

유도 전동기의 가변속 운전을 위한 근사 Optimal PWM
파형 발생 방법
ALGORITHM FOR GENERATING NEAR OPTIMAL
PWM WAVEFORMS FOR INDUCTION MOTOR DRIVES

이 윤중 한양대학교
정 동희 한양대학교
김 명진* 한양대학교

1. 서 론

최근 새로운 고속 스위칭 소자와 microprocessor의 진보로 인해 가변속 유도 전동기에 인버터의 적용이 가능하게 되었으나 인버터 회로를 사용하여 유도 전동기를 가변속 운전할 때 인버터 회로를 구성하고 있는 반도체 소자의 on, off 스위칭 작용으로 많은 고조파가 포함되어 인버터 출력 전압 및 전류의 파형이 비정현파가 되어 전동기 손실을 증가시키고 토크 맥동 및 고조파가 소음등의 원인이 된다. 1) - 2)

이러한 비 정현파를 더욱 정현파에 근사한 파형으로 출력하기 위한 인버터의 스위칭 패턴에 관한 연구가 계속되어 왔으나 종래의 타 방식(Natural, Regular sampled PWM)에 비해 유용한 Optimal PWM 방식은 $0 - \pi/2$ 사이의 스위칭 각인 M이 증가할수록 스위칭 각을 결정하는데 계산시간이 엄청나게 소요되는 어려운 점이 있었다. 3) - 5)

또한, 1974년 PATEL와 HOFI씨는 특정 고조파를 선정하여 선정된 고조파를 제거하는 SHE(Selected Harmonic Elimination) 방식을 제시하였으나 6) - 7) 이 방식은 스위칭 패턴을 결정하기 위한 비선형 방정식 군이 초월함수로 주어지므로 Newton-Raphson 방법으로 해를 구할시 초기치 선정의 문제와 M의 증가에 따른 스위칭 각의 계산시간이 증가하므로 microprocessor에 기초한 제어기의 파형발생기로서 On-line하게 실현되어질 수 없었다.

본 논문에서는 이러한 어려운 점을 해결하기 위하여 microprocessor에 기초한 제어기에 의해 수행되어질 스위칭 각을 결정하기 위해 근사적인 Optimal PWM 파형 발생 방법을 제시하며 이를 이용하여 실제 3상 유도 전동기의 가변속 운전에 적용되도록 하였다.

또한 본 방식을 Natural PWM, Regular PWM 및 Optimal PWM의 타 방식과 비교하였다.

2. 근사 Optimal PWM 방식

그림 1은 3상 인버터의 기본 구성도를 나타내며 일반적으로 $\pi/2$ 에 대해 반파대칭으로 가정한 인버터의 출력 상전압을 그림 2에 나타내었다.

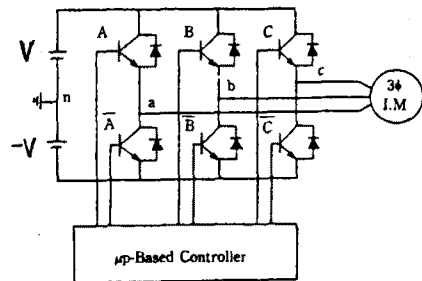


그림 1. 3상 인버터의 기본구성도

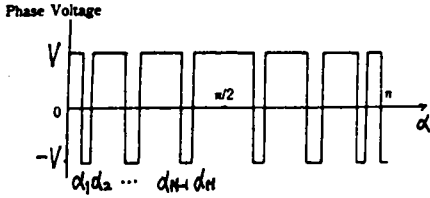


그림 2. PWM파형

그림 2에서 이 파형의 스위칭각 α 는 $0 - \pi/2$ 사이의 스위칭수 $K=1, 2, 3, \dots, M$ 일때 식 (1)의 조건을 만족한다.

$$0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3 \dots \leq \alpha_M \leq \pi/2 \quad (1)$$

그림 2의 파형을 Fourier급수로 전개하여 표현하면 식(2)와 같으며 이때 Fourier계수는 $\pi/2$ 에 대해 대칭인 반파대칭으로 가정하였으므로 식(3)과 같이 나타내어질 수 있다.

$$f(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \sin n\omega t + B_n \cos n\omega t] \quad (2)$$

$$\begin{cases} A_n = \frac{4V}{n\pi} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^{M-1} (-1)^k \cos n\alpha_k \right] \\ B_n = 0 \quad : n; \text{ odd} \end{cases} \quad (3)$$

식(3)을 Newton-Raphson방법을 사용하여 스위칭각을 구할 시 반복식(Iteration equation)은 식(4)와 같다.

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_M \end{bmatrix}_{p+1} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_M \end{bmatrix} - \frac{1}{\pi} \begin{bmatrix} +\sin\alpha_1 & -\sin\alpha_2 & \dots & \pm\sin\alpha_M \\ +\sin 5\alpha_1 & -\sin 5\alpha_2 & \dots & \pm\sin 5\alpha_M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ +\sin n\alpha_1 & -\sin n\alpha_2 & \dots & \pm\sin n\alpha_M \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_5 \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(4)로부터 구한 스위칭각을 인버터 출력전압의 기본파 성분 V_1 과 $0 - \pi/2$ 까지 스위칭수 M 에 대한 변화곡선으로부터 스위칭 각 군의 궤적에 대한 일반적인 형태를 유추할 수 있으며 이는 특히 M 이 큰 경우에 대하여 V_1 의 대부분의 영역에 걸쳐 직선군으로 근사화시킬 수 있다.

그러나, 직선으로 근사화되지 않는 경우 즉 M 이 적은 경우에는 식(4)로부터 스위칭각을 쉽게 구할 수 있으므로 이를 이용하고 V_1 이 큰 범위에서는 적절하게 보정해 줌으로써 근사적 Optimal PWM파형의 패턴을 결정할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 특정 고조파를 선정하여 선정된 고조파분을 제거하는 SHE방식을 이용하여 구한 스위칭 패턴으로부터 근사 Optimal PWM파형의 패턴을 결정하였다.

이러한 스위칭 패턴은 큰 오차가 없으며 이를 이용하여 실제 3상 유도 전동기를 가변속 운전시켜 보았고 또한 종래의 방식인 Natural PWM, Regular PWM 및 Optimal PWM 방식과 비교해 보았다.

그 결과, 본 방식의 타당성을 입증할 수 있었다.

참고 문헌

- 1) 戶田孝, 寺嶋正之, "高調波の影響と低減", 電気學會雜誌, 103卷(9号), pp 887~890, 昭58-9.

2) Bimal K. Base, "Adjustable speed AC Drives-A technology Status Riview", Proceeding of the IEEE, Vol 70, No2, pp116-135, Feb, 1972.

3) G.S Buja and G.B Indri, "Optimal pulse width modulation for feeding AC motors", IEEE Trans, Vol. IA-13, pp38-44, 1977.

4) Yoon-jong Lee and Dong-wha Chung, "The study on Optimal PWM for 3phase IM Drives", KIEE, Vol134, No9, pp 28-35, September, 1985.

5) Yoon-jong Lee and Dong-wha Chung, "Optimal PWM strategy for minimization of Torque ripples of a variable speed 3phase IM", KIEE, Vol135, No6, 1986.

6) F.G Turnbull, "Selected harmonic reduction in static ac-dc inverter", IEEE Trans, Comm, EI83(73), pp374-378, 1964.

7) Patel. H.S and Hoft. R.F, "Generalized technique of harmonic elimination and voltage control in thyristor inverter; Part1-Harmonic elimination", IEEE Trans, IA-9, pp310-317, 1972.