

# 고조파 저감을 위한 직접 주파수 변환기에 대한 연구

서영수 임영배 · 김성균 · 김성기  
명지 대학교 전기공학과

## A Study on the Direct Frequency Changer for Harmonics reduction.

Young-soo seo Young-Bae Lim Sung-Kyun Kim<sup>\*</sup> Sung-Gi Kim  
Department of Electrical Engineering, Myong-Ji University

### ABSTRACT

Allowing for the fact that the load requiring for high speed has been increased lately, this paper deals with a method that can consecutively convert the frequency from low frequency to high frequency.

And this paper also shows the reduced effect of harmonics and the effectiveness of the proposed system, which are thoughtly tested and proved through the experiments in the output frequency range of from 5Hz to 1200Hz.

### 1. 서론

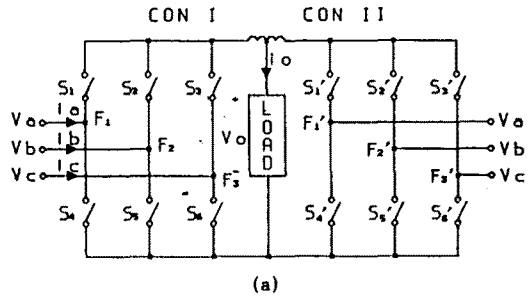
최근 전력변환장치가 여러종류의 생산라인에 투입되면서 산업용 전기기기의 고주파화에 따라 전력변환기의 고속구동 시스템 및 모터의 속도제어, 에너지 저장, 또는 역률조정을 위한 주파수 변환기(FC)에 대한 관심이 고조되고 있다. 1) ~ 5)

이에따라 본 논문에서는 저 주파수에서 고주파수까지 출력 주파수를 연속 변환 시킬수 있고 또한 출력전압의 고조파도 저감시킬수 있는 방법에 대해서 기술한다.

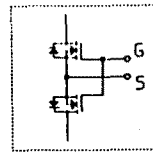
본 방법으로는 입력 주파수의 1주기에 대해 출력 주파수의 주기비에 의해 출력 1주기내에서 계단 구형파를 발생할 수 있는 전달함수의 알고리즘을 도출하고, 이 전달함수에 의해 스위칭 패턴을 구하는 방법을 제안하여, 고조파 저감효과 및 유용성을 출력주파수 10Hz~1200Hz 범위에서 실험을 통해 입증 하였다.

### 2. 주회로 구성 및 기본원리

그림 1의 (a)에 주회로 구성을 나타 내었다. 주회로는 대칭 3상전원, 12개의 쌍방향성 스위치 및 부하 회로로 구성되어 있으며 스위치  $S_1 \sim S_6, S_1' \sim S_6'$ 는 그림 1의 (b)에 표시한 것과 같이 두개의 Power-MOS FET를 역직렬로 연결한 것을 사용 하였다.



(a)



Switch configuration

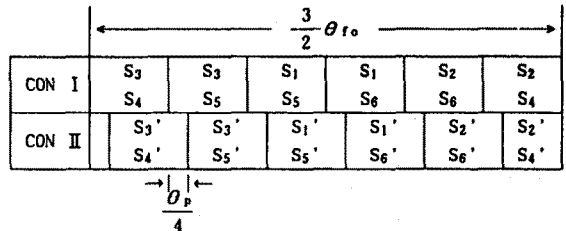
(b)

그림 1. 주회로 구성

입력 전압  $v_a, v_b, v_c$ 는 다음 식으로 표시되는 대칭 3상 전원으로 한다.

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = v_l \begin{bmatrix} \cos \omega_1 t \\ \cos (\omega_1 t - 120^\circ) \\ \cos (\omega_1 t - 240^\circ) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기에서,  $\omega_1$ 는 전원의 각주파수,  $v_l$ 는 전원 전압의 진폭이다.



$$\frac{\theta_p}{4}$$

그림 2. 스위칭 패턴

스위치  $S_1 \sim S_6, S_1' \sim S_6'$ 는 입력측의 단락 및 출력측의 개방이 허용되지 않기 때문에 그림 2와 같이 ON, OFF제어되며 그림 2의 패턴이 반복 된다. 또한 출력 1주기 내에서 계단

구형파를 발생할 수 있도록 CON II의 스위칭 시작점은 CON I에 비해 게이팅 펄스폭 ( $\theta_p$ )/4 만큼 지연된 각으로 구성하였다. 따라서 각각의 스위치에 대한 턴·온 시간의 비율을  $S_1 \sim S_3$ 는  $a_1 \sim a_3, S_4 \sim S_6$ 는  $b_1 \sim b_3, S_1' \sim S_3'$ 는  $a_1' \sim a_3', S_4' \sim S_6'$ 는  $b_1' \sim b_3'$ 로 정의하면, CON I의 출력전압  $v_{o1}$ 과 CON II의 출력전압  $v_{o2}$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$v_{o1} = [v_a \ v_b \ v_c] \begin{bmatrix} a_1 - b_1 \\ a_2 - b_2 \\ a_3 - b_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$v_{o2} = [v_a \ v_b \ v_c] \begin{bmatrix} a_1' - b_1' \\ a_2' - b_2' \\ a_3' - b_3' \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 3. 전달함수

주파수  $\omega_0$ (출력 주파수)의 CON I 출력전압  $v_{o1}$ 을 얻기 위한  $a_1$ 과  $b_1$ 의 값은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$a_1 = M \cos \left\{ \omega_{st} - \sum_{n=0.2, 4}^{\infty} \sum_{m=1.3, 5}^{\infty} (m\theta_p + \frac{n\theta_p}{2}) \right\} \quad (4)$$

$$b_1 = a_1 \left( \omega_{st} - \frac{3}{2}\theta_p \right) \quad (5)$$

$a_2$ 와  $a_3$ 는 각각  $a_1$ 에 대해서  $\theta_p, 2\theta_p$ 만큼 상을 이동함으로써 얻어지며  $b_2$ 와  $b_3$ 는  $5/2\theta_p, 7/2\theta_p$ 만큼 상을 이동함으로써 얻어진다.  $a_1$ 과  $b_1, a_2$ 와  $b_2, a_3$ 와  $b_3, a_1'$ 과  $b_1', a_2'$ 와  $b_2', a_3'$ 와  $b_3'$ 를 각각 전달함수  $F_1, F_2, F_3$ 와  $F_1', F_2', F_3'$ 로 정의 할때 출력전압  $v_o$ 는 다음과 같다.

$$[v_o(\omega_0 t)] = \frac{1}{2} \left\{ [v_a \ v_b \ v_c] \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} + [v_a' \ v_b' \ v_c'] \begin{bmatrix} F_1' \\ F_2' \\ F_3' \end{bmatrix} \right\} \quad (6)$$

출력주파수  $f_0 = 180$  Hz에 대해 시뮬레이션하여 출력전압 파형과 고조파를 스펙트럼화한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 (a)는 CON I만 동작시켰을 때의 출력파형과

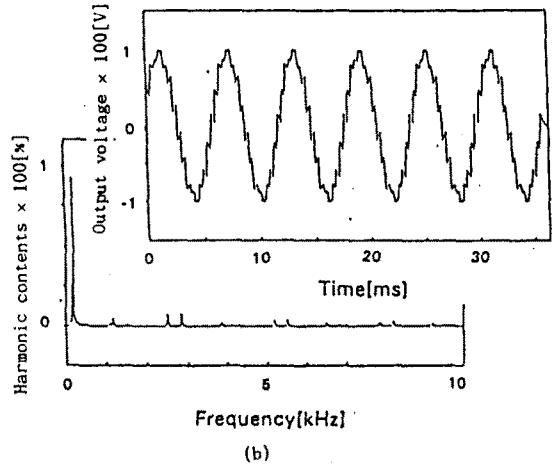
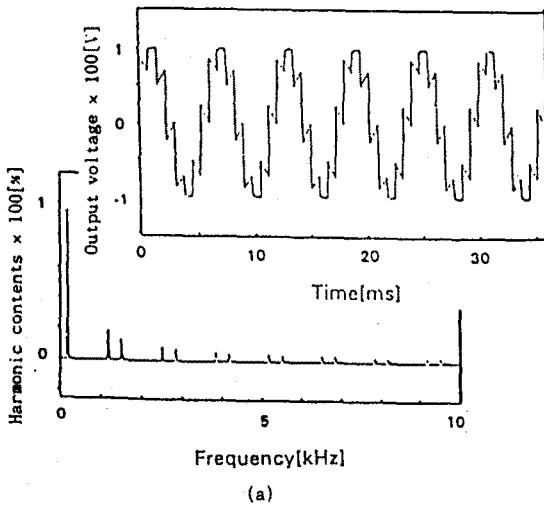


그림 3. 시뮬레이션 결과( $f_0 = 180$  Hz)

고조파 스펙트럼분석이고, 그림 3의 (b)는 CON I, CON II를 동시에 동작시켰을 때의 출력전압파형과 고조파 스펙트럼 분석이다. 이들 결과에서 CON I과 CON II의 스위칭 타이밍을  $\theta_p/4$ 만큼 다르게 동작 시킴으로서 보다 정밀한 출력전압이 얻어지며, 필터링 하기가 어려운 저차 고조파분을 줄일 수가 있다는 것을 확인 할 수 있다.

### 4. 실험 결과

그림 4는 실험에 적용된 전체 시스템 제어 블록도이다. 전달함수 패턴은 ROM에 저장되어 있으며 프로그램에 의해 전달함수  $F_1 \sim F_3$ 와  $F_1' \sim F_3'$ 의 패턴이  $\theta_p/4$ 만큼의 시간 차를 두고서 출력 되도록 하였다. 또한 A/D 컨버터의 설정 값에 의해 출력주파수의 연속 변환이 되도록 프로그램화 하였다.

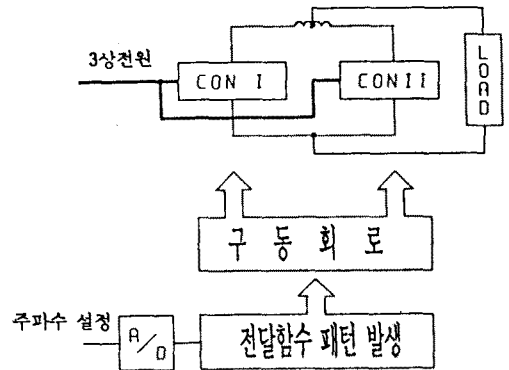
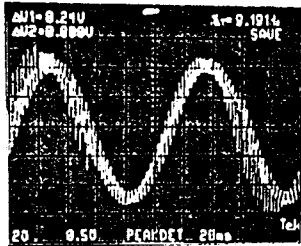
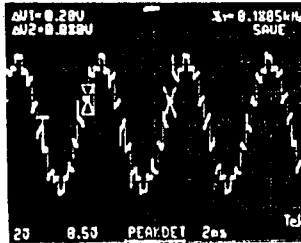


그림 4. 제어 블록도

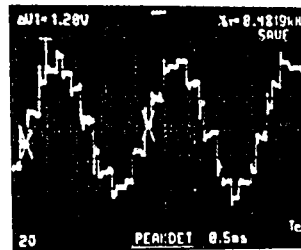
그림 5는 출력 주파수가 각각 10Hz, 180Hz, 480Hz 일때의 출력전압 파형이며, 출력주파수가 180Hz인 경우 시뮬레이션과 거의 일치하고 있다는 것을 확인할 수가 있었다. 그리고 출력주파수가 10Hz 인 경우에는 여현파 비교방법에 의



(a)  $f_0 = 10 \text{ Hz}$   
2[V]/div  
20[ms]/div

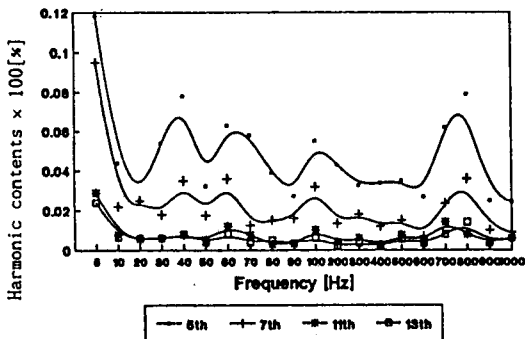


(b)  $f_0 = 180 \text{ Hz}$   
2[V]/div  
2[ms]/div

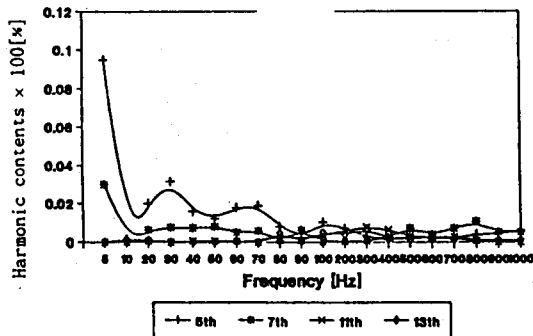


(c)  $f_0 = 480 \text{ Hz}$   
2[V]/div  
0.5[ms]/div

그림 5. 출력전압파형



(a) CON I 만 동작시



(b) CON I, II 동작시

그림 6. 출력주파수에 따른 출력전압의 고조파 함유량

한 일반적인 사이크로컨버터 출력 파형보다도 정현파에 더 가깝게 됨을 알 수 있다.

기본파분에 대한 출력전압의 고조파 함유량을 5차, 7차, 11차, 13차에 대해서 1KHz까지 주파수별로 분석한 결과를 그림 6에 나타 내었다.

기본파분에 대한  $\times$ 로 각 고조파의 성분을 비교하여 보면 CON I 만 동작 시켰을 경우 출력주파수가 5Hz, 40Hz, 800Hz에서 5차고조파가 각각 12%, 8%, 8%로 가장 크게 나타났으며 출력주파수에 따라 전반적으로 3% 이상으로 나타났다. 반면에 CON I, II를 동시에 동작시켰을 때에는 200Hz이하에서는 3%이하로 나타났으며, 200Hz 이상에서는 거의 0에 가깝게 나타났다. 또한 7차 고조파도 1%미만으로 상당히 적게 나타났다.

## 5. 결론

본 논문에서는 일반적인 순환전류형 사이크로컨버터를 기본회로로 하여 새로운 전달함수 스위칭 패턴법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 출력 1주기내에서 계단 구형파를 발생할 수 있는 전달함수의 알고리즘을 도출하였다.
- 2) 본 사이크로컨버터는 고속 교류전동기 구동에 유용하게 적용될 수 있으리라고 생각된다.
- 3) 출력 주파수에 따른 5차, 7차, 11차, 13차 고조파 함유량을 1KHz까지 분석한 결과 고조파가 현저하게 감소하고, 축대파 고조파가 거의 나타나지 않음을 확인 하였다.
- 4) 본 제어법은 출력전압파형의 개선에 주목하였기 때문에 입력전류파형은 어느정도 회생하고 있다. 따라서 본 제어법은 전천축의 고조파 전류를 허용하는 용도에 적합하다.

## REFERENCE

- 1) P.D. Ziogas et al., "Analysis and Design of Forced Commutated Cycloconverter structures with Improved Transfer Characteristics", Conf. Record IEEE-PESC, pp.610-621, 1985.
- 2) P.D. Ziogas et al., "forced Commutated Cycloconverters for High-Frequency Link Applications", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-23, No.4, pp.661-672, 1987.
- 3) Xiaoliang Ma, "High-Performance PWM Frequency changers", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-22, No.2, pp. 267-280, 1986.
- 4) Akio Ishiguro et al., "Output Voltage Control Method of PWM-Controlled Cycloconverters with space Vectors", JIEE, Vol.110-d, No.6, pp.665-663, 1990.
- 5) Young-Soo Seo et al., "Operation of Low/High Frequency Changer Converter Using Power MOSFET" ISPE, April, pp216-222, 1992.