

## DSP2407에 의한 3D-SVPWM의 실현

조승일, 한명성, 김철준

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자, 기술자들은 현실에 튼튼히 발을 붙이고 사회주의건설의 실천이 제기하는 문제들을 연구대상으로 삼고 과학연구사업을 진행하여야 하며 연구성과를 생산에 도입하는 데서 나서는 과학기술적문제들을 책임적으로 풀어야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 492페이지)

3상4선식배전망에서 3상부하의 비대칭현상은 피할수 없으며 부하의 비선형성으로 인하여 중성선으로 큰 전류가 흐르게 된다.

종전의 3상3선식역변환기의 출구에 삼각형-별형연결변압기를 리용하는 방식에서는 원리상 오직 3상대칭전압만 출력되므로 부하의 비대칭을 없앨수 없다.[1, 2]

본문에서는 부하의 비대칭을 줄이고 비선형성에 의한 중성선전류를 감소시키는 3상4선식구조역변환기에서 직류측의 전압리용효율을 최대한 높이고 출구특성들을 개선하는 등 종전의 SPWM이나 리력조종에 비해 성능이 훨씬 우월한 3차원공간스펙트럼방식에 의한 조종방식을 제안하고 MATLAB로 조종모의를 진행하였으며 DSP소자 TMS320LF2407을 리용하여 조종알고리즘을 실현하였다.

### 1. 3D-SVPWM의 실현방법

3상4선식역변환기구조를 그림 1에 보여주었다.

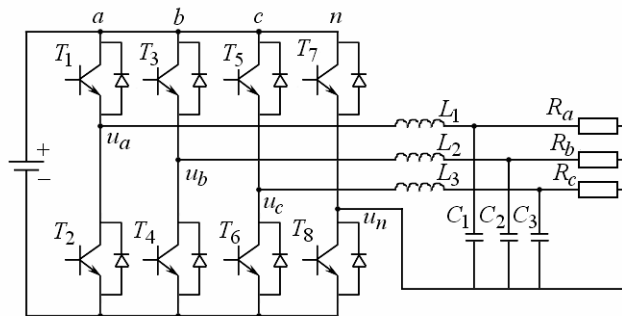


그림 1. 3상4선식역변환기구조

그림 1에서 보는바와 같이 3상4선식역변환기에서는 령상성분이 존재하므로 4번째 다리에 대한 조종을 진행하여야 한다.

따라서  $abc$  자리표를  $\alpha\beta\gamma$  의 3차원자리표로 넘기는 공정이 필요하다. 이때 정상과 역상성분은  $\alpha$  와  $\beta$  값을 결정하고  $\gamma$  값은 령상성분에 의해서만 결정되게 된다.

clark자리 표변 환공식

$$\begin{pmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ u_\gamma \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_{an} \\ u_{bn} \\ u_{cn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

으로부터 다음의 식들을 얻을수 있다.

$$u_\alpha = (1 - \omega^2 LC)V_M \cos(\omega t) - \frac{2}{3}\omega L \left[ I_{AM} \sin(\omega t + \varphi_A) - \frac{1}{2}I_{BM} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \varphi_B\right) - \frac{1}{2}I_{CM} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \varphi_C\right) \right] \quad (2)$$

$$u_\beta = (1 - \omega^2 LC)V_M \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega L \left[ I_{BM} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \varphi_B\right) - I_{CM} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \varphi_C\right) \right] \quad (3)$$

$$u_\gamma = \frac{L + 3L_n}{3}\omega \left[ I_{AM} \sin(\omega t + \varphi_A) + I_{BM} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \varphi_B\right) - \frac{1}{2}I_{CM} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \varphi_C\right) \right] \quad (4)$$

여기서  $V_M$ 은 전압최대값,  $I_{AM}$ ,  $I_{BM}$ ,  $I_{CM}$ 은 전류의 최대값,  $\varphi_A$ ,  $\varphi_B$ ,  $\varphi_C$ 는 3상전류의 초기위상값,  $L$ 과  $L_n$ 은 3상유도도와 중성선의 유도도값,  $C$ 는 려파콘덴샤용량값이다.

만일 3상부하전압과 전류가 대칭이라면

$$I_{AM} = I_{BM} = I_{CM}, \quad \varphi_A = \varphi_B = \varphi_C$$

이므로 공간벡토르의 자리길은  $\alpha\beta$  평면의 원에만 놓이게 되며  $\gamma$  값은 령이 되게 된다.

그러나 비대칭인 경우에는 공간벡토르의 자리길이  $\alpha\beta\gamma$ 의 공간자리표상에 놓이게 되고  $\alpha\beta$  평면으로의 사영은 타원을 이루게 된다.

한편 역변환기가 4개의 다리로 이루어졌으므로 매개 다리의 여닫이상태는 총  $2^4 = 16$  가지의 조합으로 된다.

$$S_i = \begin{cases} 1, & \text{웃소자 열림, 아래소자 막힘} \\ 0, & \text{웃소자 막힘, 아래소자 열림} \end{cases} \quad (a, b, c, d) \quad (5)$$

식 (5)로부터 역변환기의 3상출구전압벡토르  $V$ 는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$V = [(S_a - S_n)(S_b - S_n)(S_c - S_n)]^T V_{dc} \quad (6)$$

구하려는 전압벡토르는 다음의 형식으로 표시되게 된다.

$$\mathbf{u}_n = i\mathbf{u}_\alpha + j\mathbf{u}_\beta + k\mathbf{u}_\gamma \quad (7)$$

식 (7)로 얻어지는 16가지 여닫이상태의 전압공간벡토르는 그림 2에서 보여주는것처럼 총 7개 층으로 나누어진 6각기둥을 이룬다.

그림 2에서 립방체는 총 6개의 3각기둥(매개 기둥은 1개 구역을 의미함)으로 나눌수

있으며 매개 3각기둥은 4개의 4면체로 이루어졌다는것을 알수 있다.

그림 3에 여닫이벡토르의  $\alpha\beta$  평면으로의 사영관계를 보여주었는데 X는 4번째 다리의 여닫이상태를 보여주었다.

한방향에 두가지 벡토르상태가 놓이는것을 제외하고는 보통 2차원 SVPWM변조방식의 여닫이벡토르사영관계와 같다.

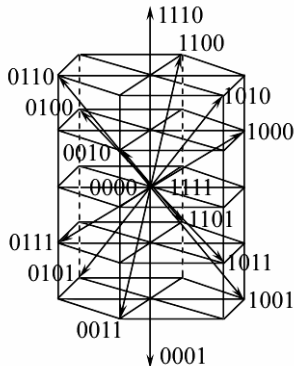


그림 2. 3차원전압공간벡토르분포도

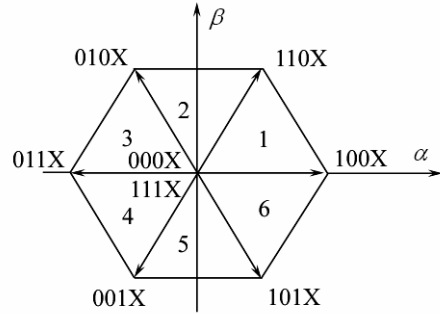


그림 3. 3차원공간여닫이벡토르의  $\alpha\beta$  평면으로의 사영관계

우리는 1개의 PWM주기에 2개의 령벡토르 [0000]과 [1111]을 넣는 9단식 대칭변조방식을 리용하여 고조파함량을 훨씬 줄여 출구려파특성을 개선하였다.

## 2. 3D-SVPWM의 모의와 DSP소자 2407에서의 실현

역변환기에서 3D-SVPWM알고리즘에 대한 모의를 MATLAB SIMULINK로 진행하였다. 모의속도를 높이기 위하여 모의시간을  $1\mu s$ , 출구유도도를  $800\mu H$ , 려파콘덴샤의 용량값을  $47\mu F$ , 절환주파수를  $5kHz$ , 직류전압을  $650V$ 로 설정하고 모의를 진행하였다. 모의결과는 그림 4-7과 같다.

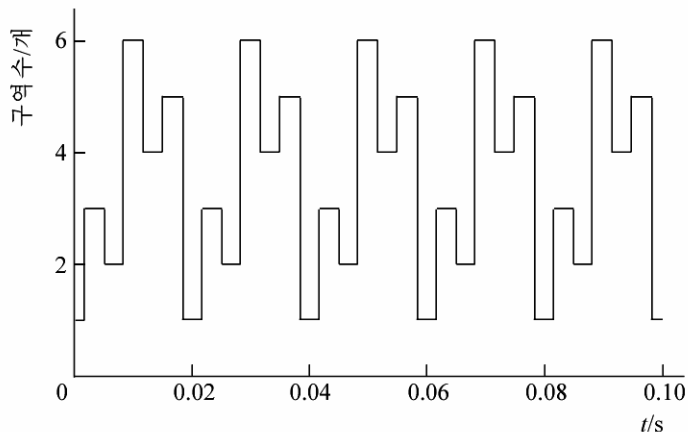


그림 4.  $u_{ref}$  가 놓이는 구역(6개)결정

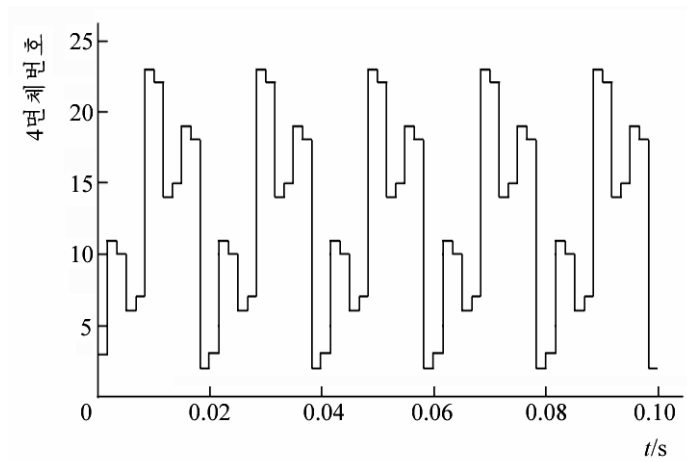


그림 5. 4면체(24개)의 번호결정

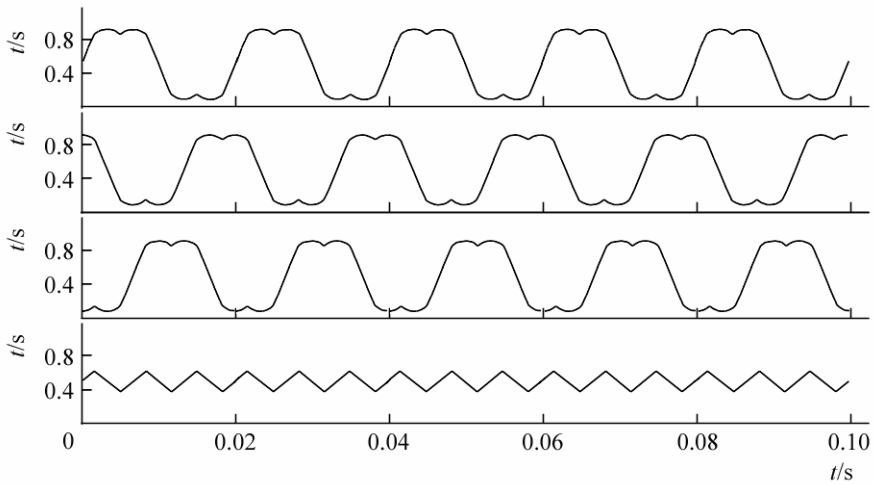


그림 6. 작용시간 Tcmp1, Tcmp2, Tcmp3, Tcmp4의 계산

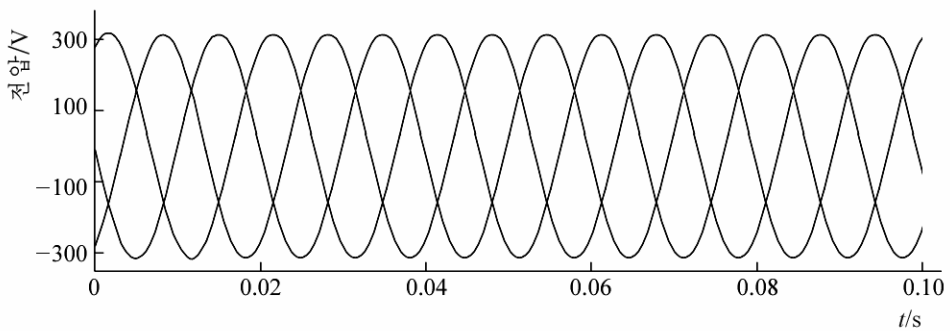


그림 7. 3상출구전압파형

3상3선식SVPWM과 비교해볼 때 4선식3D-SVPWM조종방식은 한쌍의 Dead-time기능

을 가진 PWM통로가 더 필요하므로 1개의 사건관리장치로서는 실현불가능하다.

따라서 2개의 사건관리기 EVA와 EVB를 동시에 리용하였으며 EVA의 비교모듈 CMPR3과 EVB의 비교모듈 CMPR4를 리용하여 9계단식PWM대칭변조를 실현하였다.

계수방식은 올리내림방식으로 설정하고 매개 표본화주기안에서 4개의 벡토르작용시간 Tcmp1, Tcmp2, Tcmp3, Tcmp4를 계산하여 비교등록기에 넣어주었다.

## 맺 는 말

3상4선식역변환기에서 3D-SVPWM의 실현원리를 구체적으로 서술하고 SIMULINK를 리용하여 모의실험을 진행함으로써 알고리즘의 정확성과 믿음성을 확증하였다.

또한 DSP2407을 리용한 실험장치에서 알고리즘을 실현시킴으로써 3차원공간벡토르를 리용한 역변환기조종에서 DSP2407이 적합하다는것을 증명하였다.

## 참 고 문 헌

[1] J. Tang et al.; IEEE Trans. On Power Electronics, 18, 1, 208, 2003.

[2] V. Himamshu Prasad et al.; IEEE Trans. On Power Electronics, 17, 3, 314, 2002.

주체108(2019)년 5월 5일 원고접수

## Realization of 3D-SVPWM Based on DSP2407

*Jo Sung Il, Han Myong Song and Kim Chol Jun*

Three-phase-four-leg inverter has many advantages, such as limiting the phase unbalance, reducing higher neutral current and compensating harmonic current. In this paper, three dimensional voltage space vector antenna modulation (3D-SVPWM) technique is represented and the Simulink simulation is conducted.

Key Words: DVPWM, DSP