

펄스폭변조형인버터를 사용한 단상-삼상 변환

Single to Three-Phase Conversion Using PWM Inverter

| | |
|---------|-------|
| 이 중 하 | 충북대학교 |
| 이 세 령 | 충북대학교 |
| 양 계 준 * | 충북대학교 |

1. 서 론

최근 하이브리드 전동차의 전력사용이 급증하고 있으나, 수용가의 분산, 부하의 소규모, 간헐적 운전특성의 이유로 단상직압 배전선로가 주로 채택되고 있다. 이에 따라 주동력원으로 사용되고 있는 단상유도전동기가 삼상유도전동기에 비해 갖는 문제점¹⁾을 해결하기 위한 대책으로 단상전원에 의한 삼상전동기의 구동에 관한 연구^{2), 3)}가 활발히 진행되어 왔다. 현재까지 제시된 단상-삼상변환방식중 펄스폭변조형인버터 방식은 최근의 대응방, 고내압, 고속의 전동용 반도체 스위칭 소자의 발전한 발전에 힘입어 실용화 단계에 들어선 바닷가운데 하나로써 출력파형에 포함된 고조파 성분의 선택제거가 가능하므로 거의 정현파의 가까운 파형이 되고 전압 및 주파수를 동시에 제어할 수 있으므로 이 방식에 의해서 전동기를 구동시키면 광범위한 속도제어와 고효율 운전이 가능하며 고조파에 의한 배압 및 로오크의 감소를 방지할 수 있다. 본 연구에서는 사이리스터 게이트회로를 단순화시켜 동작의 신뢰도가 향상된 펄스폭변조형인버터 방식에 의해 단상-삼상변환장치를 설계한 후 이경우에 있어 변조기법에 따른 출력파형의 고조파 함유를 검토하고 파형개선을 위한 적절한 방안을 모색하여 보았다.

2. 삼변환 장치

본 연구에서 시도한 단상-삼상 변환기의 주 회로도는 그림 1과 같다.

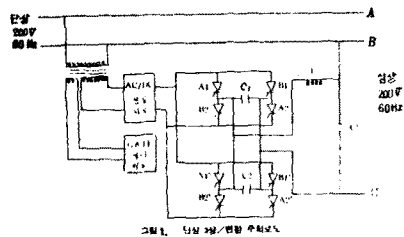


그림 1. 단상-삼상 변환 회로도

게이트 제어부는 단상전원에서 변압기를 이용 기준파인 정현파신호를 얻는부분, 저항-코덴서 회로에 의한 60°상선 이상회로, 진폭·주파수 및 직류 오프셋 전압을 가변시킬 수 있는 삼각파발생회로, 펄스폭으로 변조시키기 위한 비교기 및 게이트인력용 신호의 전류증폭부로 구성되는데, 기준파인 정현파의 정·부극을 각각 나누어 비교하여 출력신호를 얻은 후 합성함으로써 기준파 보다 180° 지연 상태가 되는데 이상회로를 감안하면 원래의 기준파 보다 120° 지연된 인버터출력파형을 얻을 수 있다.

3. 펄스폭변조형인버터 출력파형의 특성

(1) 초평비 및 변조지수와 고조파 함유관계

본 연구에서 설계 제작한 단상 펄스폭변조형인버터에 의한 단상-삼상 변환기의 출력전압은 식(3-1)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 V_{AB} &= V_{in} \sin \omega t \\
 V_{BC} &= \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\omega t - 120^\circ) \\
 V_{CA} &= -(V_{AB} + V_{BC})
 \end{aligned}
 \tag{3-1}$$

변조기법이 단상인버터 출력의 고조파를 합
유에 미치는 영향을 알아보기 위하여 임의의
변조지수 및 초평비에 대한 인버터의 출력과 초평
각을 오실로스코프로 관측하고 디지털 컴퓨터에
의해 제확인 후 푸리에 전개법에 의하여 고
조파를 분석 하였다. 여기서 기준파로 사용 한
정현파 및 반송파는 식(3-2)로써 표현된다.

$$e_o = M \sin(2\pi f_o t) \quad (3-2)$$

$$e_c = \text{tri}(2\pi f_c t)$$

여기서 M은 변조지수이다. (M=기준파진폭/
반송파진폭) $e_o = e_c$ 가 되는 점이 펄스폭변조파
의 상승 및 하강점 α_i (초평각)가 되므로 식(3-
3)과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$M \sin \alpha_i = K \frac{2R}{\pi} \alpha_i + S_i \quad (3-3)$$

단, R(반송파주파수/기본파주파수)은 초평비, S_i
는 i 번째 직선에 의해 결정되는 상수이며 K는
부파의 위상차가 0 일 때는 $(-1)^{i/2}$ 이고 삼각파가
전기각으로 (삼각파기준) 90° 뒤집히는 $(-1)^{i/2}$ 이
다. 식(3-3)을 반복 계산법에 의해 초평각 α_i
를 얻는다. 그리고 정현파의 매 반주기당 N
번 초평 할 경우 펄스폭변조출력파가 1/4 주
기에서 대칭이 된다고 가정 할 경우 N 이
기수 또는 우수 어느 경우든 고조파 진폭은
식(3-4)로써 표현된다.

$$a_n = \frac{4}{n\pi} \sum_{i=1}^N (-1)^{i+1} \cos n \alpha_i \quad (n=1, 3, 5, 7, \dots) \quad (3-4)$$

이상의 과정으로 고조파함유관계를 분석하면
결과 단순히 변조지수 및 초평비의 변화에 의
해서만 고조파를 제거하는 방법은 비효과적임
을 알 수 있었다.

(2) 출력전압 파형개선

펄스폭변조평인버터가 유도전동기의 구동장치
로 이용된다고 할때 인버터의 실용면을 고려
하면 정확한 초평각을 선정 제어하여 고조파
의 진폭을 꼭 0 이 되게 하지 않더라도 정확
한 초평각의 근사치를 선정 제어함으로써 진
폭이 기본파의 수% 이내라면 고조파에 의한
악영향은 그리 큰 문제가 되지 않을 것으로
사료된다. 본 연구에서는 반송파로서 정·부가
대칭된 삼각파를 채택하는 중평의 방식(4, 5)
과는 달리 삼각파에 직류오프셋전압을 인가

함으로써 정·부 비대칭된 파를 반송파로 사
용할 경우에도 정현파의 변조된 파가 반주기에
대해 비대칭인 현상은 생기지 않고 중평의 방식
에서는 게이트회로가 복잡하게 구성되어 있지
않을 경우, 변조지수 및 초평비에 의해서만
(α_i)에 접근된 초평각을 찾는 것은 극히
제한된 범위에서 가능한데 반해 본 방식의 경
우는 초평각의 근사값을 정확한 (α_i)의 값에
보다 적은 차로써 접근시킬 수 있다. 따라서 이
와같은 방법에 의해서 저차고조파의 진폭을 줄이
고 고차고조파는 필터를 사용해서 제거하면
실용적으로 문제가 되지 않는 파형으로 개선
할 수 있다. 그림 2는 식(3-4)에서 임의의 고
조파들의 진폭을 거의 0으로 하는 반송파
및 고조파진폭을 알아보기 위한 컴퓨터알고리
즘⁶⁾이다.

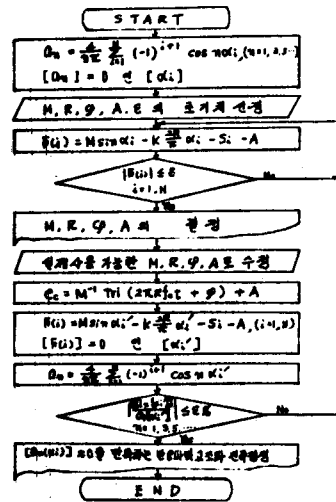


그림 2. 컴퓨터 알고리즘

표 1은 임의로 선정된 세가지 경우의 고조
파제거 결과중 한 예로서 다섯개의 고조파를
제거시켜 본 것인데 정확한 초평각(α_i)를
사용할 때에 비해 근사 초평각(α_i')을 사용
해도 고조파 진폭비가 약 2.7% 이내로 제한
됨을 알 수 있다.

표 1. 5, 7, 11, 13, 17차의 고조파를 제거 경우

| 고조파차수 | 이상적인 경우 $\alpha_1=11.3490$ $\alpha_2=17.2616$ $\alpha_3=23.8017$ $\alpha_4=34.8708$ $\alpha_5=37.2567$ | | 근사적인 경우(본방식) $\alpha_1=11.55$ $\alpha_2=17.25$ $\alpha_3=23.15$ $\alpha_4=34.10$ $\alpha_5=35.05$ | |
|-------|---|-------------|--|-------------|
| | 진폭 | 기본파에 대한 진폭비 | 진폭 | 기본파에 대한 진폭비 |
| 1 | 1.1657 | 100.00 | 1.1902 | 100.00 |
| 3 | 0.1739 | 14.92 | 0.2149 | 18.05 |
| 5 | 0.0000 | 0.00 | 0.0060 | 0.50 |
| 7 | 0.0000 | 0.00 | 0.0325 | 2.73 |
| 9 | 0.0124 | 1.06 | 0.0145 | 1.20 |
| 11 | 0.0000 | 0.00 | 0.0064 | 0.54 |
| 13 | 0.0000 | 0.00 | 0.0145 | 1.22 |
| 15 | 0.0183 | 1.57 | 0.0074 | 0.62 |
| 17 | 0.0000 | 0.00 | 0.0234 | 1.97 |
| 19 | 0.0848 | 7.28 | 0.0779 | 6.54 |
| 21 | 0.1701 | 14.59 | 0.0994 | 8.35 |

그림3은 본 방식으로 구성된 변환기의 출력선간전압파형이다.

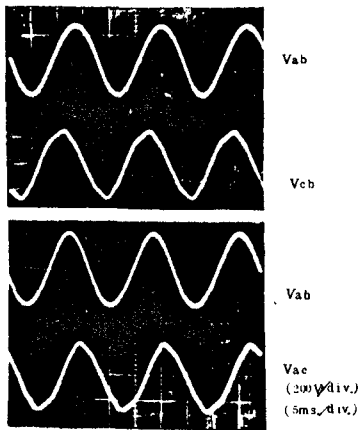


그림 3. 단상 - 삼상변환기 출력선간 전압

4. 결 론

단상배전 지역의 삼상부하전원으로써 단상 펄스폭변조형인버터 방식에 의한 단상-삼상변환기를 구성하여 고조파의 함유관계를 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

변조지수의 증가가 반드시 고조파전폭의 감소로 가져오지는 않았다. 또한 정현파의 정부속을 각각 나누어 처리하는 방식은 종래 방식보다 제어가능범위가 확장되었고, 게이트 회로의 단순화를 도모하였으며 고조파 제거에 있어 이상적인 경우보다 임의로 선정된 2개, 5개, 그리고 9개의 고조파 제거시 0.1%, 2.7% 및 12%정도로 뒤떨어지나 이는 간단한 필터의 부가시, 실용적인 면에서 크게 문제가 되지 않는 파형으로 개선되었다.

따라서 본 연구에서 시도해 본 3가지의

경우는 모두 종래의 방식보다 경제적이고 간편하게 고조파를 제거시킬 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 주로 파형개선에 관한 것만 검토하여 보았으나 효율면이나 실제적인 응용면에 대한 연구가 보다 광범위하게 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 이승원의 "단상인버터를 사용한 단상-삼상 상변환기구조와 그 특성에 관한 연구" 대한전기학회지, 제27권제3호, 47-52. 1978. 5.
- 2) M.J. Keupper, "Operating Experience with Three-phase Motor on Single-phase Line.", IEEE Trans. Industrial Gen. Appl., Vol. IGA-2, No.-6, pp. 443-445, Jan/Feb.1970
- 3) L.H. Soderholm and Lof Charity, "Progress on Development of IEEE-ASAE Rural Motor Starting Application Guide.", IEEE. Trans. Industrial Gen. Appl., Vol. IGA-6, pp.69-70, Jan/Feb. 1970 .
- 4) I. Takahashi et al, "Relation between the Output Voltage Waveform of the PWM Inverter and Its Gate Control Signal.", JIEE. Trans. Vol. 95, No. 2, pp 73-80, 1975 .
- 5) R.D. Adams, "Several Modulation Technique for a Pulse Width Modulated Inverter." IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-8, No. 5, pp. 636-643, 1972 .
- 6) R.G. Hoft et al, "Generalized Techniques of Harmonics Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverter.", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-9, No.3, pp.310-317, 1973 .