

## 인버터 성능 시험을 위한 전동기-발전기 부하장치의 구성실험

유수업\*, 金光裕

한국과학기술원, 전기제어연구실

A Study on Load Unit for Inverter Test Using M-G Set

Soo-Yeub Yoo, Kwang-Bae Kim

K A I S T

### 요약

교류전동기의 속도조절과 전력절감에 이용되는 인버터는 그 응용분야에 따라 요구되는 출력특성이 다르게 된다. 본연구에서는 전동기-발전기 셋트와 반환용 인버터를 이용하여 인버터가 응용되는 환경을 임의로 구현할 수 있는 부하장치를 구성하고, 이때 소모되는 전력을 전원에 반환하여 전력소모를 줄였다.

### 1. 서론

교류전동기 교류가변속 장치는 Fan이나 Blower 또는 공작기계등에 부착되어 전동기의 속도조절과 전력절감에 이용된다. 이러한 교류전동기의 가변속장치는 쓰이는 환경에 따라 또는 사용용도에 따라 여러가지 특성이 요구되고 있다. [1] 또한 회전동력원을 실험하는 기기에서도 그 부하특성이 복잡하거나 임의로 변경이 가능한 구성이 필요하게 된다. 이러한 특성은 기존의 그림 1-a 와 같은 방법으로는 구현하기가 힘들뿐더러 시험에 필요한 전력소모가 많아지게 된다. [2] 이때 발전기의 부하저항 R에서 소모되는 전력을 전원에 반환하는 반환용 인버터를 이용하여 전력소모를 줄일 수 있다. 그림 1-b 에서 시험용 인버터의 부하는 발전기의 출력전류와 비례 관계가 있으며 이 전류는 반환용 인버터 제어

기에서 제어된다.

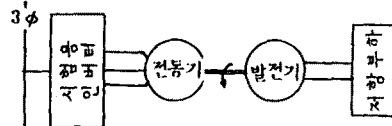


그림 1.a 종래에 사용되던 인버터 시험방법

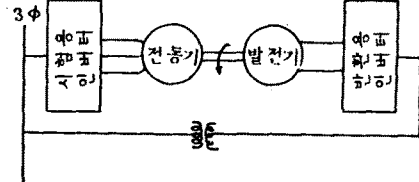


그림 1.b 개선되어진 인버터 시험방법

본연구에서는 발전기의 출력전류를 제어하여 시험용인버터의 부하를 변화시킬 수 있을을 보이며 이를 토대로 반환용 인버터가 전동기구동시에 인가되는 부하특성을 임의로 구현할 수 있음을 보였다.

### 2. 시스템의 동작 및 특성

본연구에서 사용한 시험용 인버터는 용량 3.5KVA이고, M-G Set는 유도전동기와 직류발전기로 구성하였다. 반환용 인버터는 Natural Commutation이 되는 SCR인버터로 Full Bridge SCR Rectifier와 같은 구조를 가지고 있다. 이때 SCR의 점호각은  $90^\circ \sim 180^\circ$  사이에서 제어된다.

2-1. 반환용 인버터의 전류제어

Thyristor Leonard정류기의 출력전압은 점 호각에 따라 식(1)과 같이 된다.

$$V_o = V_p \sqrt{3} \cos(\alpha) / \pi + 3\sqrt{3} / \pi V_p \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{\cos(6k\Omega t + (6k+1)\alpha)}{6k+1} + \frac{\cos(6k\Omega t + (6k-1)\alpha)}{6k-1} \right) \quad (1)$$

$\Omega$ : 전원 주파수,  $V_p$ : 상전압 최대치

점호각이 90°보다 커져서 90°~180°가 되면 출력전압의 극성이 바뀌고 전류는 그대로 방향이 유지되므로 전체 전력은 DC Side 에서 AC Side로 흐르게 된다. 즉 전류는 Thyristor Leonard정류기의 Regeneration 영역에서 동작하게 된다. 이때 DC 전류는 DC Side의 발전기 전압과 인버터의 출력전압과 관계되는데, 전원 상전압이  $V_p$  이고 점호각이  $\alpha$ 로 주어지고, 회로내에 DC Reactor와 발전기의 내부저항 R(Ohm)이 존재한다면 전류는 식(2)에서 표시한것과 같이 발전기의 전압과 점호각  $\alpha$ 에 의하여 변화한다.

$$I_g = I_g - \frac{3\sqrt{3}V_p / \pi \cos(\alpha)}{\sum R} \quad (2)$$

이 전류는 발전기의 회전축에 회전방향과 반대되는 방향으로 Torque를 발생하여 발전기의 축을 구동하는 전동기에 부하효과를 유발하게 한다. 이때 전동기의 부하Torque는 식(3)과 같이 발전기의 Armature전류 및 회전속도와 관계가 맺어진다.

$$\tau = Kt \cdot I_g + J \frac{dw}{(G+M) dt} + B \frac{w}{(G+M)} \quad (3)$$

식(3)에서 M-G Set가 기계적 손실이 적고 정속운전되거나 속도변동이 적은경우에 전동기의 부하 Torque 는 거의 발전기의 출력전류  $I_g$ 에 비례하게 된다.

이 Torque는 전동기의 속도와는 관계없이, 제어되는 전류에만 관계하므로 교류전동기속에 임의로 Torque를 인가할 수 있다.

2-2. 전원에 미치는 영향

전원에 반환되는 전류량은 발전전압과 관계없이 제어된다. 즉 전류의 크기는 점호각에 따라 제어되므로 전원에 흘러 들어가는 전류는 식(4)와같이 표현된다.

$$I = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_g \cos(\Omega t + \alpha) - \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_g \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{\cos((6k+1)(\Omega t + \alpha))}{6k+1} - \frac{\cos((6k-1)(\Omega t + \alpha))}{6k-1} \right) \quad (4)$$

이 전류는 Displacement Factor가  $\cos(\alpha)$ 가 되며 고조파성분이 약 5%정도 존재하는 전류가 된다. 그림2는 반환용 인버터의 점호각과 Power Factor의 관계를 표시한다.

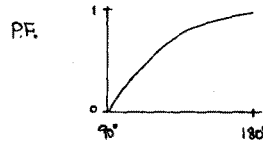


그림2 점호각과 Power Factor의 관계

이런이유로 점호각이 90°부근에서 전류가 많이 흐르는 실험을 하는 경우에는 전원에 특별한 배려를 필요로 한다.

2-3. 유도전동기의 입력 출력 특성

유도전동기의 입력단자에 3상의 인버터 출력을 가하면 출력 Torque와 회전수는 축에 부하가 연결되었을경우 식(5)와같이 표시된다.

$$\tau = \frac{m \cdot s \cdot R_2' \cdot V_1^2}{\omega_o \{ (sR_1 + R_2')^2 + s^2 (X_1 + X_2')^2 \}} \quad (5)$$

- s : 유도전동기의 슬립
- R1 : 고정자 저항 (Ohm)
- X1 : 고정자 누설 리액턴스 (Ohm)
- R2' : 고정자측으로 환산한 회전자의 저항 (Ohm)
- X2' : 고정자측으로 환산한 회전자의 누설 리액턴스 (Ohm)
- m : 상수
- V1 : 인가 상전압
- $\omega_o$  :  $4\pi f/p$  (f는 인가주파수, P는 극수)
- $\tau$  : Torque(N.m)

유도전동기의 단자에 인가된 주파수와 전압을 고정시키고 축의 Torque에 변화를 주면 유도전동기의 입력단자전류는 Torque에만 관계된다. [5] 즉 발전기의 출력전류를 조정하여 시험용 인버터의 출력전류가 변화하게 된다. 이 관계를 이용하여 시험용 인버터의 신뢰성 및 출력특성을 시험할 수 있다.

3. 실험장치, 측정 및 결과 분석

3-1. 실험장치

실험에 사용한 실험장치는 표(1)과 그림 3 과 같다.

장치	규격
시험용 인버터	3.5KVA, 220V, VVVF6~65Hz
교류 전동기	400W, 1690Rpm, 효율=68% 220V, 60Hz
직류 발전기	0.4KW, 100V, 5A, 1750Rpm 본권
반환 인버터	3.5KVA, 120V, SCR이용
제어기	6502/Z80 이용한 8bit Personal Computer
변압기	1차/220V 2차/120V. 5A 3φ

표(1) 실험에 사용한 주요장치 규격

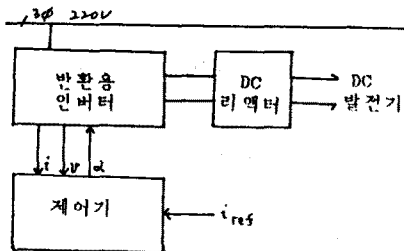


그림 3 제어기와 반환용 인버터의 연결

3-2. 측정방법

측정에는 인버터의 회전출력주파수를 30, 45, 60Hz로 각각 고정하고 유도전동기의 부하를 가변시켜보았다. 이때 전원에 반환되는 선전류와 전압, 전력을 실측하였다.

3-3. 결과 및 결과분석

전원에 반환되는 전력은 그림 4 에 유도전동기를 30Hz로 구동하고 발전기의 전류를 4A로 전원에 반환시키는 경우에 선전류와 상전압 및 전력을 보여주고 있다. 그림5는 45Hz인 경우이고, 그림6은 60Hz인 경우이다. 이 경우의 전원의 소요전력과 Displacement Factor를 표 2 에 나타내었다.

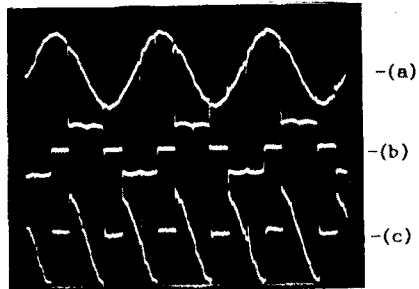


그림4. 전압전류파형 30Hz/α=92°/782rpm  
(a) 상전압(80V/div) (b) 상전류(5A/div)  
(c) 전력(200W/div)

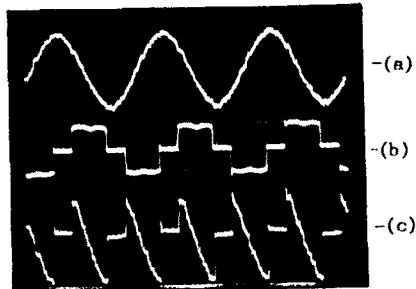


그림5. 전압전류파형 45Hz/α=102°/1230rpm  
(a) 상전압(80V/div) (b) 상전류(5A/div)  
(c) 전력(200W/div)

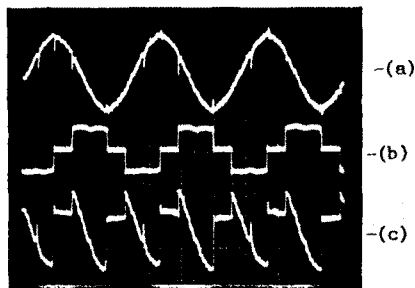


그림6. 전압전류파형 60Hz/α=115°/1725rpm  
(a) 상전압(80V/div) (b) 상전류(5A/div)  
(c) 전력(200W/div)

구동주파수	위상각	반환전력	무효전력	rpm
30Hz	92°	12W	359Var	782
45Hz	102°	74W	352Var	1230
60Hz	115°	146W	328Var	1725

(Per Phase, I = 4A)

표2 반환되는 전력과 무효전력

4. 결론.

M-G Set와 반환용 인버터를 이용하여 인버터의 시험시 소요되는 전력을 Line에 반환하는 장치를 구성, 실험하였다. 본장치는 전동기를 실험하거나 인버터를 실험하는 장치로 활용될 수 있으며 전원에 전류를 반환하므로 전력의 소모를 적극적으로 줄이면서 부하를 임의로 변경할 수 있고 Computer Program에 의하여 자동화된 측정장비로 활용이 가능하다.

참 고 문 헌

1. Kiyoshi Ohishi, Kouhei Ohnishi and Kunio Miyachi., "torque-Speed Regulation of DC Motor Based On Load Torque Estimation Method" IPEC, 1983, p1209218

2. Feedback Instrument Limited., Motor Load Unit M1u188 Student Assignment., Feedback.

3. Moonhwan Kim, Eiji Noda, Kouhei Ohnishi., "A Microprocessor-based Secondary Current Control System of Wound-Rotor Induction Generator For Random Wave Input Generator System." IECON'84, p175-179, 1984

4. B.R. Pelly., Thyristor Phase Controlled Converters and Cycloconverters Operation, Control, and Performance., Wiley-Interscience, 1971

5. S.b. Dewan, G.R. Slemon., Power Semiconductor Drives., John Wiley & Sons, Inc. 1984.