

# 負荷轉流式 電流型 인버터를 驅動하기 위한 強制轉流回路

\*정언택 \*\*이사영 \*소용철\* \*이재욱

\*명지대학교 \*\*충남전문대학

## Force Commutated Circuit for Driving The Load Commutated Current Source Inverter

\*Y.T.Chung \*\*S.Y.Lee \*Y.C.Soh\* \*J.W.Lee

\*Myong-Ji University \*\*Chung-Nam Junior College

### ABSTRACT

When induction motor is driven with a load commutated inverter, the output part of the inverter must be capacitive.

But, in order to be a good load commutation at the low speed range, very large capacitor or force commutated circuit must be used regarding the capacity of motor.

This paper proposed the force commutated circuit for driving the motor in case of the installation of capacitor which can be capable of load commutation at the rating speed.

The force commutated circuit is operated by the LC resonant circuit, auxiliary source and SCR, and also composed of the commutation circuit which control the interval of the inverse voltage across the inverter.

### 1. 序 論

대용량의 산업설비의 대부분은 주로 Pump, Fan, Blower 등의 유체 이송장치의 부하이고, 이들은 속도의 제곱에 비례하는 토크를 가지며 속도제어 범위가 크지 않은 것이 특징이다.<sup>[1,2]</sup> 이러한 설비에 사용되는 유도전동기의 구동 인버터 방식에는 인버터 출력측에 캐패시터를 설치하여 부하의 電壓, 電流의 파형 개선과 이에 의한 진상효과로 운전하는 負荷轉流式 電流型 인버터(Load Commutated Current Source Inverter : LCCSI)가 있다.

SCR을 이용한 LCCSI는 대용량화가 가능하고 소자 특성상 경제성, 신뢰성, 손실의 측면에서 적합하지

만,<sup>[3]</sup> 낮은 주파수 영역에서 轉流가 가능하도록 하기 위한 부가회로가 필요하다는 단점을 가지고 있다.<sup>[4]</sup>

기존의 負荷轉流式 電流型 인버터는 역률을 제어하여 운전할 수 있는 동기 전동기에 이용되고 있으나 유도전동기 등의 유도성 부하에 응용할 경우, LCCSI는 부하측의 역률이 진상이 되어야 하므로 부하측에 병렬로 캐패시터를 부착하여 역률을 진상으로 전환해야 한다.<sup>[1,5]</sup> 일정 자속 운전하는 유도전동기는 대략 V/f가 일정하므로 병렬로 연결되어 있는 콘덴서의 진상부호전력은 주파수의 제곱에 비례하게 된다. 이 유도전동기를 LCCSI에 의하여 구동할때 負荷轉流가 가능한 범위는 콘덴서의 용량에 의하여 결정되는 주파수보다 높은 범위가 된다. 따라서, 유도전동기의 적용은 속도 제어 범위가 콘덴서의 용량에 의하여 결정되므로 제어범위 이하에서는 強制轉流方法으로 기동시키고, 제어범위에서는 負荷轉流로써 동작하여야 하는 최적의 캐패시터 용량이 선정되어야 한다.<sup>[3]</sup> 또한, 인버터 출력측 캐패시터와 유도전동기의 누설 리액턴스 및 고조파에 의해 발생하는 공진으로 轉流가 불가능한 운전영역이<sup>[2]</sup> 존재하므로 이때에도 안정한 強制轉流가 가능한 방법이 요구 된다.

본 연구에서는 負荷轉流式 電流型 인버터에 의한 유도전동기의 구동을 위하여 強制轉流回路를 인버터의 직류측에 설치하고,<sup>[4,6,7]</sup> 유도전동기를 운전하기 위하여 캐패시터를 포함한 유도전동기가 지상으로 되는 저속영역에서 轉流가 가능하도록 구성된 새로운 強制轉流回路에 대해서 제반사항을 검토하고자 한다.

### 2. 強制轉流方法

그림 2.1의 (a)는 DC link 부분에 SCR 1개를 부착하여 인버터의 주 사이리스터를 轉流시키며 이 기간

동안 도통하여 DC 電流를 전원측으로 by-pass시키는 방법이다.

이 방법은 인버터의 출력에 포함된 고조파성분, 출력의 전압위상 및 전동기의 운전상태 등의 원인에 의해 強制轉流回路 SCR이 Turn-on이 되지않는 경우가 발생한다.

그림 2.1의 (b)는 強制轉流回路에 보조전원이 직렬로 접속된 상태이며 이 경우는 強制轉流回路의 SCR의 동작을 보장할 수 있다. 보조전원은 SCR의 轉流回路에 포함된 LC공진에 의하여 얻는 것이 일반적이고, 이 경우 컨버터의 주 전류가 이 보조전원에 흐르며 強制轉流時間은 LC 공진회로의 정수에 따르게 되어 인버터 부하용량과 관계된 정확한 LC 공진회로가 설계되어야 한다.

그림 2.1의 (c)는 보조전원과 LC 공진회로를 이용한 것이며 위의 방식에서 많은 결점을 보완하였다. 인버터 주 사이리스터를 Turn-off하기 위하여 強制轉流回路가 동작하면 DC link측 DC전류는 전원측으로 by-pass되고 인버터에 역전압이 인가된다.

보조전원은 인버터에 역전압만을 가하므로 보조전원의 용량은 인버터의 부하용량과 무관하며, 이 보조전원을 SCR의 LC 공진회로에 의해 얻는 경우 인버터 부하 용량과 관계없이 역전압이 가해지는 시간이 조절 가능하다.

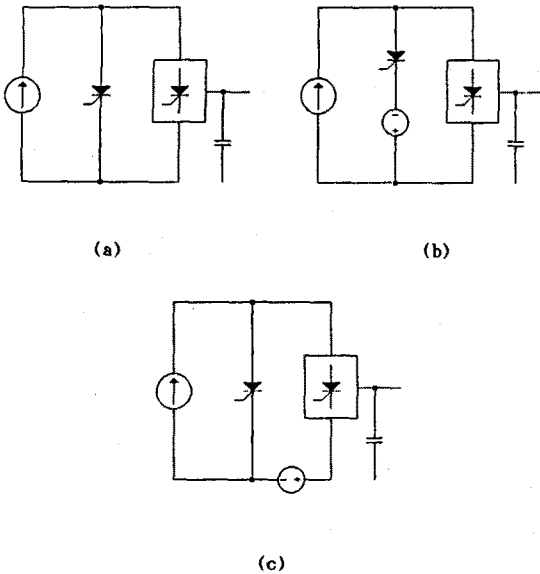


그림 2.1 부하전류식 전류형 인버터의 강제전류방법

### 2.1 強制轉流

負荷轉流形 인버터를 이용하여 유도전동기를 구동하는 경우 기동시에는 부하가 유도성이므로 強制轉流

回路가 필요하다.

본 연구에서는 負荷轉流와 병용하기 위하여 그림 2.2와 같이 보조전원에 의한 LC공진을 이용하여 強制轉流回路를 구성하였다. LC공진회로의 콘덴서에는  $T_1$ 의 스위칭동작으로  $V_s$ , L, D에 의하여 대략  $2V_s$ 로 충전하게 되며 이에 의하여 인버터를 強制轉流한다.

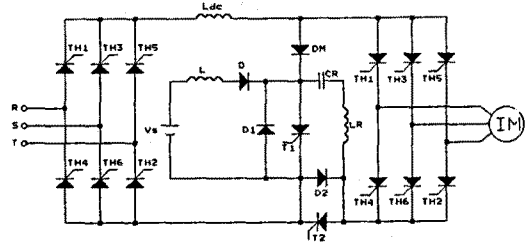


그림 2.2 強制轉流 回路

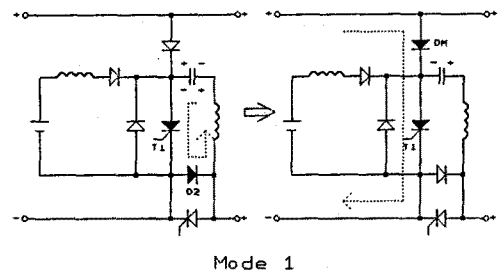
그림 2.2의 強制轉流回路의 동작과정은 콘덴서에 초기상태  $2V_s$ 의 전압이 충전되어 있는 상태에서 強制轉流回路를 동작시키기 위하여 두개의 동작 모드로 생각할 수 있다.

#### Mode 1

$T_1$ 의 gate에 신호를 인가하면, 콘덴서에 충전된 전압은  $T_1$ 과  $D_2$ 를 통하여 콘덴서에 역극성으로 충전이 되며, 동시에  $T_2$ 에 역바이어스 전압을 인가하므로  $T_2$ 는 Turn-off가 이루어지고 인버터의 負荷電流는  $D_2$ 와  $T_1$ 를 통하여 전원측으로 by-pass가 된다. 이때 역극성으로 충전된 콘덴서의 전압은 인버터에 역전압을 가하므로 인버터를 구성하고 있는 모든 SCR은 Turn-off 된다.

#### Mode 2

$T_2$ 의 gate에 신호를 인가하면 콘덴서  $C_R$ 에 역극성으로 충전된 전압은  $T_2$ 와  $D_1$ 을 통하여 콘덴서에 정극성으로 충전되고, 주전류는 인버터에 공급되며  $T_1$ 은 Turn-off 된다. 한편  $T_1$ 의 Turn-on 상태에서 L은 보조전원  $V_s$ 에 의하여 충전하며,  $D_1, T_1$ 의 Turn-off에 의하여 L에 충전되어 있는 에너지는  $C_R$ 의 충전전압을 대략  $2V_s$ 로 상승시킨다.



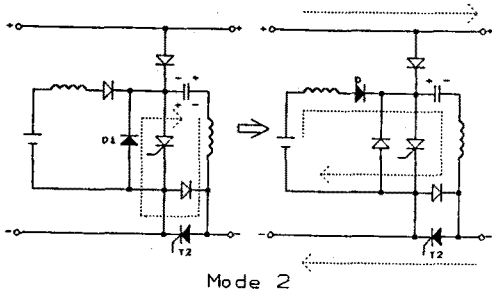


그림 2.3 強制轉流回路的動作모드

그리고  $L_r$ 과  $C_r$ 에 의한 공진주파수는 인버터 동작 주파수보다 높게 설정되어야 하며  $T_1$ 의 On시점에서 부터  $T_2$ 의 On순간까지 인버터에 역전압이 가해진다.

強制轉流回路에서 LC 공진회로의 주기  $T$ 는 인버터 주 사이리스터를 Turn-off 하기에 충분한 시간이어야 하며, 보조전원에서 확보한 轉流에너지인 콘덴서에 충전된 전압  $2V_s$ 는 인버터 직류 link측 전압보다 높아야 한다. 만약 직류 link측 전압보다 높지 않으면 인버터 출력전압에 영향을 일으키게 된다. 또한, 공진회로의 용량은 주전류가 흐르는  $T_1, T_2$ 를 Turn-off 시킬 수 있는 조건이면 된다.

이렇게 하면 인버터측의 부하가 변경되어서 강제전류회로의 사이리스터를 부하에 적합한 Turn-on과 Turn-off 시간을 프로그램에 의해 조절할 수 있으므로 기존 설계된 轉流回路를 광범위하게 이용할 수 있다.

強制轉流回路的  $T_1$ 과  $T_2$ 의 Gate 점호신호와 인버터 출력전류는 그림 2.4와 같이 되도록 한다.

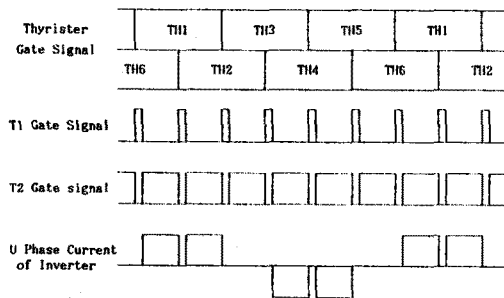


그림 2.4 사이리스터의 점호순서

### 3. 負荷轉流

負荷轉流式 電流型 인버터는 進相운전이 가능한 同期電動機 구동에 용이하나, 이 경우에도 強制轉流로 통한 운전법이 THOMAS A. LIPO에 의해 발표 된바 있다.<sup>[7]</sup>

본 연구에서는 유도전동기 구동에 이용하려고 한다. 負荷轉流가 가능하기 위한 조건은 인버터의 負荷가 容量性 즉, 負荷가 進相力率이어야 한다.

그러므로 負荷가 그림 3.1과 같이 誘導性인 경우 負荷와 並列로 Capacitor를 접속하여 容量性으로 전환시켜야 한다.

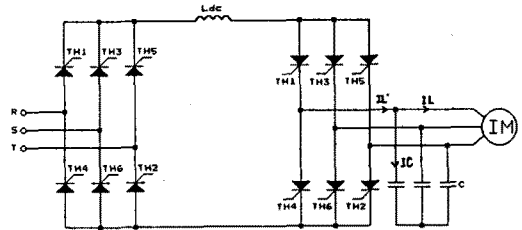


그림 3.1 負荷轉流 回路

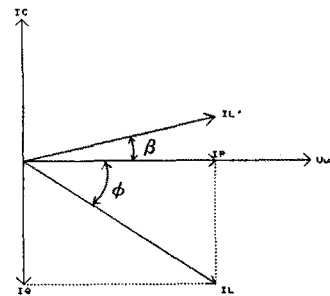


그림 3.2 페이서 도

인버터는 矩形 電流波를 공급하기 위하여 Thyristor를  $120^\circ$  동안 교대로 도통하게 한다. 負荷電壓波形은 正弦波에 가깝고 위상은 電流보다 뒤진다. 그림 3.1에서 TH3, TH4가 도통이 되고 있는 상태에서 TH5에 gate 신호를 인가하면 TH3은 負荷轉流가 되며  $\beta^\circ$  동안에 負의 負荷 電壓( $V_v/V_w$ )이 걸린다.

전류여유각  $\beta$ 의 최소값은 사이리스터를 턴오프하기에 충분해야 한다. 그림 3.2는 Phasor 도를 나타낸다.

## 4. 實驗 및 考察

### 4.1 實驗條件

本 論文은 強制轉流를 부가한 負荷轉流型 인버터로서 誘導電動機 驅動 실험을 하였다. 驅動實驗에 使用한 誘導電動機의 定格은 다음과 같다.

相數 : 3 相                      定格周波數 : 60[Hz]  
 定格出力 : 3 Hp                    定格電壓 : 220[V]

極數 : 4 極      定格電流 : 9[A]  
 出力캐패시터: 50[ $\mu$ F]      DC Link 인덕터 : 469[mH]  
 強制轉流回路 캐패시터 : 2[ $\mu$ F]  
 強制轉流回路 인덕터 : 2[mH]

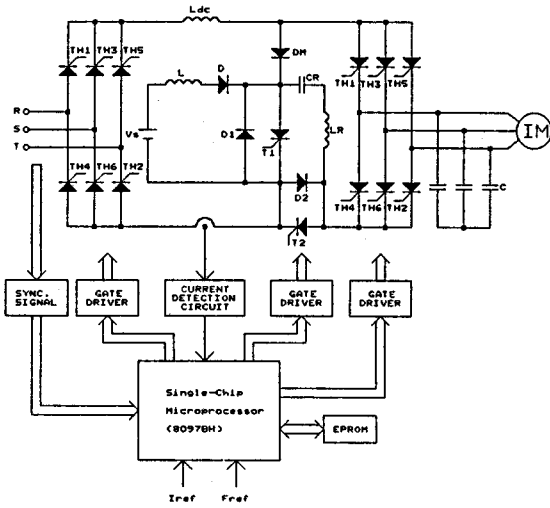
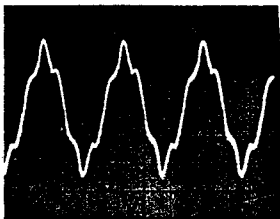


그림 4.1 主 回路

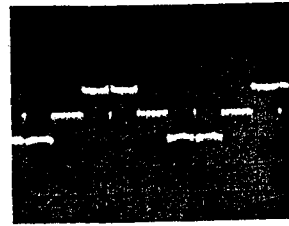
그림 4.1과 같이 主 回路를 구성하여 3相交流電源을 Converter에서 위상제어하여 DC Link Ldc를 거쳐 인버터에서 120° 電流波形을 만들어 誘導電動機에 3相電力을 공급한다. Converter는 電流 feed back신호를 PI 제어하여 電源側 위상과 동기시켜 SCR을 15° ~165° 까지 접호각을 제어할 수 있도록 gate pulse를 발생하여 Converter를 구동하도록 구성하였다.

Inverter는  $f_{ref}$ 에 의해 120° gate pulse를 SCR에 공급하여 120° 電流波形을 만들도록 구성하였다. 誘導電動機의 회전수를 feed back하여 기동에서 一定周波數 이하까지는 強制轉流를 하기 위하여 強制轉流回路가 동작하고, 一定周波數 이상에서는 負荷轉流에 의해 구동하도록 제어 시스템을 구성하였다.

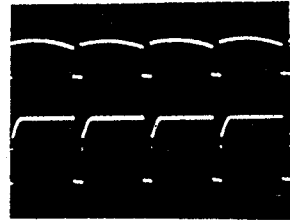
#### 4.2 實驗結果 및 考察



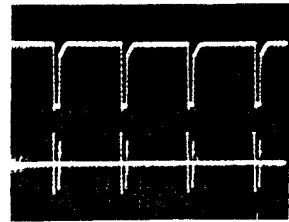
100[V]/DIV 5[ms]/DIV  
그림 4.2 인버터 출력전압



20[mV]/DIV 5[ms]/DIV  
그림 4.3 인버터 출력전류



200[V]/DIV 2[ms]/DIV  
그림 4.4 強制轉流回路의 Vdc와 T1전압 파형



200[V]/DIV 2[ms]/DIV  
그림 4.5 強制轉流回路의 Cr과 Lr전압 파형

이상의 誘導電動機의 구동실험에서 LC 공진회로와 보조전원을 이용한 強制轉流回路는 고조파 및 부하측 LC공진현상 등의 영향에 관계없이 모든 영역에서 동작하는 전류가 가능하다는 것을 알 수 있다.

#### 5. 結 論

負荷轉流式 電流型 인버터를 구동하기 위하여 본 연구에서 제안한 強制轉流回路는 인버터의 출력에 포함된 고조파 성분, 출력의 전압위상 및 전동기의 운전상태 등의 영향에 관계없이 잘 운전되었다.

그리고 제안한 強制轉流回路는 인버터 부하가 변경되어도 LC 공진회로를 새로 설계하지 않고 기존의 설계된 회로에서 強制轉流회로의 사이리스터의 Turn-on 과 Turn-off 타이밍을 마이크로 프로세서의 프로그램에

의해 조절할 수 있으므로 보다 광범위한 범용으로  
이용할 수 있다는 것을 실험을 통하여 입증하였다.

## 參 考 文 獻

- [1] H.L.Hess and D.M.Divan, "A Method to Extend the Low Frequency Operation of Load Commutated Inverters," PESA '90 21th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conf.Vol.1, pp.461-468, 1990.
- [2] 정 언 택, 성 세 진, 심 재 명, "GTO 강제전류를 병용한 타이어식 INVERTER의 PWM 제어," 전기학회지 38권 제8호 pp.610-616, 1989.8
- [3] S.Martinez and F.Aldana, "Current-Source Double DC-Side Forced Commutated Inverter," IEEE Trans.Ind. Appl., IA-14, No.6, pp.581-593, Nov. Dec. 1978.
- [4] B.K.Bose, "POWER ELECTRONICS AND AC DRIVES," pp.29-52, 166-206.
- [5] I.D.Hassan, "A Guide for Selection and Application of Large Adjustable Speed Drives," Conf. Rec.IEEE CH2499-2/87., pp.468-476.
- [6] James D.Warwick and John L.Ascherl, "A Variable Frequency Drive for Existing Medium Induction Motors," Proceeding of the American Power Conference, pp.473-480, April 1985.
- [7] Robert L.Steigerwald and Thomas A.Lipo, "Analysis of a Novel Forced Commutation Starting Scheme for a Load-Commutated Synchronous Motor Drive," IEEE Trans.Ind. Appl., vol.1A-15, pp.14-24, Jan./Feb.1979.