

3-레벨 컨버터에 의한 직류전력제어

정연택*, 이사영**, 함년근*

*명지대학교, **명지전문대학

DC Power Control for 3-Level Converter.

Yon-Tack Chung*, Sa-Young Lee**, Nyoun-Kun Hahm*

*Myong Ji University, **Myong Ji Junior College

Abstract

This paper study on the control method of 3-level converter. The control of converter is composed of active power control for controlling a output voltage and of reactive power control for high power factor drives. And also, output central voltage is controlled by sensing a each condensor voltage of bank connected the part of dc.

1. 서론

전력변환기에 있어서 3-레벨 변환기는 파형의 개선과 대용량화에 적합한 방법으로 이변환기의 기능과 성능향상 및 응용에 관한연구[1][3]가 활발히 진행되고 있다. 또한 3-레벨 변환기는 낮은 내압의 전력용 반도체소자를 사용하고 고전압의 전력변환기에 적용하며 PWM방식을 사용하여 고조파를 줄일 수 있는 특유의 특징을 가지고 있다. 이러한 특징을 이용하여 대용량의 유도전동기를 가변속운전하는 인버터의 응용[1][2][3]에 주로 적용되고 있다.

3-레벨 변환기는 구조적에서 직류측이 2뱅크의 콘덴서로 되어있는 중점전위를 필요로 한다. 이 중점의 전위는 각뱅크의 충전전 전류가 다를 경우 정확한 중점전위를 유지하지 않게 된다. 이 때문에 전력변환기를 구성하고있는 반도체소자의 전압불균일과 교류측 파형에 또다른 현상의 영향을 가져오게 되므로 중점전압의 제어[4]는 필연적으로 필요한 기능이다.

본 연구는 3-레벨 변환기를 AC/DC 변환기에 적용하였다. 변환기는 출력전압을 제어하기 위한 유효성분의 전력을 제어하는 부분과 교류전원측에 대하여 고역률의 상태로 운전이 되도록 무효성분의 전력을 제어하는 부분으로 분리하여 제어를 구성하였다. 또한 직류측에 연결된 2뱅크의 각콘덴서전압을 제어하여 출력의 중점전압을 유지시킨다.

2. 3-레벨 전압형 컨버터

3-레벨 변환기에 의한 AC/DC 컨버터는 일반 전압형 컨버터와 같이 전원과 변환기는 교류리액터로 결합되어 그림1.의 등가회로로 나타내어 진다.

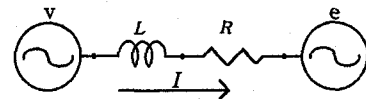


그림1. 전압형 컨버터의 등가회로

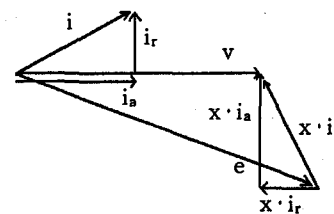


그림2. 리액터 저항을 무시한 등가회로의 벡터도

그림1.의 등가회로에서 전압방정식은 다음과 같다.

$$v = L \frac{di}{dt} + Ri + e \quad (1)$$

또 그림1. 회로의 전원전류는 리액터의 전압을 전원과 90[도]의 위상이 되도록 변환기의 교류측전압을 제어하면 고역률의 운전이 가능해 진다.

그림1.회로에서 리액터의 권선저항을 무시하면 임의의 전압과 전류에 대하여 그림2.와 같은 벡터도가 주어진다. 그림2.의 벡터도에서 전류의 무효성분은 전원과 동위상의 리액터 전압성분에 의하여 결정되며 유효성분은 전원전압과 90[도]의 위상을 갖는 리액터 전압성분으로 결정됨을 알 수 있다. 결국 전원의 전류는 리액터 전압에 의하여 결정되므로 그림1.에서

변환기의 교류측 전압을 적절한 크기와 위상을 갖도록 하면 전원의 전류를 임의의 상태로 제어할 수 있다.

그림2.에서 전원전압을 회전좌표계의 ds축으로 했을 때 변환기의 교류측 전압은

$$\begin{aligned} e_{de} &= v_{de} + X i_r = v_{de}(1 + \text{con}_r) \\ e_{qe} &= -X i_a = -v_{de} \text{con}_a \end{aligned} \quad (2)$$

이때 여기에서 con_r 과 con_a 는 전원전압 v_{de} 에 대한 리액턴스강하율로 무효전류와 유효전류를 결정하는 제어량이 된다. 따라서 그림2.의 벡터도와 식(2)에 의한 변환기의 전압은 그림3.과 같은 간단한 제어블럭도로 연산될 수 있다.

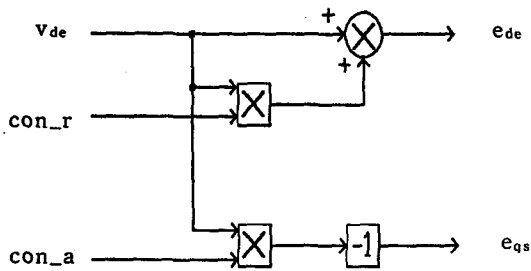
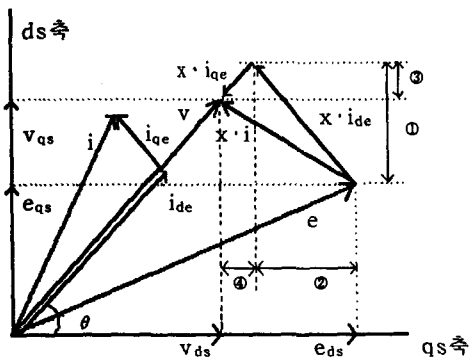


그림3. 회전좌표계에 대한 변환기의 전압연산

전원의 1상을 기준으로 하는 고정좌표계에 대하여는 그림4.와 같이 전원전압이 ds축과 임의의 각을 이루고 있을 때 리액터 전압은 전원의 전압성분인 v_{qs} 와 v_{ds} 성분으로 연관될 수 있으며 그림3.으로 설명된 변환기의 전압연산은 그림5.와 같은 고정좌표계에 대하여도 연산할 수 있다.



- ① $X i_{de} v_{ds} / v_{de} = v_{ds} \cdot \text{con}_a$
- ② $X i_{de} v_{qs} / v_{de} = v_{qs} \cdot \text{con}_a$
- ③ $X i_{qe} v_{qs} / v_{de} = v_{qs} \cdot \text{con}_r$
- ④ $X i_{qe} v_{ds} / v_{de} = v_{ds} \cdot \text{con}_r$

그림4. 고정좌표계에 대한 벡터도와 변환기의 전압연산

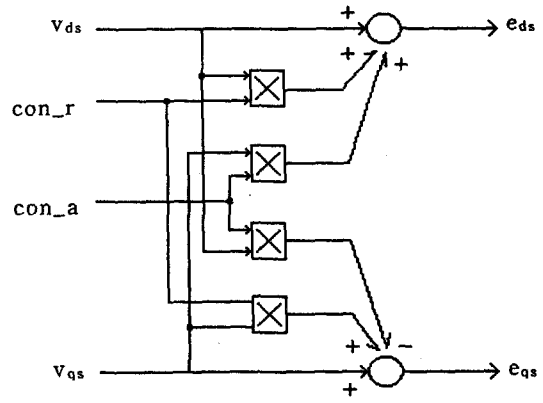
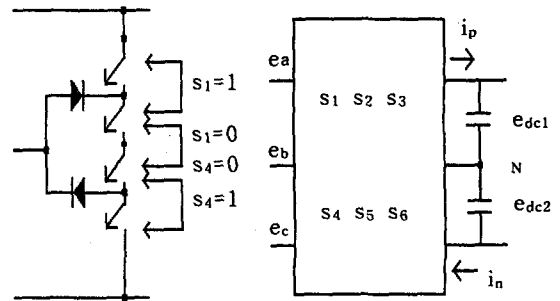


그림5. 고정좌표계에 대한 변환기의 전압연산

3. 중점전압의 제어

3-레벨 변환기의 상태를 해석하기 위하여 그림6-(a)와 같은 스위치회로를 적용한다.



(a) 스위치회로 (b) 3-레벨변환기

그림6. 스위치회로로 변환한 3-레벨 변환기

그림6-(b)는 이 스위치로 구성된 3-레벨 변환기이다. 전원의 a상에는 s_1 과 s_4 , b상에는 s_2 와 s_5 , c상에는 s_3 과 s_6 이 연결되고 s_1, s_2, s_3 는 (+)측, s_4, s_5, s_6 은 (-)측에 연결되어 있는 구조이다. 콘덴서의 중점에 대한 변환기의 교류측 단자전압은 그림6-(b)로부터 식(3)이 된다.

$$\begin{aligned} e_a' &= S_1 \cdot e_{dc1} - S_4 \cdot e_{dc2} \\ e_b' &= S_2 \cdot e_{dc1} - S_5 \cdot e_{dc2} \\ e_c' &= S_3 \cdot e_{dc1} - S_6 \cdot e_{dc2} \end{aligned} \quad (3)$$

직류측의 콘덴서중점의 전위와 전원의 중성점의 전위는 다르며 콘덴서 중점과 중성점사이의 전압 즉 영상 전압은

$$e_0 = (e_a' + e_b' + e_c')/3$$

$$e_0 = (s_1 + s_2 + s_3) \cdot e_{dc1}/3 - (s_4 + s_5 + s_6) \cdot e_{dc2}/3 \quad (4)$$

식(4)를 고찰하면 변환기를 구성하고 있는 스위치가 통전하는 주기평균기간이 (+)측 혹은 (-)측의 어느 쪽이 큰가에 따라 중성점의 평균전위를 다르게 할 수 있다. 중성점에 대한 상전압은 식(3)에서 식(4)를 빼면 구해지며 선간전압에는 이 영상전압의 영향이 나타나지 않는다.

그림6-(b)에서 직류측 콘덴서에 흐르는 충전전류는 다음식으로 된다.

$$i_p = s_1 \cdot i_a + s_2 \cdot i_b + s_3 \cdot i_c$$

$$i_n = -s_4 \cdot i_a - s_5 \cdot i_b - s_6 \cdot i_c \quad (5)$$

콘덴서중점의 불평형과 상하측의 스위치가 주기평균 통전기간이 다를 경우 나타나는 영상전압은 교류측에 그 영향이 없지만 식(5)에 의하면 상하측의 스위치가 주기평균 통전기간과 전류벡터는 상하측의 콘덴서의 충전전류를 다르게 할 수 있음을 의미한다.

4. 시스템구성 및 실험

그림7.과 같은 제어블럭도로 실험을 하였다. 출력의 전압을 일정하게 제어하며 전원에 대하여 고역률운전을 한다. 직류측의 양측 콘덴서전압이 같게 유지하도록 전류벡터에 따른 영상전압을 보상하여 PWM변조를 한다. 전원전압과 전류는 ds,qs축으로 좌표변환한다. 연산 교류측 전력은

$$P_a = v_{ds} \cdot i_{ds} + v_{qs} \cdot i_{qs}$$

$$P_r = v_{ds} \cdot i_{qs} + v_{qs} \cdot i_{ds} \quad (6)$$

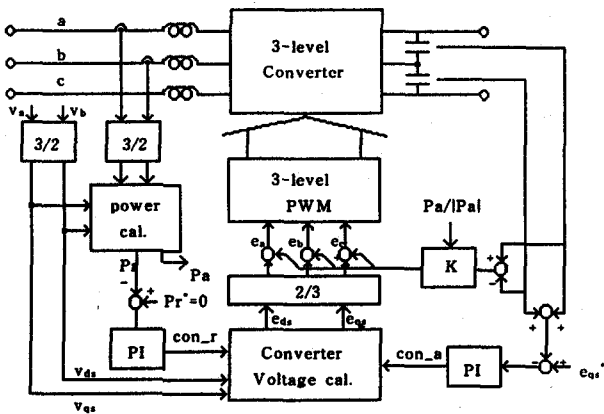
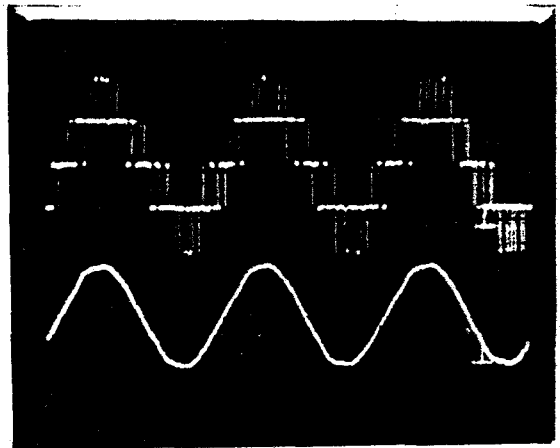


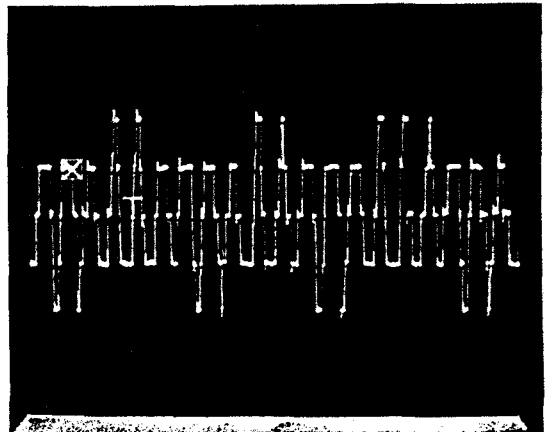
그림7. 시스템의 블럭도

으로 구해지며 식(6)으로 된 무효전력이 0이 되도록 한다. 직류출력전압의 제어는 유효성분의 제어로 이루어지며 각 콘덴서 전압의 차가 있게 되면 중점전압을 유지하도록 제어가 이루어진다.

식(5)에 의하여 콘덴서에 흐르는 충전전류는 각상전류의 극성에 따라 결정된다. 또한 변환기의 순변환 동작에 대해서 식(5)에 의한 주기평균전류는 충전의 상태가 되고 회생의 동작에 대하여는 콘덴서가 방전하는 경우가 된다. 이들 충전의 조건은 변환기의 동작 즉 식(6)으로 표현된 유효전력의 극성으로 알 수 있으며 그림7.과 같은 방법으로 영상전압을 보상한다. 그림8.에 측정된 실험파형을 보였다.



(a) 전원전압과 변환기전압



(b) 전원의 중성점에 대한 중점전압
그림8. 실험파형

5. 결론

본 연구는 3-레벨 변환기의 제어방법으로 출력전압을 제어하기 위한 유효성분의 전력을 제어하는 부분과 교류전원측에 대하여 고역률의 상태로 운전이 되도록 무효성분의 전력을 제어하는 부분으로 분리하여 기틀을 구성하였다. 또한 PWM변조에 따른 영상성분을

제어하여 직류측에 연결된 콘덴서전압의 중점전압을 제어하는 방법을 제안하였다.

참고문헌

- [1] J. K. Steinke, "Switching Frequency Optimal PWM Control of a Three-Level Inverter.", IEEE Trans. on Power Electronics, vol.7, no.3, 1992, pp.487-496.
- [2] S. Tamai et al., "3 Level GTO Converter - Inverter Pair System for Large Capacity Induction Motor Drive.", Proc. EPE, 1993, pp.45-50.
- [3] G. Carrara et al., "Optimal PWM for The Control of Multilevel Voltage Source Inverter.", Proc. EPE, 1993, pp.255-259.
- [4] J. Carter et al., "Capacitor Voltage Control in Single-Phase Three-Level Converters.", Proc. EPE, 1993, pp.149-154.