

# 單相/三相 Thyristor 相變換器에 대한 研究

俞 光 / 電力技術研究室

여러가지 phase converter (相變換器)에 대해 알아보고, thyristor phase converter의 主要素인 voltage-driven inverter의 動作 原理 및 回路에 대해 고찰하였다. 그리고 phase converter의 output와 그 harmonics에 대해 해석하고, 실제 제작된 phase converter의 특성에 대해 연구하였다.

Phase converter의 output를 三相電動機를 負荷로 동작시켜, 實 三相電源과 비교검토한 결과 三相電動機의 source로 전혀 無理가 없음을 알아보았다.

## I. 序 論

같은 容量에 있어서 單相電動機는 三相電動機에 비해 起動時 inrush 電流에 의한 線路電壓降下때문에, 農漁村과 같이 低壓配電 線路가 긴 경우 起動이 잘안되며, 설사 起動이 된다 하더라도 他需用家에 미치는 영향이 크며, 또한 운전시 효율이 낮다. 이와같은 현상은 負荷容量이 커질수록 심각해진다. 예를 들면 電流基準에서 三相電動機는 單相電動機에 비해 使用負荷를 5 배이상으로 증가해도 電壓降下가 같다는 결론이다<sup>1)</sup> 그리고 單相電動機는 三相電動機에 비해 가격이 비싸며, 크기도 크며, 무겁

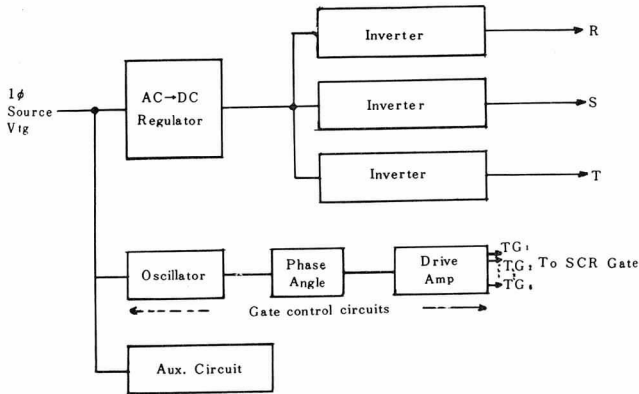
고, 제작에 한계가 있다. 이와같은 점에서 비교적 大容量 電動機를 사용할 시 三相電動機를 사용하는 것이 유리하나, 農漁村과 같이 連續運轉이 아닌 間歇運轉인 경우 三相給電이 불리한 점이 많으므로 單相配電線路로 三相電動機를 사용할 수 있도록 單相을 三相으로 변환시키는 1 $\phi$ /3 $\phi$  相變換機에 대해 연구하고, 그 特性에 대해 살펴 보았다.

相變換 方法으로 종래에는 3 $\phi$  induction motor 단자에 condenser와 reactor를 접속하여 운전하는 mono-cycle 방식<sup>2)</sup>과 converter motor를 사용하는 방식<sup>3)</sup>, 그리고 autotransformer-capacitor를 이용하는 방식<sup>4)</sup>이 있는데 mono-cycle 방식은 capacitor와 reactor의 可變이 복잡하고, converter-motor 방식은 너무 高價여서 실용에는 맞지않으며, autotransformer capacitor 방식은 負荷狀態에 따라, 端子電壓이 심한 不平衡을 일으키므로 이의 檢出 및 容量可變이 어렵고 불편하다.

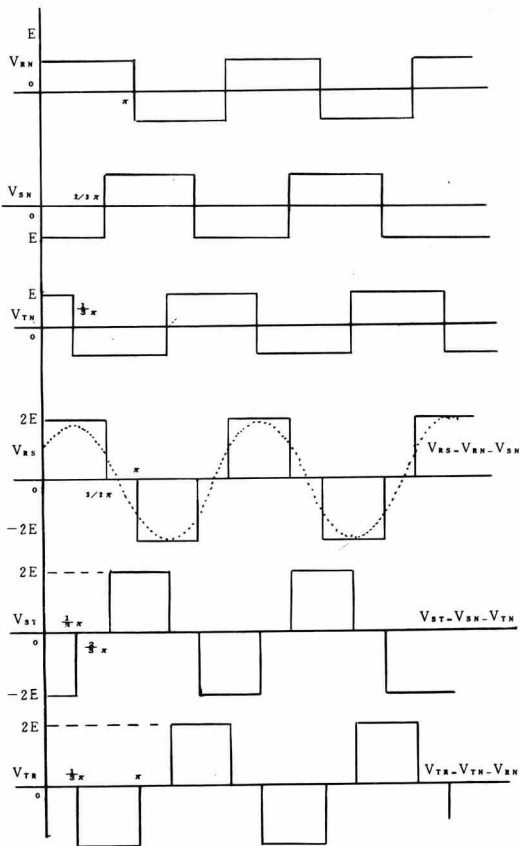
本 研究의 目的은 위에서 열거한 어느 相變換方式보다, 價格, 容量, 實用面에서 우수한 thyristor phase converter에 대해 연구하여 農漁村 電化事業에는 물론, 장차 本 研究所에서도 필연적으로 다루어야만하는 機器制御 및 thyristor 應用分野의 礎石이 되고자 함이다.

## II. Phase converter 原理

〈그림 1〉은 本研究 1φ/3φ phase converter의 基本 block diagram이며 〈그림 2〉에 〈그림 1〉의 出力波形을 표시하였다.

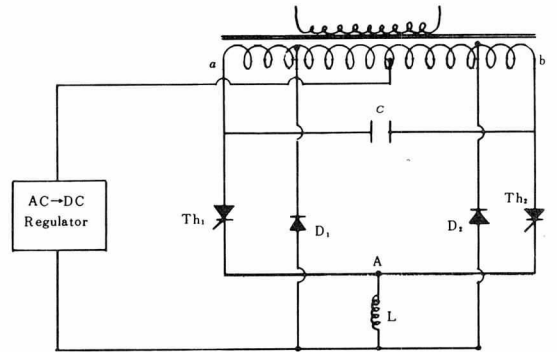


〈그림 1〉 单相 / 三相 相變換器의 block diagram



〈그림 2〉 相電壓과 線間 電壓 特性

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 oscillator circuit에서 60 Hz frequency를 발진시켜 phase angle circuit로 input시킨다. Phase angle circuit에서는 oscillator에서 input된 것을 기본으로, 그것에 각각 120°, 240° phase lagging pulse를 내어 inverter drive amp 회로에 input된다. Inverter drive amp에서는 phase angle circuit에서 input된것에 따라 inverter gate에 gate pulse를 가해 원하는 出力을 얻는다. Aux. circuit는 main circuit의 轉流失敗, over current등을 검출하여 main circuit를 보호하는 부수회로이다.



〈그림 3〉 Inverter 回路

〈그림 3〉에 本研究에 사용한 inverter를 나타내었으며 그에 대한 sequence는 다음과 같다.

Drive amp의 TG<sub>1</sub> pulse에 의해 thyristor 1 (Th로 생략함)이 turn on 되면 電流는 regulator에서 trans의 1次측의 a点쪽으로 통한다. Autotrans의 작용에 의해 condenser C는 2E<sub>b</sub> [V] 까지 충전되고, 이 V<sub>C</sub>에 의해 Th<sub>2</sub>의 anode vtg는 2E<sub>b</sub> [V]가 된다.

Th<sub>2</sub>가 TG<sub>2</sub>에 의해 trigger되면 점A는 거의 E<sub>b</sub> [V]의 2배까지 상승되어 Th<sub>1</sub>을 逆 bias시켜 turn off시킨다.

Condenser C에 의해, 요구되는 thyristor turn off time동안 충분히 逆 bias가 유지되므로 Th<sub>1</sub>은 완전히 turn off가 된다. 그리고 電流는 regulator에서 点b를 통해 Th<sub>2</sub>에 의해 계속 흐르므로 autotransformer의 작용에 의해 C는 Th<sub>1</sub>의 경우와 반대로 충전되어 Th<sub>1</sub>이 trigger되면 위의 sequence를 반복하므로 電流는 regulator에서 trans의 1次측 양쪽을 번갈아 가며

호르므로 transformer 2次측에는 方形波의 交流電壓이 유기된다. Diode D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>에 의해 容量 및 誘導負荷의 無効電力은 regulator로 feedback된다. 誘導負荷인 경우 반cycle의 마지막에 負荷에 축적된 energy는 다음번 반 cycle의 처음에 regulator로 feedback된다.

반대로 容量負荷인 경우 半 cycle의 처음에 축적된 energy는 그 半 cycle의 마지막에 regulator로 feedback된다. Diode는 regulator 단자와 trans의 1次측 tap 사이에 접속되어있다.

轉流要素인 C, L의 최적치는 다음과 같다.

$$C = \frac{t_c \cdot I_{com}}{1.7E_b}, \quad L = \frac{t_c \cdot E_b}{0.425I_{com}}$$

t<sub>c</sub>...Minimum turn off time

I<sub>com</sub>...Maximum load current at commutation

E<sub>b</sub>...Regulator (DC v<sub>tg</sub>) output voltage

〈그림 2〉에서 보듯이 inverter의 output는 方形波이므로 load는 高調波의 영향을 받아 그 특성이 나빠지므로 高調波 성분을 제거하기위해 filter를 設計, 高調波成分을 제거하였다.

### Ⅲ. 出力電壓 및 特性

〈그림 2〉에서 line v<sub>tg</sub>의 rms値는

$$\begin{aligned} E_{rms \text{ line}} &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi/3} (2E_{\text{phase}})^2 d\theta} \\ &= 1.63 E_{\text{phase}} \text{ 이며,} \end{aligned}$$

line voltage를 fourier series로 analysis 하면,

$$v_o = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} a_n \sin n\theta + \sum_{n=1,3,5}^{\infty} b_n \cos n\theta$$

Where

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v_o \sin n\theta d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} 2E \sin n\theta d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{2}{3}\pi} 2E \sin n\theta d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} 2E \left( \frac{1}{n} - \frac{1}{n} \cos \frac{2n\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

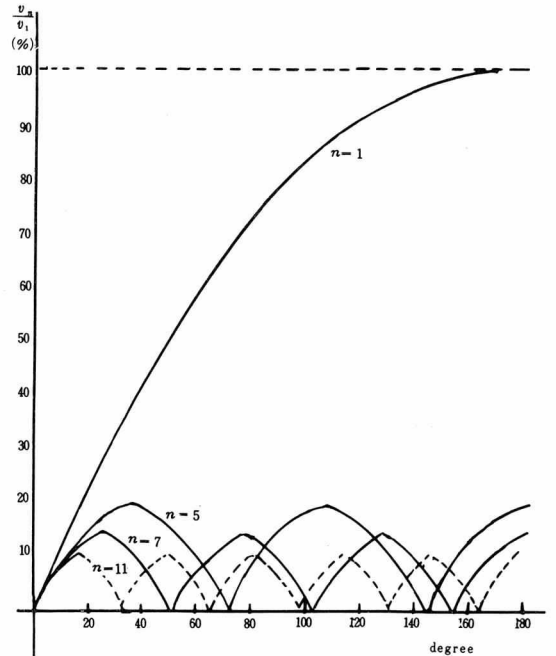
$$\begin{aligned} b_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v_o \cos n\theta d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} 2E \cos n\theta d\theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{2}{3}\pi} 2E \cos n\theta d\theta \\ &= \frac{2}{\pi} 2E \left( \frac{1}{n} \sin \frac{2n\pi}{3} \right) \\ \therefore v_o &= \frac{4E}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left[ \left( \frac{1}{n} - \frac{1}{n} \cos \frac{2n\pi}{3} \right) \sin n\theta \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{n} \sin \frac{2n\pi}{3} \cos n\theta \right] \end{aligned}$$

여기서 n = 3m이라고 가정하면 line voltage는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} v_o &= \frac{4E}{\pi} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \left[ \left( \frac{1}{3m} - \frac{1}{3m} \cos \frac{6m\pi}{3} \right) \right. \\ &\quad \left. \sin 3m\theta + \frac{1}{3m} \sin \frac{6m\pi}{3} \cos 3m\theta \right] \\ &= \frac{4E}{\pi} \sum \left[ \frac{1}{3m} \sin 3m\theta - \frac{1}{3m} \cos 2m\pi \right. \\ &\quad \left. \sin 3n\theta + \frac{1}{3m} \sin 2m\pi \cos 3n\theta \right] \\ &= \frac{4v}{\pi} \sum \left[ \frac{1}{3m} \sin 3m\theta - \frac{1}{3m} \sin 3m\theta \right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

∴ line voltage는 第3 高調波는 물론 그 홀수배수 고조파 성분은 0이 되어 line voltage는 기본파, 제5 고조파, 제7 고조파, 제11 고조파... 등이 존재한다.



〈그림 4〉 波形中 高調波 成分

〈表 1〉에 基本波에 대한 高調波의 비율을 나타내었고, 〈그림 4〉에 그 waveform을 도시하였다.

基本波	第5 高調波	第7 高調波	第11 高調波	第13 高調波	第17 高調波	...
100 (기준)	20	14	9	7	5	...

〈表 1〉 基本波와 高調波의 比

#### IV. 實驗 結果 및 考察

本 研究에 따른 實驗으로, phase converter output를 三相電動機의 入力電源으로 한 것과 實 三相電源을 入力電源으로 한 시험 결과를 비교 검토했다. (〈表 2〉참조)

그리고 phase converter 特性 waveform을 〈그림 6〉에 나타내었다. 〈그림 6〉에서 보듯이 f-filter를 거친 phase converter output waveform은 거의 완벽한 sine wave를 이루고 있다. 〈그림 6(c)〉에서 보듯이 filter를 거치지 않은 waveform은 비록 phase converter output가 方形波를 내지만 電動機의 induction 때문에 第5, 7... 高調波成分을 포함한 wave임을 알 수 있다.

그리고 〈그림 6(a)〉에서 보듯이 gate trigger는 SCR gate 특성에 맞게 pulse폭을, turn on time이 충분히 짧게 되기 위해, 여유있게 주고 있음을 알 수 있다.

〈表 2〉 및 〈그림 6〉에서 알 수 있듯이 phase converter output는 三相電動機의 電源으로서 조금도 無理가 없는, 만족스러운 결과를 얻었다.

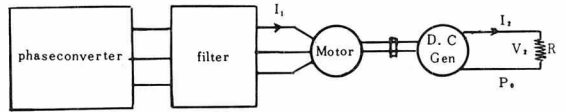
Parameter Source	I <sub>1</sub> [A]	cosθ <sub>1</sub> [%]	p <sub>o</sub> [kw]	η[%]
3φ Source vtg	58	82	12.1	73.4
Phase Converter (With filter)	58.5	81.5	11.8	71.5
Phase Converter (Without filter)	60	80	11.2	67.4

〈表 2〉 電源比較

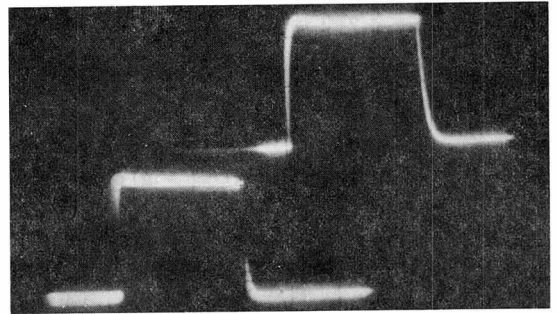
※ 1 실험장치는 〈그림 5〉에 도시했음.

※ 2 효율  $\eta = \frac{P_o}{\sqrt{3} V_n I_1 \cos\theta_1}$  ( $V_n = 200V$ )

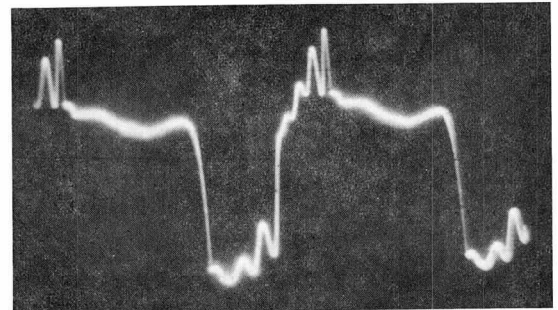
※ 3 〈表 2〉는 D. C generator 효율을 100%로 보았기 때문에 실제 motor 특성표가 아님. (단지 三相 전원과 phase converter output를 비교해 보기 위한 것임)



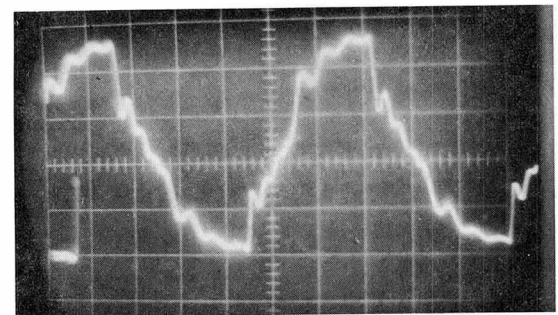
〈그림 5〉 測定裝置



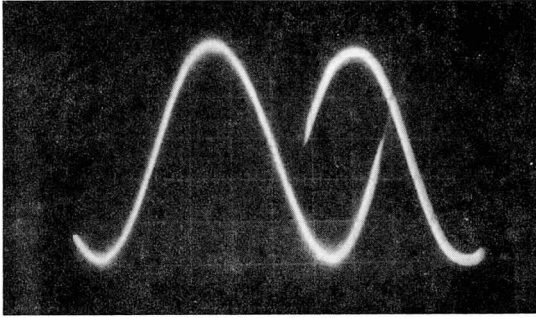
(a) Gate trigger pulse wave form



(b) SCR anode vtg wave form



(c) Phase converter output waveform (without filter)



(d) Phase converter output waveform (with filter)

〈 그림 6 〉 相變換器 波形

### V. 結 論

单相에서 三相으로 변환하는데, 變換장치로 thyristor를 이용한 inverter로 回路를 구성하고 그 특성을 알아보았다.

Phase converter를 source電源으로 사용하는 데는 實驗結論에서 보듯이 별 이상이 없는 것으로 사료되나 phase converter를 다목적으로 사용하기 위해 30kw (定格出力)로 製作實驗했던바 phase converter 自体 效率이 70% 정도에 지나지 않음이 아쉬우나, L. C filtering 대신 PWM (Pulse Width Modulation) method를 利用하고, microprocessor를 利用해 maximum efficiency를 갖도록 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 化 하면 실용화할수 있을 것으로 사료된다.

추후 microprocessor를 利用하여 좀더 연구하여 보다 실용성있는 phase converter를 연구 개발하고자 한다.

### 参 考 文 献

1. 朴 旻鎬, “单相 線路에 있어서 3相 電動機의 平衡運轉” 大韓電氣学会誌 Vol. 24, No. 5, Sep. 1975
2. Keuper, M. J., “Operating Experiences with Three Phase Motors on Single-Phase Line,” IEEE Trans. Ind. Gen. Appl., Vol. IGA- 2, No. 6, pp 443~445, Jan/Feb, 1966
3. Liwshitz and Whipple “Electric Machines” Vol II, Van Nostrand, Book. 1962
4. Soderholm, L. H. and Charity, L.F. “Progress on development of IEEE-ASAE Ruralmotor Starting Application Guide” IEEE Trans. Ind. Gen. Appl., Vol IGA- 6, pp69-70 JAN /Feb. 1970
5. Pater and Hoft “General Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters: part-I Harmonic Elimination” IEEE Trans, Ind. Appl., Vol IA- 9, No,3, 1973
6. Nayak and Hoft “Optimizing the PWM Waveform of a Thyristor Inverter,” IEEE Trans. Ind. Appl., Vol, IA- 11, No,5, 1975
7. Dewan, S. B. and A Straughen, “Power Semiconductor Circuit” 1975.
8. General Electric co. “SCR Manual” 1976.
9. 사이리스타 電子學 編輯委員會 編, 사이리스타 電子學, Vol I ~ V 1974.

