

3 스텝 인버터를 이용한 출력파형 개선법

서윤철\*, 이수원\*, 김영민\* 박현철\*\*, 유철로\*  
 \*전북대학교 전기공학과, \*\*정음공업전문대학 전기과

Improvement of the Output Voltage Waveform Using 3 Step Inverter

Yoon-Chul Suh\*, Su-Won Lee\*, Young-Min Kim\*, Hyun-Chul Park\*\*, Chul-Ro Yu\*

\* Dept. of Electrical Eng. Chonbuk Na. Univ

\*\* Dept. of Electrical Jeongyoup Technical College

Abstract

In this paper, new photovoltaic system that has 3 step output voltage is proposed. This system use new PWM method ,named as equivalent area PWM. This method is based on the criterion of the calculation that each area of voltage pulses equals to the integrated value of each time shared division of the reference sinusoidal waveform to make a PWM pulse.

We applied this method to 2 step inverter and 3 step inverter and analyzed waveform using FFT.

I 서론

정현펄스폭변조 방식은 광범위하게 사용되기는 하지만 기본파와 그와의 파형간의 근접도를 살펴보면 차수가 높아짐에따라 고차 고조파가 심하다.<sup>[1]</sup> 저차와 고차고조파를 제거하기위해서 본 논문에서는 Photovoltaic System에 적용될 수 있는 3 스텝 인버터를 제안하고, 정현펄스폭변조 대신 등면적 펄스폭 변조방식을 적용한다. 3 스텝 인버터는 고조파가 없는 정현파를 얻기위해 2개의 전압제어용 스위치를 사용하여 전압 스텝을 변화 시킨다. 그리고 이 전압제어용 스위치를 동작시키기 적합한 등면적 펄스폭변조 방식을 사용하여 스위칭 각을 구한다.

이 방식을 3 스텝 인버터에 사용할 경우 고조파를 제거할 수 있는 최적각이 구해짐을 Patal의 SHE 기법을 통해 알아보고, 전 고조파 특목이 현저하게 줄어들었음을 기존의 2 스텝 인버터와 비교한다.

II 본론

1) 회로 구성

제안된 방식의 인버터 회로구성은 그림 1과 같다.

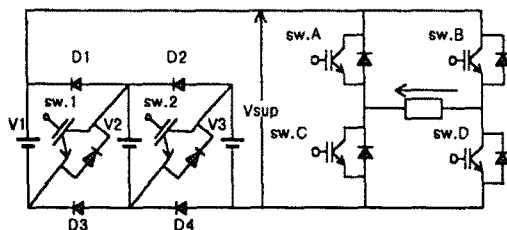


그림 1. 제안된 3 스텝 인버터 회로

그림과 같이 회로는 인버터의 전원측에 3개의 동일 용량 전압원, 4개의 다이오드 그리고 2개의 전압제어용 스위치가 연결되어있다.

2) 인버터의 동작원리

이렇게 구성된 회로의 동작상태를 살펴보기위해 Mode A, Mode B 그리고 Mode C로 나누어 해석한다.

Mode A (SW<sub>1</sub>, SW<sub>2</sub> 모두 Off)

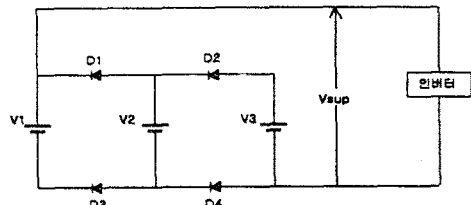


그림 2. Mode A의 회로

SW<sub>1</sub>, SW<sub>2</sub> 모두 Off일 때 회로는 그림 2와 같이 전압원이 모두 병렬연결이므로 Mode A에서 공급되는 전압 Vsup은 V<sub>1</sub>이 된다.

$$V_{sup} = V_1 \parallel V_2 \parallel V_3 \quad (1)$$

Mode B (SW<sub>1</sub> On, SW<sub>2</sub> Off)

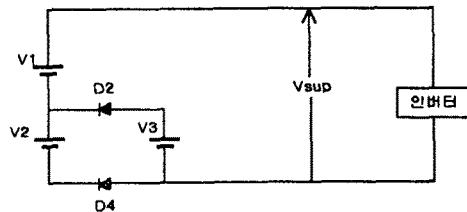


그림 3. Mode B의 회로

SW<sub>1</sub> On, SW<sub>2</sub> Off일 때 회로는 그림3과 같이 V<sub>2</sub>와 V<sub>3</sub>는 병렬연결이되고, V<sub>1</sub>은 이들과 직렬연결이다. Mode B에서 공급되는 전압 Vsup은 2V<sub>1</sub>으로 스텝 업(Step Up) 된다.

$$V_{sup} = V_1 + V_2 \parallel V_3 \quad (2)$$

Mode C (SW<sub>1</sub> On, SW<sub>2</sub> On)

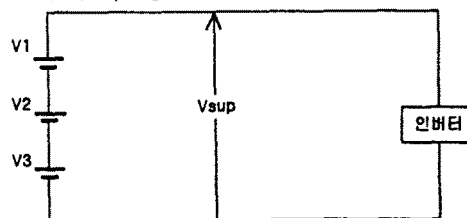


그림 4. Mode C의 회로

Mode C에서는 SW<sub>1</sub>과 SW<sub>2</sub> 모두가 On 이기 때문에 전압원은 모두 직렬연결이 되어 V<sub>supp</sub>는 3V<sub>1</sub>으로 스텝 업(Step Up)된다.

$$V_{supp} = V_1 + V_2 + V_3 \quad (3)$$

Mode A, Mode B, Mode C에서 나타난 바와 같이 전압제어 스위치 SW<sub>1</sub>과 SW<sub>2</sub>의 동작에 따라 전압이 스텝 업(Step Up), 스텝 다운(Step Down) 되기 때문에 인버터의 출력파형은 보다 정현파에 가깝게 된다

### 3) 펄스폭변조 방식

전압제어 스위치 SW<sub>1</sub>과 SW<sub>2</sub>의 On, Off 타이밍을 결정하기 위해 등면적 펄스폭변조 방식을 사용한다. 등면적 펄스폭변조 방식은 정현 펄스폭변조에서 reference signal로 사용하는 정현파를 m개로 분할한 다음 각각의 면적에 해당하는 만큼 펄스를 발생시킨다. 3 스텝 인버터에 등면적 펄스폭변조 방식을 적용하기전에 단일 스텝 인버터 먼저 살펴본다.

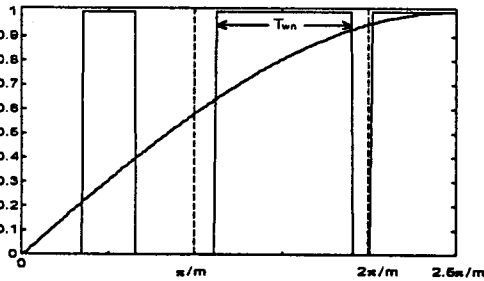


그림 5. 단일 스텝 인버터의 등면적 펄스폭변조 방식

정현파의 반주기를 그림 5에 나타낸 것처럼 m개로 분할한다. 여기서 각각의 구간은  $\pi/m$  [rad]로 같아야한다. 그런다음 각 구간의 면적 S<sub>m</sub>을 구하고 그것과 동일한 펄스를 발생시키며, 펄스는 각 구간의 side와 중앙에 위치 시킬 수 있다. 펄스를 side에 위치시킬 경우 펄스의 대칭을 고려하여 0부터  $\pi/2$  구간에 서는 구간의 오른쪽에 배치시키고,  $\pi/2$ 부터  $\pi$ 구간에 있는 경우에는 구간의 왼쪽에 배치시킨다. 이때 n번째 구간의 펄스폭 T<sub>nm</sub>은 다음과 같이 표현된다.

$$T_{nm} = \int_{(n-1)\delta}^{n\delta} \sin \theta \, d\theta, \quad \delta = \pi/m \quad (4)$$

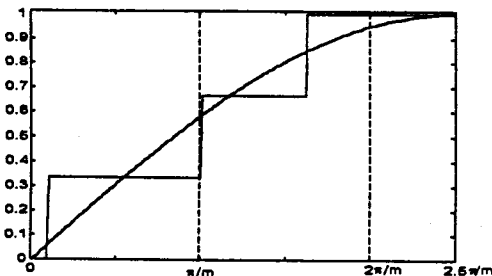


그림 6. 3 스텝 인버터의 등면적 펄스폭변조 방식

3 스텝 인버터에 등면적 펄스폭변조 방식을 적용할 때 다음과 같다. 그림 6에서와 같이 정현파의 분할된 구간의 면적 S<sub>m</sub>이 0.333δ 보다 작을 경우 펄스의 크기를 0.333으로 한다. 즉 n구간의 면적 S<sub>m</sub>과 같은 펄스의 크기는 0.333T<sub>nm</sub>이 되고, n구간의 면적 S<sub>m</sub>이 0.333δ 보다 크고 0.666δ보다 작을 경우 펄스는 0.333δ와 0.333T<sub>nm</sub> 두개로 나뉜다. 그리고 S<sub>m</sub>이 0.666δ 보다 클 경우 앞에서와 마찬가지로 0.666δ와 0.666T<sub>nm</sub> 두개로 나뉜다. n번째 구간의 Pulse-Width T<sub>nm</sub>은 다음과 같이 표현된다.

(1) S<sub>m</sub> < 0.333δ 일 경우, 펄스의 크기는 0.333

$$0.333 T_{nm} = \int_{(n-1)\delta}^{n\delta} \sin \theta \, d\theta \quad (5)$$

(2) 0.333δ < S<sub>m</sub> < 0.666δ 일 경우, 펄스의 크기는 0.666

$$0.333(T_{nm} + \delta) = \int_{(n-1)\delta}^{n\delta} \sin \theta \, d\theta \quad (6)$$

(3) S<sub>m</sub> > 0.666δ 일 경우, 펄스의 크기는 1

$$0.333 T_{nm} + 0.666\delta = \int_{(n-1)\delta}^{n\delta} \sin \theta \, d\theta \quad (7)$$

이다.

3 스텝 인버터에의 펄스위치는 단일 스텝 인버터와 마찬가지로 구간의 중앙과 side에 위치시킬 수 있다. 3 스텝 인버터에 등면적 펄스폭변조 방식을 적용할 경우 구간수m에 따라 펄스폭이 변하고 또한 펄스 배치방법에 따라 달라진다.

그림은 구간 m을 9개, 배치방법은 side로 정했을 경우의 동작상태를 도식적으로 나타내고 있다.

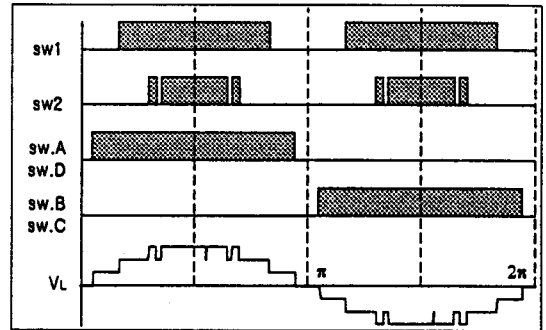


그림 7. 각 부의 동작파형

출력파형은 VL의 가로축에서  $\pi/2$ 에 대해 대칭인 반파 대칭이다. 스위칭 각의 스위칭 순서를 0- $\pi/2$ 사이에서  $i=1,2,\dots,N$ ,  $j=1,2,\dots,O$  그리고  $k=1,2,\dots,P$ 라고 할 때 스위칭각은 다음 식을 만족한다.

$$0 \leq \alpha_1 \leq \dots \leq \alpha_N \leq \alpha_1 \leq \dots \leq \alpha_O \leq \dots \leq \alpha_k \leq \dots \leq \alpha_P \leq \pi/2 \quad (8)$$

3 스텝 인버터 출력파형 VL의 푸리에 전개는 식 9와 같다

$$V_n = \sum_{i=1}^N \frac{4}{n\pi} \times E_d \left( \sum_{j=1}^O (-1)^{(j+1)} \cos n\alpha_j + \sum_{k=1}^P (-1)^{(k+1)} \cos n\alpha_k + \sum_{l=1}^Q (-1)^{(l+1)} \cos n\alpha_l \right) \quad (9)$$

( $n=1, 3, 5, \dots$ )

i : SW<sub>A</sub>-SW<sub>D</sub>의 스위칭 각

j : SW<sub>1</sub>의 스위칭 각

k : SW<sub>2</sub>의 스위칭 각

### 4)결과 및 고찰

단상 인버터를 저항성 부하에 사용할 경우 고조파 성분은 거의 없고, 기본파 성분이 큰 크기의 파형을 얻으면 되기 때문에 몇번의 시뮬레이션을 통해 구간은 9, 배치방법은 side로 결정하였다.

그림 8과 그림 9는 각각의 파형과 고조파 분석이다. 그림 8은 펄스를 side에 배치 시킨 경우이며, 20차까지의 THD를 살펴보면

8.58[%]로 저차 고조파와 고차 고조파 모두가 현저하게 제거 되었음을 볼 수 있다. 그림 9는 펄스를 중앙에 배치 시킨 경우이다. 마찬가지로 20차까지의 THD를 살펴보면 18.33[%]로 펄스를 side에 배치시킨 경우보다 고차 고조파가 많음을 알 수 있다.

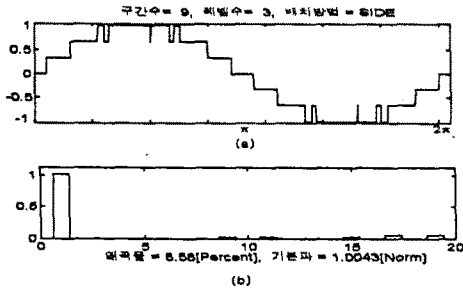


그림 8. 3스텝 인버터의 출력파형과 고조파 분석(m=9, side)

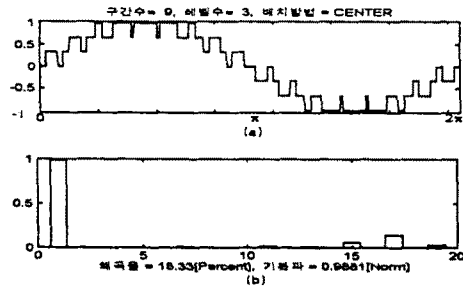


그림 9. 3스텝 인버터의 출력파형과 고조파 분석(m=9, 중앙)

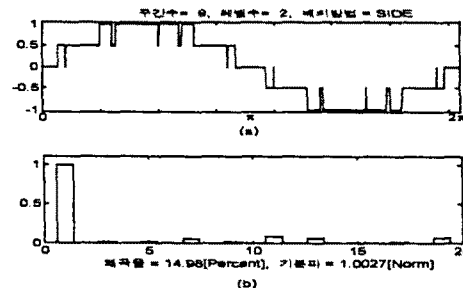


그림 10. 2스텝 인버터의 출력파형과 고조파 분석(m=9, side)

그림 10은 구간은 9, 배치방법은 side일 때 2스텝 인버터의 출력파형을 나타내고 있다. 그림 10을 그림 8의 3스텝 인버터의 파형과 비교해 볼 때 2스텝 인버터의 THD가 높음을 알 수 있다.

3스텝 인버터의 구간 9, 펄스는 side에 배치하였을 때 고조파 제거 스위칭 각이 얼마나 정파한지 알아보기 위해 Patal의 특정고조파 제거법(SHE)을 이용하여 얻은 인버터 출력파형의 스위칭각과 비교해보면 표 1, 2와 같다. 9개의 구간과 side 배치시  $x/2$ 까지의 스위칭 각은 5개이며, 이 각을 이용하여 5 (3, 5, ..., 11차)개의 저차 고조파를 제거할 수 있다.

표1은 등면적 펄스폭변조로 얻은 스위칭각과 그때의 고조파 성분을 나타내고 있으며, 표2는 Patal의 특정고조파 제거기법을 사용하여 얻은 스위칭 각과 고조파 성분이다.

표1과 표2에서 알 수 있듯이 등면적 펄스폭변조 방식으로 구한 스위칭각과 고조파 성분이 특정고조파 제거기법을 사용했을 때 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

스위칭 각 : $ak_1=9.8000, a_1=30.4000,$ $am_1=54.4000, am_2=60.0000, am_3=64.0000,$ THD (21차)=8.5798		
Order of Harmonic	Absolute Value of the Harmonic Coefficients	Absolute Value of Harmonic as % of the Fundamental
1(Fundamental)	1.0043	100.0000
3	0.0108	1.0747
5	0.0054	0.5410
7	0.0014	0.1386
9	0.0167	1.6661
11	0.0202	2.0104
13	0.0111	1.1053
15	0.0168	1.6699
17	0.0563	5.6016
19	0.0532	5.3021
21	0.0136	1.3518

표 1. 등면적 펄스폭변조시 스위칭각과 고조파 분석

스위칭 각 : $ak_1=9.6186, a_1=30.1610,$ $am_1=54.2451, am_2=61.7738, am_3=65.6987,$ THD (21차)=8.6623		
Order of Harmonic	Absolute Value of the Harmonic Coefficients	Absolute Value of Harmonic as % of the Fundamental
1(Fundamental)	1.0063	100.0000
3	0.0085	0.8466
5	0.0023	0.2319
7	0.0005	0.0544
9	0.0097	0.9623
11	0.0113	1.1211
13	0.0126	1.2489
15	0.0050	0.4938
17	0.0714	7.0941
19	0.0457	4.5418
21	0.0200	1.9903

표 2. 특정 고조파 제거시 스위칭각과 고조파 분석

### III 결론

본 논문에서는 단상인버터의 고조파가 없는 출력파형을 얻기 위해 3스텝인버터를 제안하였다. 3스텝 인버터는 2개의 전압제어용 스위치에 의해 직병렬로 접속되어 승압되므로 출력전압이 낮은 Photovoltaic System에 적합하다. 3스텝 인버터의 스위칭 각은 등면적 펄스폭변조 방식을 이용하여 구하였다. 이때의 출력파형을 특정고조파 제거기법에 의해 구한 최적 스위칭 각의 파형과 비교했을 때 고조파 제거와 기본파 이용율에서 크게 다르지 않음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] Masato HOSHINO, Tomoo KUDO, "New PWM Technique for Five-Stepped PWM Inverter Used In Photovoltaic System" Conf. Rec., IEEE-IAS Annual Meeting, pp. 188-123, 1989
- [2] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics", Prentice Hall, 1993
- [3] Masmukh S. Patel, Richard G. Hoft, "Generalized Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters: Part I-Harmonic Elimination", IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. IA-9, No. 3 pp.310-317, 1973
- [4] M. Hoshino, T. Kudo, G. Kimura and M. Shooya, "Five-Stepped PWM Inverter for Photovoltaic System", Proceeding of the PCIM '88, Tokyo, PC pp. 499-508, Dec.