

다단 H-브릿지 인버터의 입력전류특성 (I)

— 입력단 변압기 결선과 위상이동특성

鄭勝基[†]

Line Current Characteristics of Multilevel H-Bridge Inverters:
Part I — Connection of Input Transformer and Phase Shift Characteristics

Seung-Gi Jeong

요 약

최근 중대용량의 교류전동기 구동에 다단 H-브릿지 인버터의 적용이 늘어나고 있다. 이 인버터의 주된 장점 중의 하나는 입력전류에 고조파성분이 적다는 것으로 이는 2차측이 다중의 위상이동 권선으로 이루어진 변압기를 사용함으로써 이루어진다. 본 논문은 다단 H-브릿지 인버터에 적용되는 위상이동 변압기의 권선 설계의 기본 방안과 입력전류 고조파의 이론적인 해석을 제시하고 있다. I부에서는 먼저 위상이동변압기의 입출력 전압관계식을 유도하고 위상이동과 변압기 설계와의 관련성에 대하여 서술하고 있다.

ABSTRACT

Recently, multilevel H-bridge inverters have become popular in medium to high power ac drive applications. One of significant advantages of them is low harmonic contents in their input line currents thanks to the transformer with multiple phase-shifted secondary windings. This paper attempts to provide basic guidelines for the design of the phase shifting transformer windings and theoretical analysis of input line current harmonics of H-bridge inverters. The part I provides the derivation of basic relationships between input and output current of the transformer and the relationship between the phase shifting characteristics and design aspects of the transformer.

Key Words : Multilevel inverter, H-bridge inverter, Extended-delta winding, Harmonics

1. 서 론

중대용량 교류전동기 구동에서 용량의 증가와 제어 성능의 향상을 꾀하기 위하여 다양한 형태의 다단 인버터 구조가 고안되어 왔다.^[1-3] 이들 중 다단 H-브릿지 인버터는 상용화에 성공하여 최근 인버터 시장에서 주목할만한 신장세를 보이고 있다. 최근에는 국내에서

도 발전소의 대용량 전동기 구동에 적용하는 등의 예가 비약적으로 증가하여 앞으로 대표적인 인버터로 정착될 것으로 예상된다.

다단 H-브릿지 인버터는 여러 개의 단상 인버터 모듈들을 조합하여 만들어지는데 이들은 각각 전기적으로 분리된 별도의 직류전원을 필요로 한다. 따라서 전체 시스템이 하나의 교류전원으로 구동될 때는 반드시 모듈의 개수에 해당하는 만큼의 2차권선을 갖는 변압기가 사용되어야 한다.^[4,5]

이렇게 복잡한 구조의 변압기가 필요하다는 약점을 지니고 있기는 하나 다단 H-브릿지 인버터는 입력단 변

[†]교신저자 : 정회원, 광운대 전기공학과 교수

E-mail : sgjeong@daisy.kw.ac.kr

접수일자 : 2008. 3. 14 1차 심사 : 2008. 3. 28

2차 심사 : 2008. 4. 28 심사완료 : 2008. 4. 28

압기의 구조를 적절히 활용함으로써 입력단 전류의 왜형을 대폭 감소시킬 수 있다는 장점을 지니고 있다. 이는 전력품질에 대한 요구수준이 나날이 높아지고 있는 최근의 추세에 잘 부합하는 매력적인 측면이라 할 수 있다. 따라서 입력전류의 고조파를 억제하기 위한 입력단 변압기의 적절한 설계는 다중 H-브릿지 인버터의 핵심적인 기술 중의 하나로 간주된다.

그러나 H-브릿지 인버터의 출력단 변조방식과 제어 특성에 관한 연구^[3,6-8]에 비해 입력단 변압기의 설계와 입력단 전류의 구체적인 고조파특성에 대한 문헌은 그 중요성에도 불구하고 찾아보기 어렵다. 따라서 본 논문은 이러한 측면에 대한 보다 구체적인 이론적 배경을 제공하는 것을 목적으로 입력단 전류의 고조파에 대한 해석적인 표현식을 유도하고자 한다. 먼저 본 논문의 I부에서는 입력단 변압기의 구조와 위상변이에 따른 기본적인 입출력 관계식을 도출하고 고조파특성과 관련된 내용은 II부에서 다루도록 한다.

2. 입력단 변압기의 구성

그림 1은 다단 H-브릿지 인버터 시스템 입력단 구성의 개념도를 보여주고 있다. 입력단 변압기는 델타 혹은 와이결선으로 된 하나의 1차권선과 같은 철심을 공유하는 여러 개의 2차권선으로 이루어져 있다. 각각의 2차권선은 입력단이 3상 전파정류회로와 H-브릿지 형태의 단상 인버터로 구성되는 전력변환기 모듈에 전력을 공급하며 H-브릿지 인버터 출력들은 직렬로 접속되어 전체 인버터의 한 상을 구성한다. 나머지 두 상도 동일한 구조로서 같은 철심을 통해 1차권선을 공유한다.

H-브릿지 모듈은 각 상당 통상 셋에서 다섯개 정도가 사용되나 이론상 개수의 제한은 없다. 모듈에 전력을 공급하는 변압기의 2차권선은 1차측 전압에 대해 위상이동이 일어나도록 만들어지고 양의 위상이동과 음의 위상이동이 대칭성을 갖도록 배치된다. 위상변위는 2차권선을 그림에서와 같이 연장델타(extended-delta) 결선으로 하거나 지그재그 결선으로 함으로써 이루어진다. 1차권선은 델타나 와이결선 어느 쪽이든 사용될 수 있으나 2차측이 지그재그 결선으로 되어 있을 경우에는 여자전류에 포함되는 3고조파 경로를 제공해주기 위해 1차권선을 델타로 하는 것이 바람직하다. 여기서는 편의상 연장델타결선을 전제로 하고 있으나 그 결과는 지그재그 결선에 있어서도 마찬가지로 적용될 수 있다.

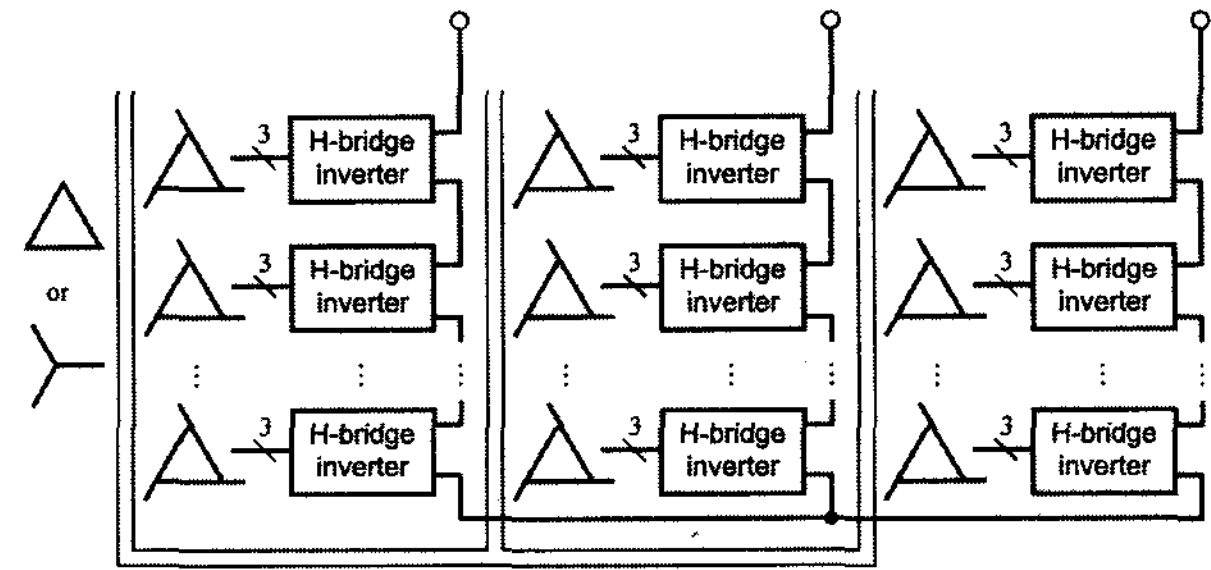


그림 1 다단 H-브릿지인버터 시스템의 구성
Fig. 1 Configuration of a multilevel H-bridge inverter system

3. 연장델타결선의 전압 및 전류 관계식

먼저 2차측이 하나의 연장델타결선으로 되어 있는 경우를 보도록 한다. 그림 2는 1차측이 델타인 경우와 와이인 경우에 대하여 각각 권선의 결선도를 보여주고 있다. 2차측 3상 출력단자는 대문자 A, B, C 로 표기하며 이에 대응하는 1차측 입력단자는 a, b, c 로 쓴다. 한편 변압기의 각 상 권선은 2차측에서는 R, S, T 로, 1차측에서 r, s, t 로 나타내기로 한다. 2차 각 상의 권선은 안쪽의 델타권선부와 연장부 두 부분으로 이루어져 있고 이들을 첨자 x 와 첨자 y 로 구분한다. 그림에서 1차측 선간전압 V_1 과 2차측 선간전압 V_2 사이의 비를 변압기의 전압비 a 로 놓고 일차권선과 이들에 대한 권선비를 각각 $a_x (= N_1 / N_x)$, $a_y (= N_1 / N_y)$ 로 나타내도록 한다.

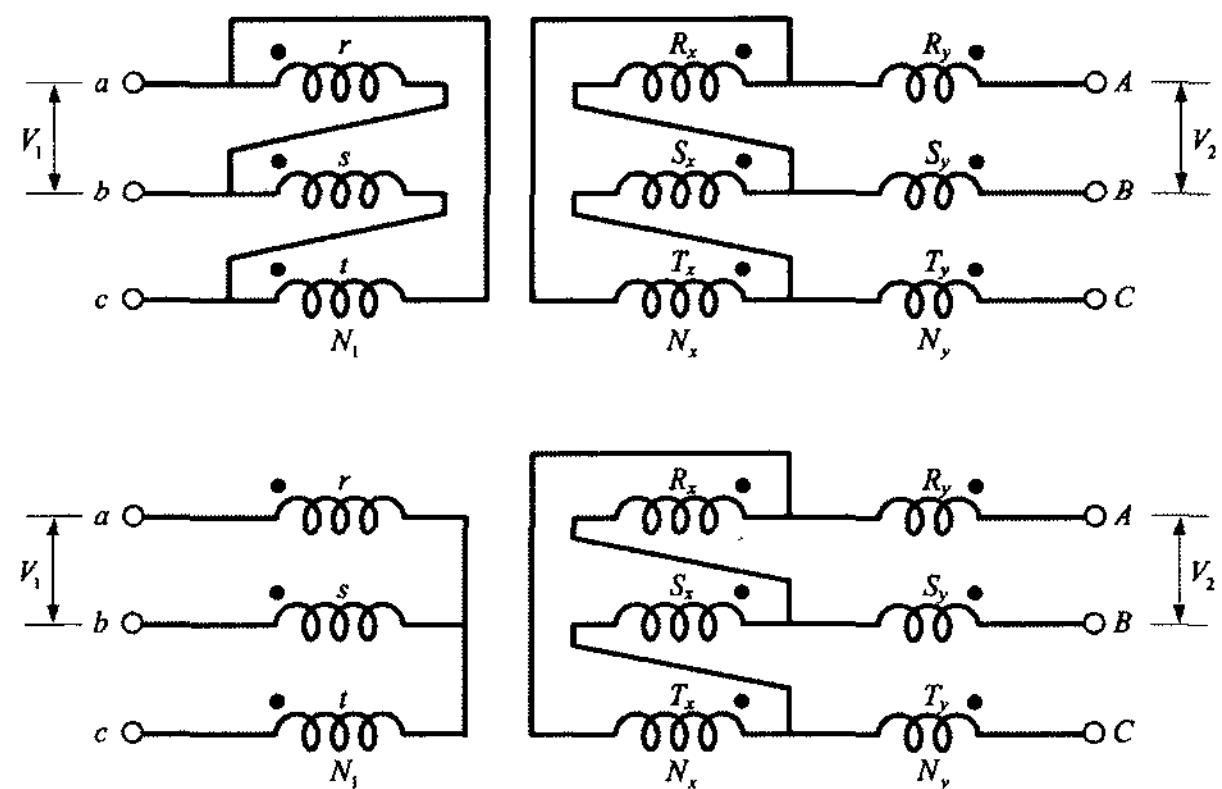


그림 2 1차측이 델타인 경우와 와이인 경우의 연장델타결선
Fig. 2 Extended-delta connection with a delta- and wye-primary

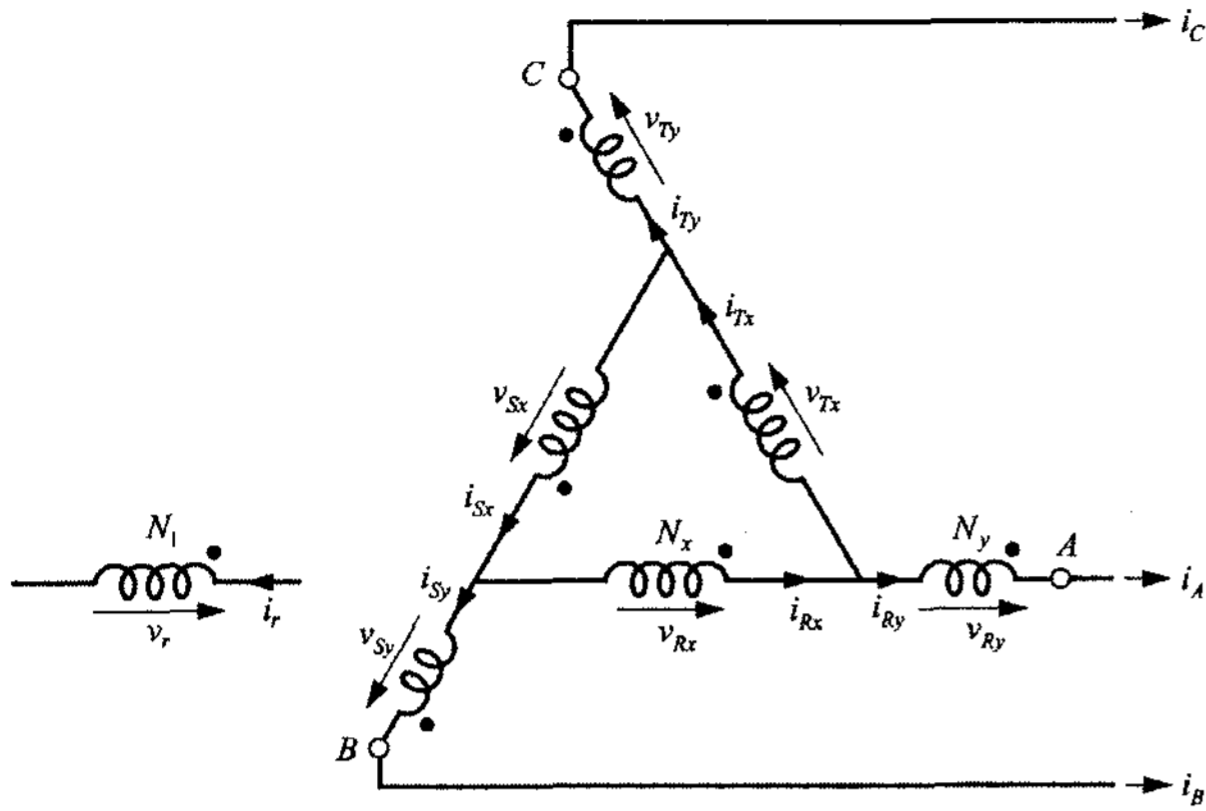


그림 3 양의 위상변위에서 변압기 권선전압과 전류
Fig. 3 Winding voltages and currents for positive phase shift

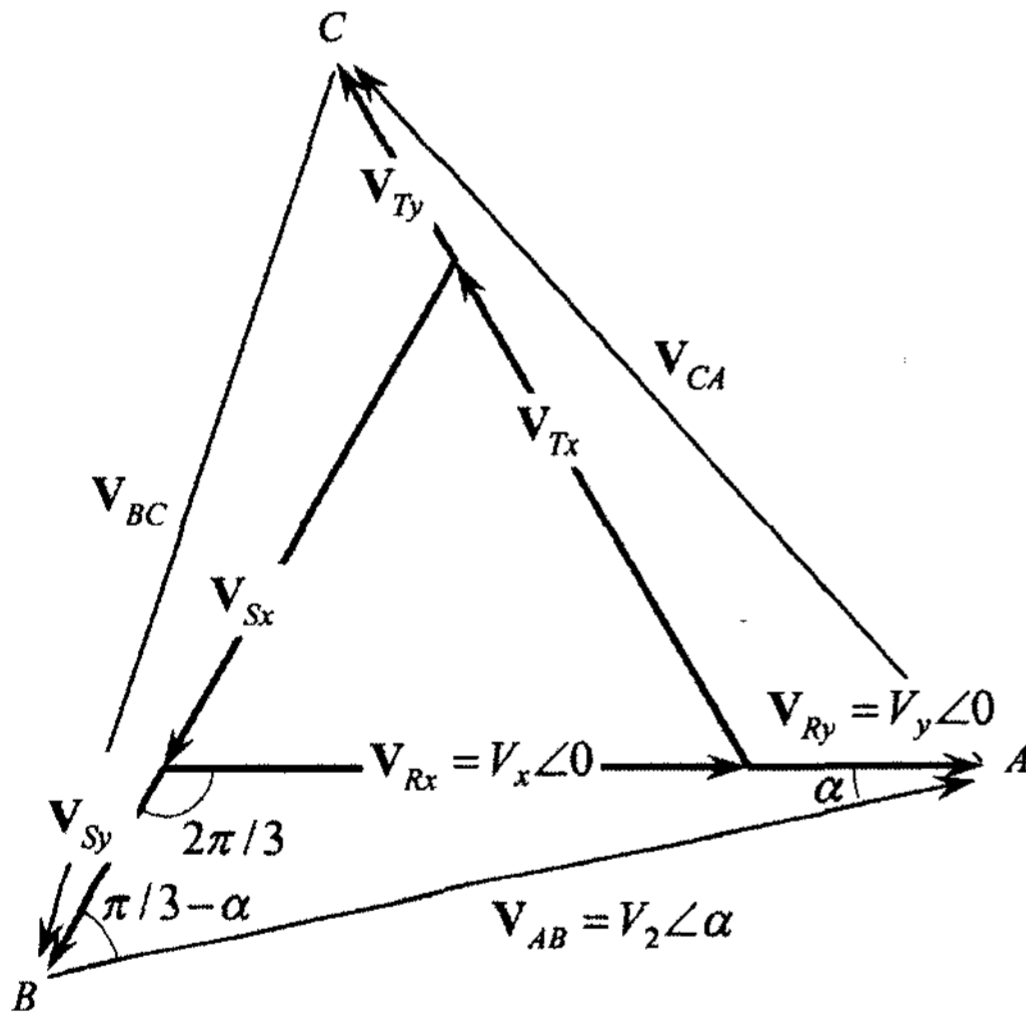


그림 4 2차권선에서의 전압 페이서도
Fig. 4 Voltage phasor diagram at secondary winding

전압관계식

이상적인 변압기와 3상 평형을 가정하였을 때 2차측 출력단 선간전압은 1차측 선간전압에 의해 아래와 같이 표현된다. 먼저 그림 3에서

$$\begin{aligned} v_{AB} &= v_{Rx} + v_{Ry} - v_{Sy} \\ v_{BC} &= v_{Sx} + v_{Sy} - v_{Ty} \\ v_{CA} &= v_{Tx} + v_{Ty} - v_{Ry} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} v_{Rx} &= \frac{1}{a_x} v_r, \quad v_{Ry} = \frac{1}{a_y} v_r \\ v_{Sx} &= \frac{1}{a_x} v_s, \quad v_{Sy} = \frac{1}{a_y} v_s \\ v_{Tx} &= \frac{1}{a_x} v_t, \quad v_{Ty} = \frac{1}{a_y} v_t \end{aligned} \quad (2)$$

이고 1차측에서 상전압 v_r, v_s, v_t 와 v_{ab}, v_{bc}, v_{ca} 사이의 관계를 적용하면 1차측이 델타결선인 경우에는

$$\begin{aligned} v_{AB} &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{ab} - \frac{1}{a_y} v_{bc} \\ v_{BC} &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{bc} - \frac{1}{a_y} v_{ca} \\ v_{CA} &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{ca} - \frac{1}{a_y} v_{ab} \end{aligned} \quad (3)$$

1차측이 와이인 경우에는

$$\begin{aligned} v_{AB} &= \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{ab} - \frac{1}{3a_x} v_{ca} \\ v_{BC} &= \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{bc} - \frac{1}{3a_y} v_{ab} \\ v_{CA} &= \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{ca} - \frac{1}{3a_y} v_{bc} \end{aligned} \quad (4)$$

전류관계식

역시 이상적인 변압기와 3상 평형조건을 가정하였을 때 각 상에서의 기자력 평형조건 ($N_1 i_r = N_x i_{Rx} + N_y i_{Ry}$ 등)을 적용하면

$$\begin{aligned} i_r &= \frac{1}{a_x} i_{Rx} + \frac{1}{a_y} i_{Ry} \\ i_s &= \frac{1}{a_x} i_{Sx} + \frac{1}{a_y} i_{Sy} \\ i_t &= \frac{1}{a_x} i_{Tx} + \frac{1}{a_y} i_{Ty} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 부하의 평형($i_{Rx} + i_{Sx} + i_{Tx} = 0$)을 가정하고 델타 권선부 및 연장권선부 전류와 출력선전류 사이의 관계를 적용하면

$$\begin{aligned} i_{Rx} &= \frac{1}{3}(i_A - i_B), \quad i_{Ry} = i_A \\ i_{Sx} &= \frac{1}{3}(i_B - i_C), \quad i_{Sy} = i_B \\ i_{Tx} &= \frac{1}{3}(i_C - i_A), \quad i_{Ty} = i_C \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 1차측이 와이결선인 경우에는

$$\begin{aligned} i_a &= i_r = \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y}\right)i_A - \frac{1}{3a_x}i_B \\ i_b &= i_s = \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y}\right)i_B - \frac{1}{3a_x}i_C \\ i_c &= i_t = \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y}\right)i_C - \frac{1}{3a_x}i_A \end{aligned} \quad (7)$$

델타결선인 경우에는

$$\begin{aligned} i_a &= i_r - i_t = \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y}\right)i_A - \frac{1}{a_y}i_C \\ i_b &= i_s - i_r = \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y}\right)i_B - \frac{1}{a_y}i_A \\ i_c &= i_t - i_s = \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y}\right)i_C - \frac{1}{a_y}i_B \end{aligned} \quad (8)$$

4. 위상이동각의 함수로 표현된 변압기 정격과 전압 전류 관계식

위상이동각과 권선전압

그림 4에서 보듯이 2차측 선간전압은 내부 델타결선부 전압보다 앞서게 된다. 이 각도를 위상이동각 α 로 한다. 2차 출력전압이 정해져 있는 상태에서 필요한 위상이동각(이하 간단히 '위상각'으로 칭함)에 대한 델타결선부 전압 V_x 와 연장부의 전압 V_y 를 아래와 같이 정할 수 있다.

그림 4에서 사인법칙을 적용하면 다음의 관계가 성립한다.

$$\frac{V_2}{\sin(2\pi/3)} = \frac{V_y}{\sin \alpha} = \frac{V_x + V_y}{\sin(\pi/3 - \alpha)} \quad (9)$$

이로부터

$$V_x = 2 \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha\right) V_2 \quad (10)$$

$$V_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \alpha V_2 \quad (11)$$

$$V_x + V_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) V_2 \quad (12)$$

여기서 위상이동각이 30° 를 넘으면 $V_x < 0$ 가 됨에 유의하면 전압 극성이 바뀌지 않는 범위 내에서 위상이동각의 한계가 30° 임을 알 수 있다. 그림 5는 이 관계를 보여주고 있으며 표 1에 대표적인 위상각에 대한 수치를 나타내었다.

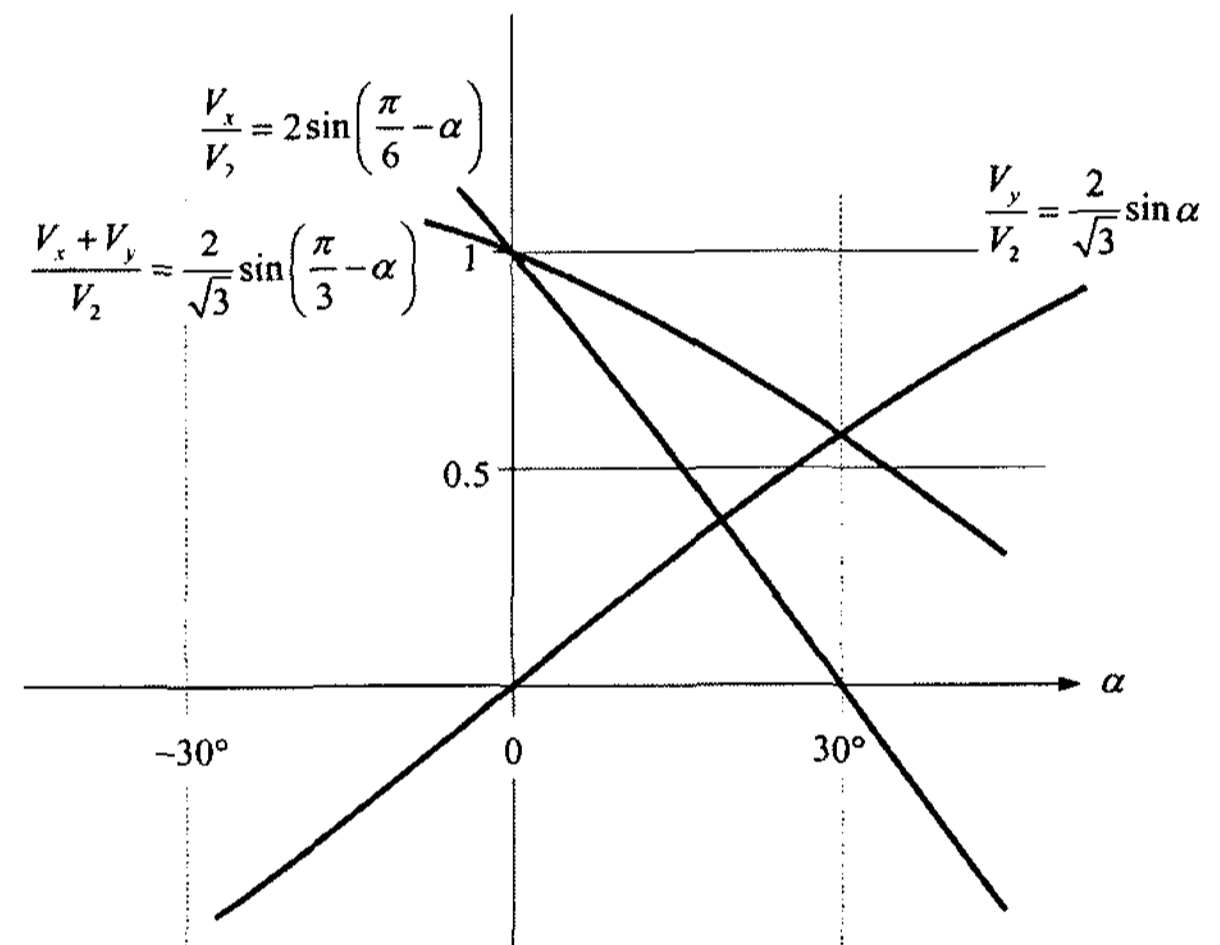


그림 5 2차측 선간전압에 대한 권선전압의 비
Fig. 5 Ratio of secondary winding voltages to line-to-line voltage

표 1 대표적 위상각에서 출력 선간전압에 대한 권선전압의 비

Table 1 Ratio of secondary winding voltages to line-to-line voltage for typical phase shift angles

위상각	V_x/V_2	V_y/V_2	$(V_x + V_y)/V_2$
0°	1	0	1
5°	0.845	0.101	0.946
12°	0.618	0.240	0.858
15°	0.518	0.299	0.816
20°	0.347	0.395	0.742
24°	0.209	0.470	0.679
25°	0.174	0.488	0.662

권선정격

2차권선의 상당 피상전력 정격은 다음의 식으로 주어진다.

$$S_w = V_x I_x + V_y I_y \quad (13)$$

여기에 식 (10)과 (11)을 대입하고 $I_y = I_2$ 와 $I_x = I_2 / \sqrt{3}$ 의 관계를 적용하면

$$S_w = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha\right) + \sin \alpha \right] V_2 I_2 \quad (14)$$

따라서 모듈당 총 출력에 대한 변압기 정격용량의 비율은 다음과 같이 된다.

$$\frac{3S_w}{\sqrt{3}V_2 I_2} = 2 \left[\sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha\right) + \sin \alpha \right] \quad (15)$$

그림 6은 위상각에 따른 정격용량의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 보는 바와 같이 위상이동각이 15°일 때 식 (15)는 그 최대값인 1.035가 되는데 이는 연장델타 결선에 의한 위상변위를 한도 해도 변압기 용량의 이용률에 있어서는 그다지 큰 손실이 발생하지 않음을 보여주고 있다.

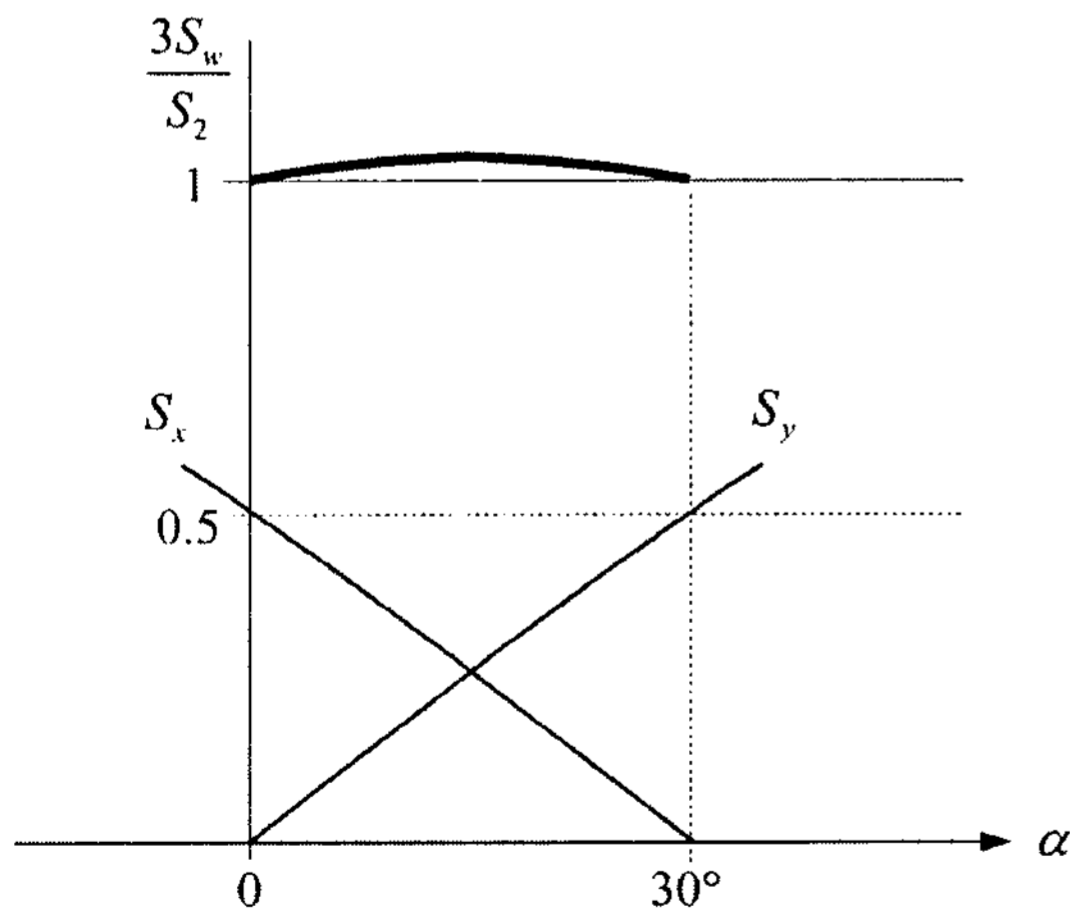


그림 6 2차 정격용량에 대한 권선용량의 비
Fig. 6 Ratio of winding volt-ampere to secondary rating

전압 및 전류관계식

3절에서 서술한 전압관계식과 전류관계식을 위상각의 함수로 나타내기 위해서는 권선비를 전압비와 위상각의 함수로 표현하여야 한다.

1차측이 델타결선일 경우 권선비는 다음과 같다.

$$a_x = \frac{N_1}{N_x} = \frac{V_1}{V_x} = \frac{V_1 V_2}{V_2 V_x} = \frac{a}{2 \sin(\pi/6 - \alpha)} \quad (16)$$

$$a_y = \frac{N_1}{N_y} = \frac{V_1}{V_y} = \frac{V_1 V_2}{V_2 V_y} = \frac{\sqrt{3}a}{2 \sin \alpha} \quad (17)$$

이 관계를 식 (3)에 적용하면 전압관계식은 아래와 같이 된다.

$$\begin{aligned} v_{AB} &= \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) v_{ab} - \sin \alpha v_{bc} \right] \\ &\vdots \end{aligned} \quad (18)$$

그리고 식 (8)의 전류관계식에 적용하면

$$\begin{aligned} i_a &= \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) i_A - \sin \alpha i_C \right] \\ &\vdots \end{aligned} \quad (19)$$

혹은 변수를 바꾸어 아래와 같이 쓸 수도 있다.

$$\begin{aligned} i_a &= \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) i_A + \sin \alpha i_B \right] \\ &\vdots \end{aligned} \quad (20)$$

1차측이 와이결선인 경우에는

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{N_1}{N_x} = \frac{V_1 / \sqrt{3}}{V_x} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_1 V_2}{V_2 V_x} \\ &= \frac{a}{2\sqrt{3} \sin(\pi/6 - \alpha)} \end{aligned} \quad (21)$$

$$a_y = \frac{N_1}{N_y} = \frac{V_1 / \sqrt{3}}{V_y} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_1 V_2}{V_2 V_y} = \frac{a}{2 \sin \alpha} \quad (22)$$

이고 식 (4)와 식 (7)의 전압 전류 관계식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} v_{AB} &= \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\cos \alpha v_{ab} + \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) v_{bc} \right] \\ &\vdots \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} i_a &= \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\cos\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) i_A - \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha\right) i_B \right] \\ &\vdots \end{aligned} \quad (24)$$

5. 음의 위상이동의 경우

위의 3절과 4절에서는 2차의 연장델타결선에서 나타나는 선간전압의 위상이동이 양인 경우에 대하여 설명하였다. 음의 위상이동을 위한 결선은 그림 2에서 1차측 권선의 극성을 그대로 두고 2차측 결선의 전압극성이 모두 반대로 되는 경우에 해당한다. 이 경우에 대한 결선의 변수 정의 및 전압 페이서도를 그림 7과 8에 나타내었다.

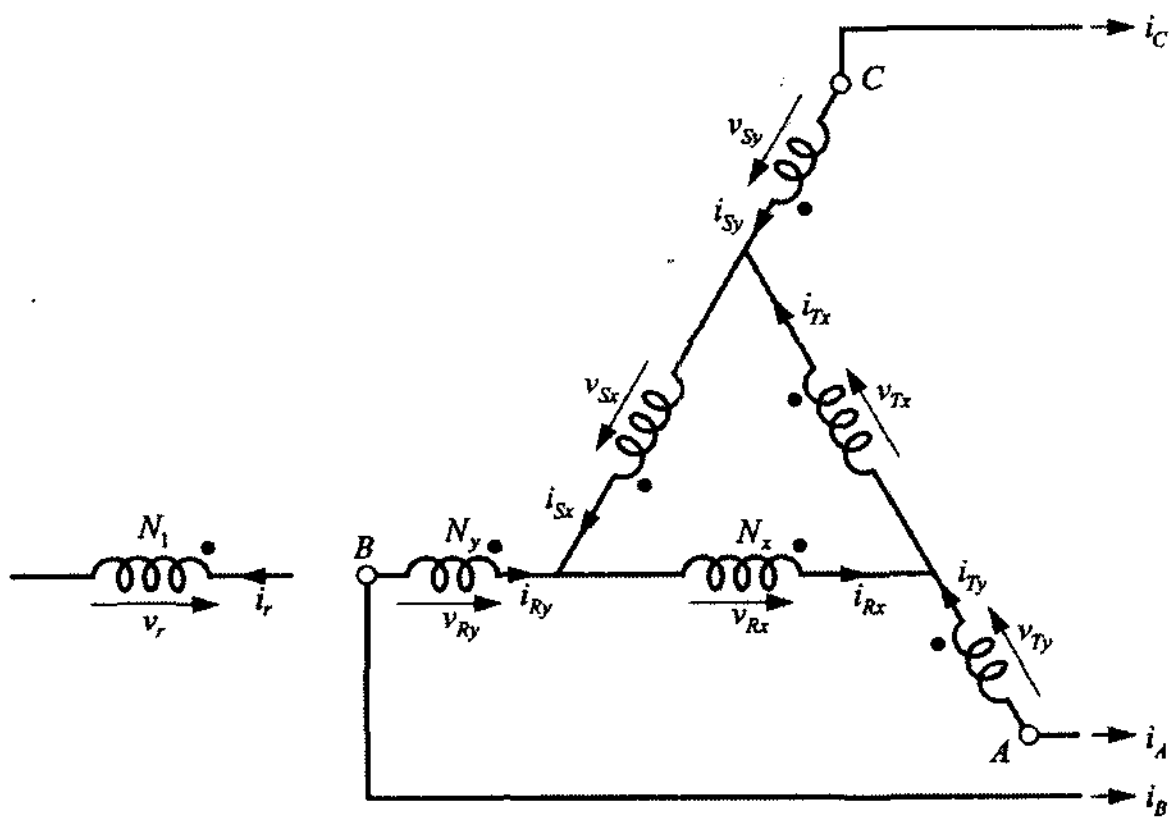


그림 7 음의 위상변위에서 변압기 권선전압과 전류
Fig. 7 Winding voltages and currents for negative phase shift

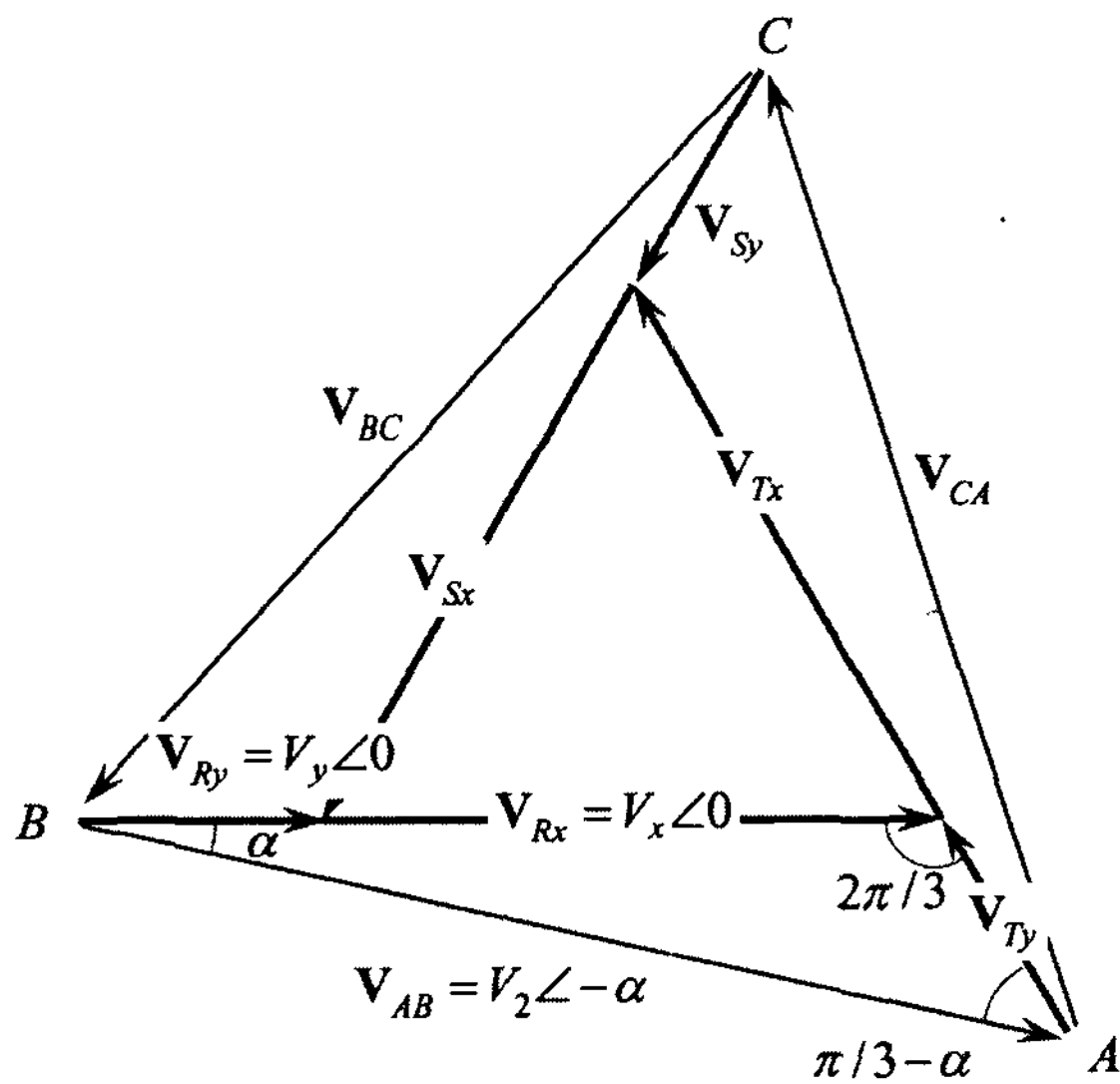


그림 8 2차권선에서의 전압 페이서도
Fig. 8 Voltage phasor diagram at secondary winding

3절에서와 유사하게 전압 및 전류의 관계식을 유도하면 아래와 같다. 먼저 1차측이 델타결선인 경우에는

$$\begin{aligned} v_{AB} &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{ab} - \frac{1}{a_y} v_{ca} \\ v_{BC} &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{bc} - \frac{1}{a_y} v_{ab} \\ v_{CA} &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{ca} - \frac{1}{a_y} v_{bc} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} i_a &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) i_A - \frac{1}{a_y} i_B \\ i_b &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) i_B - \frac{1}{a_y} i_C \\ i_c &= \left(\frac{1}{a_x} + \frac{1}{a_y} \right) i_C - \frac{1}{a_y} i_A \end{aligned} \quad (26)$$

1차측이 와이결선인 경우에는

$$\begin{aligned} v_{AB} &= \frac{1}{3a_x} v_{ab} - \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{ca} \\ v_{BC} &= \frac{1}{3a_y} v_{bc} - \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{ab} \\ v_{CA} &= \frac{1}{3a_y} v_{ca} - \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) v_{bc} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} i_a &= \frac{1}{3a_x} i_A - \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) i_B \\ i_b &= \frac{1}{3a_x} i_B - \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) i_C \\ i_c &= \frac{1}{3a_x} i_C - \left(\frac{1}{3a_x} + \frac{1}{a_y} \right) i_A \end{aligned} \quad (28)$$

권선전압과 위상이동각 사이의 관계는 다음과 같이 된다.

$$V_x = 2 \sin \left(\frac{\pi}{6} - \alpha \right) V_2 \quad (29)$$

$$V_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \alpha V_2 \quad (30)$$

권선전압과 2차 선간전압 사이의 관계는 앞서 그림 5에서 보였던 것과 마찬가지로이며 권선정격에 있어서도

대칭성에 의해 위상이동이 양일 경우와 동일하다.

전압 및 전류 관계식을 위상각의 함수로 표현하기 위해 앞서 식 (16), (17) 및 식 (21), (22)를 적용하면 1차측이 델타결선인 경우 전압관계식은

$$v_{AB} = \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) v_{ab} - \sin \alpha v_{ca} \right]$$

$$\vdots$$
(31)

혹은 변수를 바꾸어 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$v_{AB} = \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) v_{ab} + \sin \alpha v_{bc} \right]$$

$$\vdots$$
(32)

그리고 전류관계식은

$$i_a = \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) i_A - \sin \alpha i_B \right]$$

$$\vdots$$
(33)

1차측이 와이결선인 경우에는

$$v_{AB} = \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha\right) v_{ab} - \cos\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) v_{ca} \right]$$

$$\vdots$$
(34)

혹은 변수를 바꾸어

$$v_{AB} = \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\cos \alpha v_{ab} + \cos\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) v_{bc} \right]$$

$$\vdots$$
(35)

전류관계식은

$$i_a = \frac{2}{\sqrt{3}a} \left[\sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha\right) i_A - \cos\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right) i_B \right]$$

$$\vdots$$
(36)

6. 전류파형의 예

이상에서 2차측 위상이동이 양인 경우와 음인 경우에 대하여 각각 전압 전류의 관계식을 살펴보았다. 이러한 관계에 의해 2차측 전류와 1차측 전류 사이에 나타나는 상관관계를 구체적으로 보이기 위해 2차측에 이상적인 6계단형 구형파 전류가 흐르는 정류기 부하가 접속되어 있다고 가정하였을 때 1차측 전류파형이 어떻게 나타나는지를 그림 9에 나타내었다.

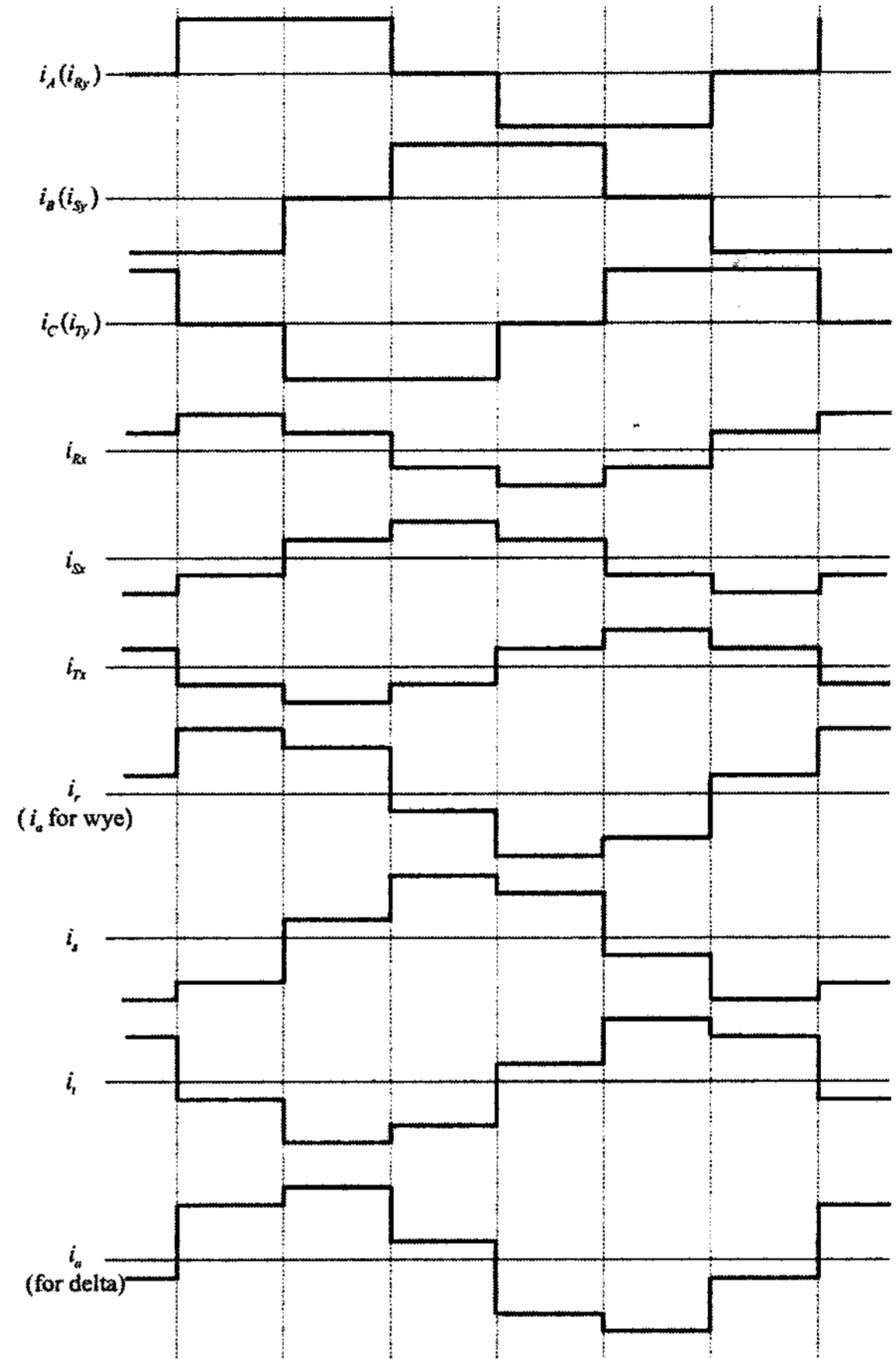


그림 9 양의 위상변위에서 6계단형 부하전류파형과 이것이 전원전류에 반영된 파형

Fig. 9 Quasi-square load current waveforms and associated primary current for positive phase angle shift

양의 위상변위의 경우 주어진 부하전류에서 변압기 입력전류 파형은 식 (7)과 (8), 혹은 식 (19)나 (20), 그리고 식 (24)를 사용하여 구할 수 있다. 그림 9의 맨 위 세 파형은 2차측 선전류의 파형으로서 연장부권선전류와 같다. 그 아래의 세 파형은 그에 대응하는 델타권선부의 전류파형이다. 1차권선에 흐르는 상전류는 연장부 전류와 델타부 전류가 권선비에 따라 조합된 형태가 되므로 그 아래 세 개의 파형과 같은 형태가 된다. 1차가 와이결선일 때는 이것이 곧 선전류가 되며 델타결선일 경우에는 다시 이들이 조합되어 맨 아래 한 상에 대해 보인 것과 같은 파형의 전류가 흐른다. 위상변위가 음인 경우에는 그림 9의 파형을 좌우로 뒤집은 형태가 된다.

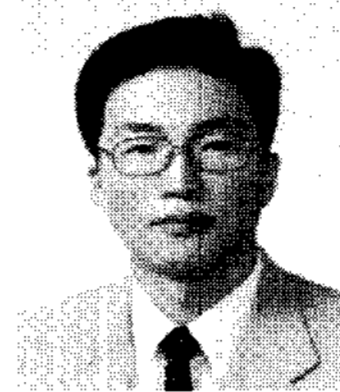
7. 결 론

다단 H-브릿지 인버터의 입력단 변압기로 사용되는 연장델타결선에서 위상각 변위에 따른 변압기의 권선비와 용량, 그리고 1차측과 2차측 전압, 전류 사이의 일반적인 상관관계를 도출하였다. 위상각이 양인 경우와 음인 경우, 그리고 1차측이 와이결선인 경우와 델타결선인 경우에 대하여 각각 유도하였으며 서로 다른 경우들끼리의 대칭성 및 쌍대성이 나타남을 볼 수 있다. 이러한 관계는 연장델타결선의 수학적 모델로 컴퓨터 시뮬레이션에 직접 적용할 수 있다. 나아가 주어진 위상변위와 정격 전압 및 전류 조건 하에서 연장델타결선의 권선과 정격을 결정하는 데에 필요한 기본 지침이 된다.

다단 H-브릿지 인버터에서는 이러한 연장델타결선이 여러 개 조합되어 사용됨으로써 입력단 전류의 고조파를 억제하게 된다. 이러한 고조파 억제특성에 관해서는 본 논문의 II부에서 다루도록 한다.

inverters: a survey of topology, controls, and applications," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 49, No. 4, pp. 724-738, 2002, Aug.

저 자 소 개



정승기(鄭勝基)

1982년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 졸업(석사). 1988년 동 대학원 졸업(공학박사). 1987년~현재 광운대 전기공학과 교수.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Lai and F. Z. Peng, "Multilevel converters—A new breed of power converters", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 32, No. 3, pp. 509-517, 1996, May/June.
- [2] L. M. Tolbert, F. Z. Peng and T. G. Habetler, "Multilevel converters for large electric drives", *IEEE Trans. on Industry Application*, Vol. 35, No. 1, pp. 36-44, 1999, Jan./Feb.
- [3] K. Corzine and Y. Familiant, "A new cascaded multilevel H-bridge drive", *IEEE Trans on PE*, Vol. 17, No. 1, pp. 125-131, 2002, Jan.
- [4] Peter W. Hammond, US Patent 5,625,545, 1997.
- [5] 박영민, 김연달, 이현원, 이세현, 서광덕, "3,300V 1MVA H-브릿지 멀티레벨 인버터 개발," *전력전자학회 논문지*, 제8권, 제6호, pp. 478-487, 2003. 12.
- [6] C. M. Wu, W. Lau and H. S. Chung, "Analytical technique for calculating the output harmonics of an H-bridge inverter with dead time", *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, Vol. 46, No. 5, pp. 617-627, 1999, May.
- [7] A. Damiano, M. Marchesoni, I. Marongju, A. Taffone, "Optimization of harmonic performances in multilevel converter structures", *Conference Record of IEEE ISIE'97*, pp. 341-346.
- [8] J. Rodriguez, J. Lai and F. Z. Peng, "Multilevel