux를 사용하여 group화 하였다.

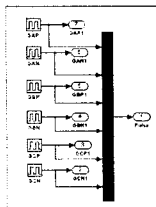
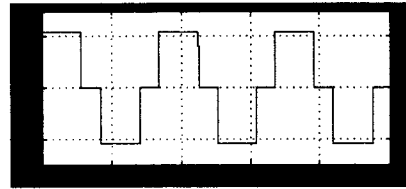


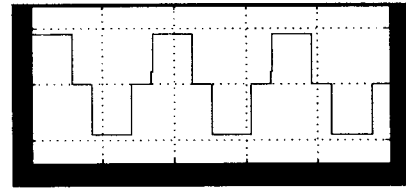
그림 3. Gate pulse modeling

5. 시뮬레이션 결과

그림 4는 matlab으로 구현된 출력단의 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다. 입력단의 6-pulse로 출력단에 구형파가 발생됨을 볼 수 있다.



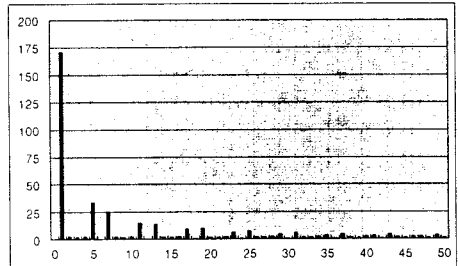
(a) Vab



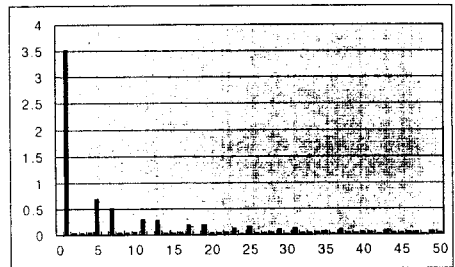
(b) Iab

그림.4 출력단의 전압, 전류 파형

그림 5는 각 차수별 고조파 전압, 전류의 크기에 대한 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림 5-2.의 스펙트럼에서도 확인되듯이 제 5 고조파와 제 7 고조파가 다른 고조파보다 현저히 큰 값을 가짐을 알 수 있다.



(a) 각 차수별 고조파 전압의 크기



(b) 각 차수별 고조파 전류의 크기

그림 5. 각 차수별 고조파의 스펙트럼

표 3.은 3상 구형파 인버터의 선간전압 Vab와 전류Iab의 차수별 고조파 성분의 크기를 나타낸 것이다. 3상 고조파 차수는 주로(6n±1)차, 즉, 5, 7, 11, 13, 17, 19, ...차가 크게 나타나므로, 1~50차수 중 이 들 차수에 대해서만 값을 나타내었다. 또 전압과 전류에 대한 각각의 총고조파 왜형률(THD)을 구하였다.

표 3. 각 차수별 고조파 전압, 고조파 전류값

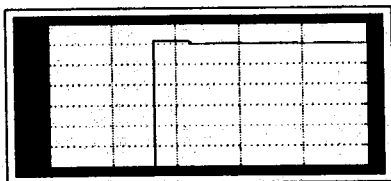
order	phase	Iab	Vab
		amplitude	
1	28.7222	3.5276	170.7352
5	-36.3892	0.6839	33.0993
7	21.0552	0.5155	24.9488
11	-44.0562	0.2987	14.4565
13	13.3882	0.2815	13.6262
17	-51.7232	0.1840	8.9071
19	5.7212	0.1938	9.3777
23	-59.3902	0.1283	6.2098
25	-1.9459	0.1469	7.1085
29	-67.0573	0.0950	4.5992
31	-9.6129	0.1171	5.6690
34	76.5729	0.0468	2.2663
35	-74.7243	0.0727	3.5208
37	-17.2800	0.0692	4.6557
41	-82.3915	0.0567	2.7449
43	-24.9472	0.0804	3.8909
47	89.9413	0.0446	2.1595
49	-32.6144	0.0679	3.2844
THD		28.91%	28.83%

표 3.을 보면 각각의 THD는 28.91%와 28.83%로 상당히 크게 발생됨을 알 수 있고, 전류에 대한 THD는 전압에 대한 THD보다 약간 크다는 것을 알 수 있다. 또 각각의 왜곡률을 구하면 3.47%로 전압, 전류의 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 표 4.는 총 고조파 왜율에 대한 고조파 중 가장 높은 수치의 제 5, 7, 11, 13 고조파의 비율을 나타낸 것이다.

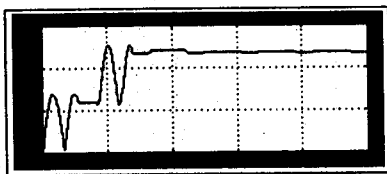
표 4. 각 차수별 최대 고조파 전류

order	기본파	5	7	11	13	THD
전류(%)	100%	19.4	14.6	8.5	7.98	2.891%

그림 6.은 matlab에서 제공되는 THD analyzer를 사용해 THD와 Fourier analyzer를 사용해 특정 고조파(제 5고조파)를 측정한 것이다. 표 3.에 나타난 data에 의해 계산된 THD와의 오차가 어느 정도 발생함을 알 수 있고, THD에 대한 분석이 16ms부터 시작되는 이유는 기본파의 60Hz를 감안하여 sampling 되기 때문이다.



(a) THD



(b) 제 5고조파의 전압 크기

그림 6 matlab을 이용한 고조파 분석

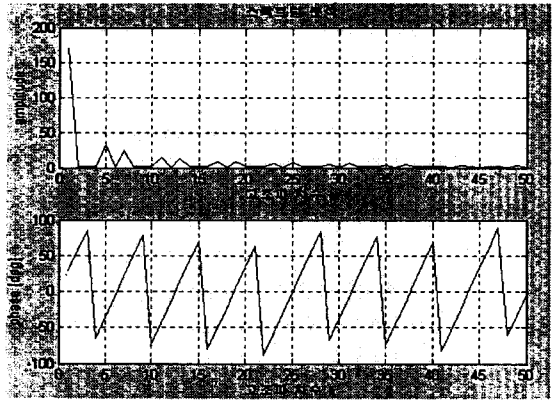


그림 7 matlab을 이용한 각 차수별 분석

그림 7.은 matlab상에서 m-file로 program된 각 차수별 고조파 전압의 크기와 위상의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는 3상 구형파 인버터에 대해 matlab을 이용하여 simulation한 결과에 대해 고조파 분석하였고, 이를 위해 공학용 simulation program이 좀 더 보강된 matlab의 simulink를 이용하여 modeling하였는데 이미 많이 사용되어지는 Pspice보다는 modeling하는 과정이 복잡하지만 simulation한 data의 수치의 저장 가능성이 가능하다는 점과 data에 대한 THD나 Fourier analyzer같은 기능이 지원되는 점에서 매우 유용하였다.

현재 기존에 인버터와 관련하여 제시된 것들은 PWM 인버터에 대한 고조파 해석이나 그 대응책으로 능동필터에 대한 연구를 논의 할 만큼 발전하여 있지만 3상 구형파 인버터에 대한 해석은 기본적인 면이라는 점에 간과하여 제대로 명확히 제시되고 있지 않은 형편이다.

본 논문에서는 이러한 점을 감안하여 3상 구형파 인버터에 대해 집중적으로 해석함으로써 그 기준을 제시하고자 하였다.

본 연구는 한국과학재단
목적기초연구지원으로 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] Po-Tai cheng, Subhashish Bhattacharya, Deepak M.Divan, "Application of dominant harmonic active filter system with 12 pulse nonlinear loads", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 2, pp642-647, April, 1999
- [2] Po-Tai cheng, Subhashish Bhattacharya, Deepak M.Divan, "Line Harmonics Reduction in High-Power Systems Using Square-Wave Inverters-Based Dominant Harmonic Active Filter", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No 2, pp265-272, March, 1999
- [3] Bimal K.Bose. "Recent Advance in Power Electronics." IEEE Trans. on power Electronics. Vol. 7, No.1 pp2-16. Jan. 1992