

PWM 제어형 Cycloconverter

이종무,* 구헌회,* 김영석**

*한국전기연구소, **인하대학교

PWM Controlled Cycloconverter

Jong moo Lee,* Heun-hoi Koo,* Young-seok Kim**

* Korea Electrotechnology Research Institute, ** Inha University.

Abstract

Recently, PWM cycloconverters that are frequency conversion system have been studied for eliminating dc links of conventional converter and inverter systems. A new real-time method for generating PWM patterns is proposed in this paper.

This method realizes sinusoidal input and output currents, controllable input displacement factor regardless of load power factor, and maximum output voltage range.

Finally, feasibility of the proposed method is confirmed by simulation and experiments.

1. 서론

최근, LSI, Microprocessor 및 전력용 반도체 소자등의 제조 기술과 응용 기술등이 향상됨에 따라 전력변환 기술이 급속하게 발전하였으며, 전력 변환 기기의 수요도 급증하고 있는 추세이다. 이들 전력 변환기기의 사용증대에 따른 무효전력과 고조파 발생이 심각한 문제점으로 대두되고 있으며, 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 PWM 제어 Inverter 시스템이 개발되어 실용화 되고 있으나, Inverter 시스템은 에너지 축적요소로서 DC Link를 포함하고 있어서 장치가 커지며, 회로의 직렬 소자수가 많으므로 변환 효율도 저하된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 강제 전류(轉流)형 Cycloconverter에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구는 상기의 배경으로 강제 전류(轉流)형 Cycloconverter의 회로 구성과 주파수 변환 원리를 검토하고, 제어 방법을 정식화 하여 Simulation 및 실험을 통하여 본 제어 방법의 타당성을 확인함과 동시에 Real Time Control의 가능성을 예시한다.

2. 주 회로 구성

강제 전류(轉流)형 Cycloconverter의 주회로 구성을 그림 1에 나타낸다.

회로는 입력 필터, 9개의 양방향 스위치 그리고 3상 부하로 구성되어 있으며, 전원 전압과 Cycloconverter 입력 전압은 각각 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_{u0} \\ V_{v0} \\ V_{w0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_s \cos \omega t \\ V_s \cos (\omega t - 2\pi/3) \\ V_s \cos (\omega t + 2\pi/3) \end{bmatrix} \dots (1)$$

$$\begin{bmatrix} V_u \\ V_v \\ V_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cos (\omega t - \delta) \\ V \cos (\omega t - \delta - 2\pi/3) \\ V \cos (\omega t - \delta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \dots (2)$$

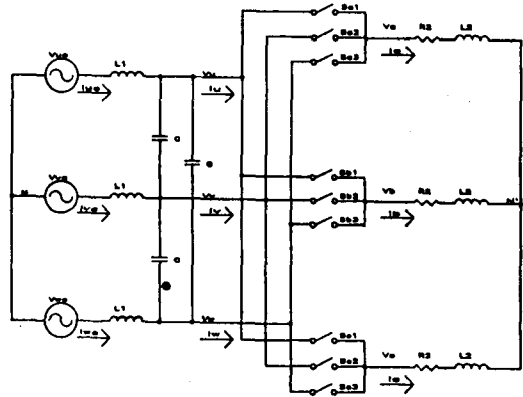


그림 1. Cycloconverter의 주 회로

3. 주파수 변환원리

각 주파수 W 인 3상 입력으로 부터 각 주파수 W_0 인 3상 출력으로 주파수 변환할 경우를 가정하자. 3상 입력 전압을 3상 2상 변환하여 공간 벡터로 표현하면 고정좌표 (입력측에 대응) 상에서 각속도 W 로 회전하는 벡터가 된다. 마찬가지로 3상 출력 전압도 고정좌표 (출력측에 대응) 상에서 각속도 W_0 로 회전하는 벡터로 표현된다. 각속도 W 로 회전하는 입력 전압 벡터를 각속도 W_0 로 회전하는 출력전압 벡터로 주파수 변환하기 위해서는 출력측 좌표축을 입력 전압 벡터에 대해 상대속도 W_0 로 회전시켜야 한다.

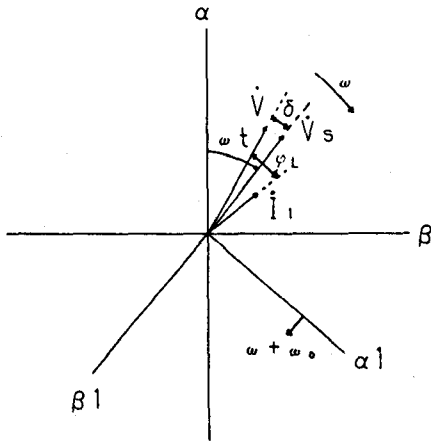


그림 2. 회전좌표 $\alpha_1 - \beta_1$ 및 전압, 전류 Vector

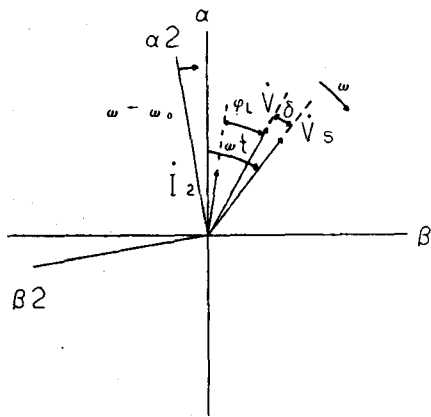


그림 3. 회전좌표 $\alpha_2 - \beta_2$ 및 전압, 전류 Vector

출력좌표축을 $W + W_0$ 로 회전시킬경우의 벡터도를 그림 2에 나타내고 $W - W_0$ 로 회전시킬때의 벡터도를 그림 3에 나타낸다. $W + W_0$ 와 $W - W_0$ 로 회전하는 좌표를 합성하면 그림 4와 같다. 여기서 설명을 간단히 하기위해 δ 를 무시하여 전압 벡터 \dot{V}_s 와 \dot{V} 를 같다고 가정하자.

$W + W_0$ 와 $W - W_0$ 의 두가지 변환 방식을 합성하면 부하 역률 각 ϕ_L 의 입력 전류 벡터에의 영향을 없앨수 있다.

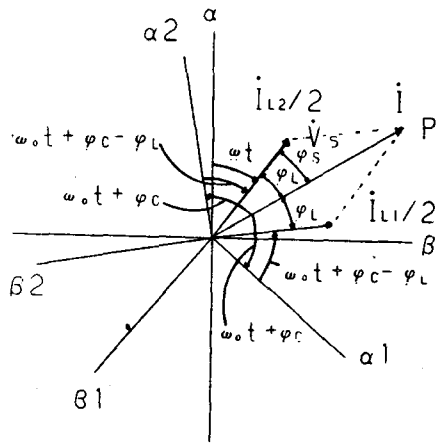


그림 4. 입력측 전류 벡터의 합성

4. 스위칭 함수

그림 1의 스위치 $S_{a1} \sim S_{c3}$ 에 대한 스위칭 함수 $a_1 \sim c_3$ 를 Sampling Time 내의 해당 스위치의 On 시간으로 정의하면

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_u \\ V_v \\ V_w \end{bmatrix} \dots (3)$$

$$\begin{bmatrix} I_u \\ I_v \\ I_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \dots (4)$$

가 성립된다.

$W + W_0$ 로 회전시킬 때의 좌표 변환을 스위칭 함수로 표현하면 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \cos((W + W_0)t + \phi_c + \phi_s) \\ \cos((W + W_0)t + \phi_c + \phi_s - 2\pi/3) \\ \cos((W + W_0)t + \phi_c + \phi_s + 2\pi/3) \end{bmatrix} \dots (5)$$

$W - W_0$ 로 회전시킬때의 좌표 변환은 다음과 같은 스위칭 함수로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} g1 \\ g2 \\ g3 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \cos((W - W_0)t + \varphi_c - \varphi_s) \\ \cos((W - W_0)t + \varphi_c - \varphi_s + 2\pi/3) \\ \cos((W - W_0)t + \varphi_c - \varphi_s - 2\pi/3) \end{bmatrix} \dots (6)$$

여기서 A는 전압 진폭을 나타낸다. 위의 두가지 방식을 시간 평균으로서 1/2 씩 합성하면

$$\begin{bmatrix} a1 & a2 & a3 \\ b1 & b2 & b3 \\ c1 & c2 & c3 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} f1 & f2 & f3 \\ f3 & f1 & f2 \\ f2 & f3 & f1 \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} g1 & g2 & g3 \\ g2 & g3 & g1 \\ g3 & g1 & g2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} hu & hv & hw \\ hu & hv & hw \\ hu & hv & hw \end{bmatrix} \dots (7)$$

이다. (7)식의 우변 3번째항은 스위칭 함수의 정의를 만족시키기 위해 도입된 항이다.

이때의 출력 전압은

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = V_L \begin{bmatrix} \cos(W_0t + \varphi_c) \\ \cos(W_0t + \varphi_c + 2\pi/3) \\ \cos(W_0t + \varphi_c - 2\pi/3) \end{bmatrix} + V_0 \dots (8)$$

$$V_L = (3AV/2) \cos(\varphi_s + \delta)$$

이고, 여기서 V_0 는 hu, hv, hw에 의해 얻어지는 영상 전압 성분으로서 출력 전압에는 나타나지 않는다. 출력 전류가 필터 효과에 의해 정현파로 된다고 가정하면

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = I_L \begin{bmatrix} \cos(W_0t + \varphi_c - \varphi_L) \\ \cos(W_0t + \varphi_c - \varphi_L + 2\pi/3) \\ \cos(W_0t + \varphi_c - \varphi_L - 2\pi/3) \end{bmatrix} \dots (9)$$

이고, 이때의 입력 전류는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} I_u \\ I_v \\ I_w \end{bmatrix} = (3AI_L/2) \cos \begin{bmatrix} \cos(Wt + \varphi_s) \\ \cos(Wt + \varphi_s - 2\pi/3) \\ \cos(Wt + \varphi_s + 2\pi/3) \end{bmatrix} \dots (10)$$

5. PWM 신호 발생법

스위칭 함수 a1 ~ c3로 부터 그림 5에 나타낸 바와 같이 PWM 신호를 발생시킨다. Sampling Time T_s 를 주기로 하여, 각 Sampling 구간의 시작점에서 스위칭 함수의 값을 유지시켜, 각 스위치의 On 시간을 배분한다.

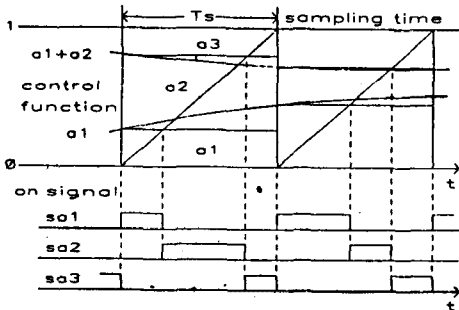
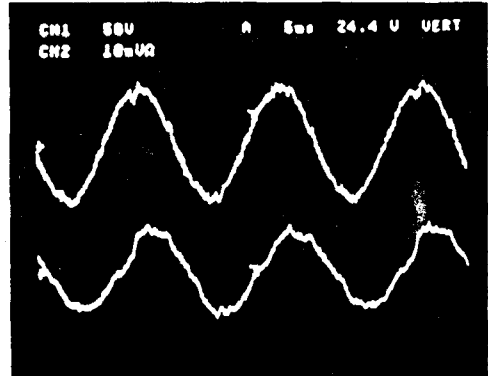


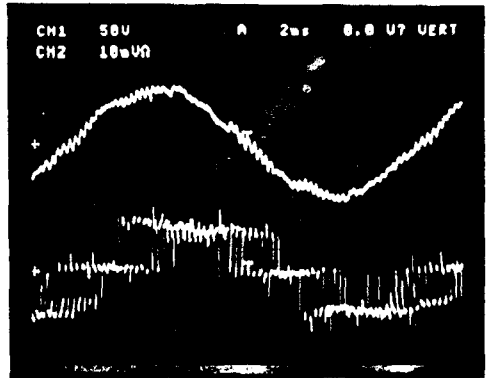
그림 5. PWM 신호 발생법

6. 실험 결과

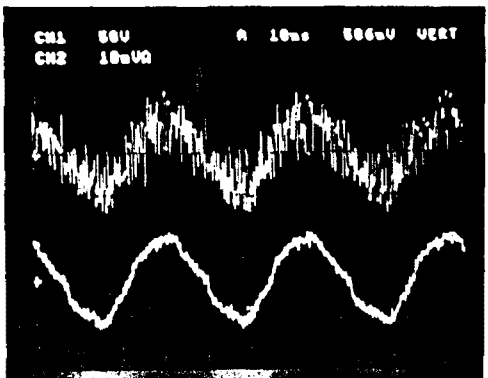
스위칭 소자는 Power Transistor 2개를 조합시켜 양방향성 스위치로 구성하였으며, $R1 = 0.1\Omega$, $L1 = 1.07mH$, $C = 10\mu F$, $R2 = 5\Omega$, $L2 = 4.48mH$, 이고, 전원전압 50 V, Sampling Time 256 us, $A = 1/\sqrt{3}$, $\varphi_c = 0$ 으로 제어 하였을때의 파형을 아래 사진에 나타낸다.



(a) E: V_0 , 50 V/div F: I_0 , 5 A/div

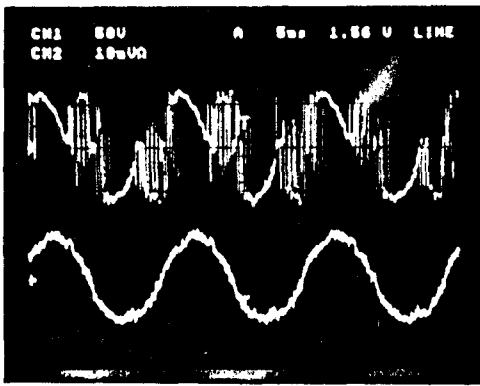


(b) E: V_0 , 50 V/div F: I_0 , 5 A/div



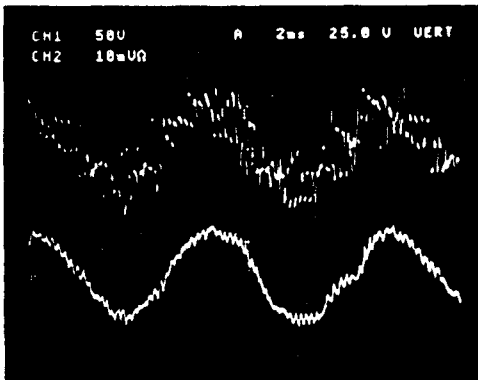
(c) E: V_{in} , 50 V/div F: I_0 , 5 A/div

사진 1. 각부의 파형 ($f_0 = 30\text{ Hz}$)



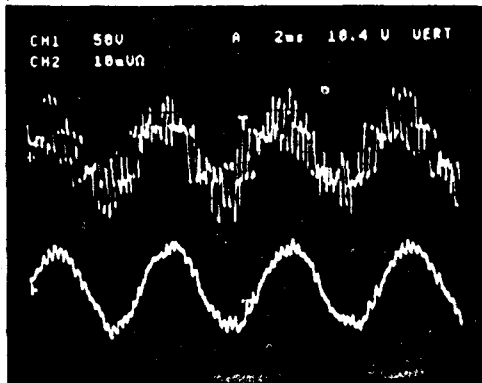
↑: V_{an} 50 V/div ↓: I_a 5 A/div

사진 2. 출력전압 및 전류파형 ($f_o = 60$ Hz)



↑: V_{an} 50 V/div ↓: I_a 5 A/div

사진 3. 출력전압 및 전류파형 ($f_o = 120$ Hz)



↑: V_{an} 50 V/div ↓: I_a 5 A/div

사진 4. 출력전압 및 전류파형 ($f_o = 180$ Hz)

7. 결 론

강제 전류(轉流)형 Cycloconverter 의 PWM 제어를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 입력 전류의 기판과 역복을 부하에 관계없이 1로 할수 있음은 물론이고 제어 할수도 있다.
- Sampling Time 내의 스위칭 소자의 On시간으로 정의 되는 스위칭 함수를 도입하여 제어 방법을 정식화 하였다.
- 최대 출력 전압 이용율은 $\sqrt{3}/2$ 배이다.
- 실험을 통하여 본 제어법의 타당성을 확인 하였으며, Real Time Control의 가능성을 예시 하였다.

참 고 문 헌

(1) Sakae Ishikawa 외 2인 ; " Development of AC Traction Vehicle System. ", Toshiba Reviv Vol. 42, No 6, pp. 457-460, 1987.

(2) Kuniake Yasukawa 외 3인 ; " 전원 회생형 Inverter THYFREC-VT86XR ", 명전시보 통권 제 195호, No4, pp.14-17, 1987.

(3) A.R Daniels 외 1인 ; " New Power Converter Technique Employing Power Transistor ", PROC. IEE Vol. 125, No.2pp. 146-150, February 1978.

(4) Shahidul I. Khan 외 2인; "Design Aspectsn Logic Control Circuits for Direct Frequency Changers " IECON' 85, pp. 277-284.

(5) Marco Venturini ; " A New Sine Wave in, Sinwave out conversion Technique Eliminates Reactive Elements ", Proceedings of Powercon7, pp. E3.1-E3.13.

(6) Muneaki Ishida 외 3인 ; " 입력 역률 가변 정현파 임출력 PWM 제어 사이크로 콘버터의 파형 제어법 ", 전학본 D, 107권 2호, pp239-246, 1987.

(7) 이종무 외 2인 ; " 강제 전류형 사이크로 콘버터의 PWM 제어 ", 1988년 추계 종합 학술대회 논문집, pp.273-276.