

高調波를 利用한 三相籠型 誘導電動機의 低速制御에 관한 연구

金 樹 運

電氣 및 電子工學科

(1980. 11. 10 접수)

〈要 約〉

본 논문은 3상농형유도전동기를 고조파와 불평형회전자제를 이용하여, 100~400rpm의 저속범위에서 원활하게 속도를 제어할 수 있음을 보여주고 있다.

고조파의 발생은 변압기의 철손과 전동기의 공극으로, 불평형회전자제는 SCR의 한방향만의 위상제어와 오실레이터의 on-off 제어주파수로써 만들어지고 있다.

이 방법은 무부하와 정격부하에서 잘 적용됨을 알 수 있었다.

The Low Speed Control of Three-phase Squirrel Cage Induction Motor by Using of the Harmonics

Kim, Sue-Woon

Dept. of Electrical and Electronic Eng.

(Received November 10, 1980)

〈Abstract〉

This paper presents the variable speed control of three phase induction motor in the low region 100~400 r.p.m. by using of the harmonics and unbalanced rotating magnetic field.

The generation of harmonics is made from the iron loss of transformer and air gap space of motor, and the unbalanced rotating magnetic field from uni-direction phase chopping of SCR and on-off control of oscillator.

The no load and full load condition is well satisfied by this techniques.

I. 서 론

유도전동기는 여러가지 면에서 다른 전동기보다 우수한 많은 장점을 가지고 있다. 그러나, 속도제어의 면에서 보면, 他전동기보다 많이 뒤떨어지는 특성을 가지고 있다.

유도전동기를 넓은 범위에 걸쳐서 원활하게 속도제어를 하기 위해서는 주파수변환기나 인버터를 사용하여야 하나, 그만큼 비용이 더 들게 되고, 극수변환법은 Variable 한 속도제어가 어렵고, 또 2차 측에서의 저항이나 전압에 의한 제어는 퀸선형 유도

전동기에限하여 사용될 수 있고, 이것 역시 설비비가 많이 드는 결점이 있다.

본 연구에서는 일반적인 3상농형유도전동기가 7고조파와 단상및 3상의 교변운전에 의하여 저속범위에서 Variable 하게 제어할 수 있음을 나타내고 있다.

여기서 사용된 전동기는 4P, 200V, 1HP으로 “新明電機”제품을 사용하였다.

II. 계통구성과 작동원리

1. 블럭선도 및 회로도

그림 1에서 고조파 발생은 3상변압기의 철손에

의한 파형의 애곡으로, 여자전류 중에 포함되는 5고조파분은, 기본파 동가정현파분의 10~25%, 그리고, 7고조파는 5~10%를 가지고 있다. 따라서 이에 의한 유기기전력의 파형도 많은 기수차 고조파를 포함하게 된다.

SCR의 반파정류에 의한 위상초킹(chopping)은 불평형회전자계를 형성시켜 주어서, 보통의 3상운전보다 토크크곡선을 아래로 낮추어 주는 역할을 한다.

오실레이터에서의 구형파는 그림 2에서 보는 바와 같이 SCR의 케이트신호를 일정간격 (0.1~0.4초)으로 on-off 시켜주어서, 정상운전시보다 4~6배 정도되는 시동전류(始動電流)를 만들어내고, 이것으로 토크크곡선의 높낮이를 조절한다.

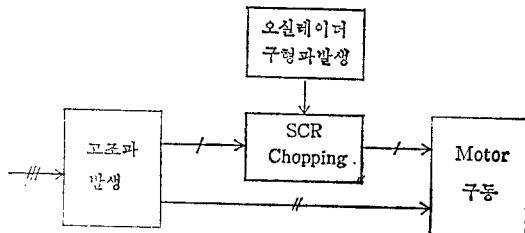


그림 1 블럭선도

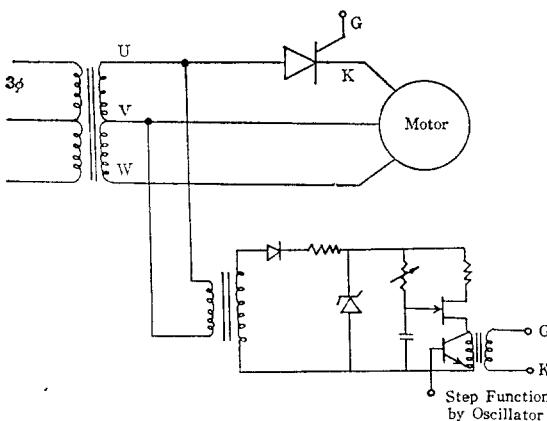


그림 2 회로도

2. 작동원리

(1) 고조파와 토크크곡선

3상유도전동기의 고정자축(1차축)에 正相회전방향으로 회전하는 7차의 고조파 회전자계가 존재하고, 회전자가 이것과 같은 방향으로 $n(\text{rpm})$ 의 속도로

회전한다고 하고, 동기속도를 n_0 , 기본파 회전자계에 대한 슬립을 S , 7차의 고조파 회전자계에 대한 슬립을 S_7 라고 하면,

$$S_7 = \frac{n_0/7 - n}{n_0/7} = 1 - 7(1 - S)$$

따라서, 고조파회전자계에 의해 유도되는 회전자류의 주파수는

$$f_7 = S_7 \cdot f = \{1 - 7(1 - S)\}f$$

이 때의 회전자류는 회전자 위를 시계방향(正相회전)으로 b_μ 차 고조파 회전자계에서 만든다고 하면, 그 자속밀도 분포파는 다음 식으로 표시된다.

$$b_\mu = B_\mu \sin \left[\left\{ 1 - 7(1 - S) \right\} wt - 7 \frac{\pi x}{\tau} \right]$$

그러므로, 이 차계는 회전자 위를

$$n_\mu = \frac{1 - 7(1 - S)}{\mu_a} n_0 (\text{rpm})$$

의 속도로 회전하고, 고정자에 대한 차계의 속도는

$$n_{as} = n + n_\mu = \left\{ 1 - S + \frac{1 - 7(1 - S)}{\mu_a} \right\} n_0 \\ = \frac{1 + (1 - S)(\mu_a - 7)}{\mu_a} n_0 (\text{rpm})$$

그런데, 여기서 μ_a 가 7고조파이면, $n_{as} = 257(\text{rpm})$ 으로 충돌에 관계없이定해지고, 이 7고조파 동기속도에 따른 토크크곡선이, 257(rpm)을 중심으로 그 이하에서 正토크를, 그 이상(257~)에서는 負토크의 특성을 가짐으로, 이 근처에서 그림 3에서와 같이 부하곡선과 만날 수 있는 훈을 만들게 되는 것이다.

(2) 불평형회전자계와 토크크곡선

그림 4에서 보는 바와 같이, 맨 뒷 곡선인 3상유도전동기의 속도—토크크곡선은, 고조파 성분이 최대로 포함되어 있어도, 부하곡선과는 저속에서 만나지 못할 경우가 많다.

그러나, SCR와 오실레이터의 구형주파수에 의해, 3상과 단상의 교대운전을 하게 되면, 그림 4에서와 같이 중간 토크크곡선을 갖게 되어. 저속교대운전시 생기는 on-off 기동토크가 크기 때문에, $S=1$ 는 척에시의 토크크곡선이 위로 올라가고 시동이 잘되며, 따라서 부하곡선과 쉽게 교차하게 되는 것이다.

여기서 토크크곡선을 낮추기 위해서는 1차 인가전압만 낮추어도 가능한 것이지만, 이럴 경우 기동토크도 같이 작아지기 때문에 아예 시동이 되지 않거나, 시동된다 하더라도 대부분의 부하에서 토크크곡선이 상당부분 위에 있게 되므로, 부하곡선과 저속에서 만날 수 없게 된다.

그림 4에서의 빛금친 부분은 on-off제어에 따라 상승된 기동토크를 나타내고 있다.

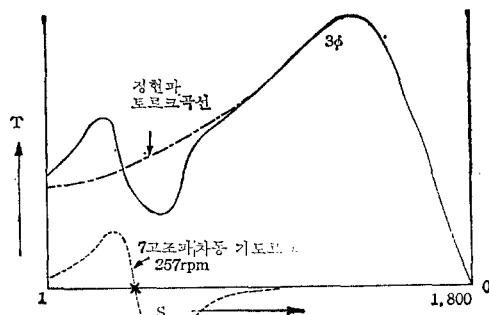


그림 3. 고조파에 의한 차동기트르크곡선

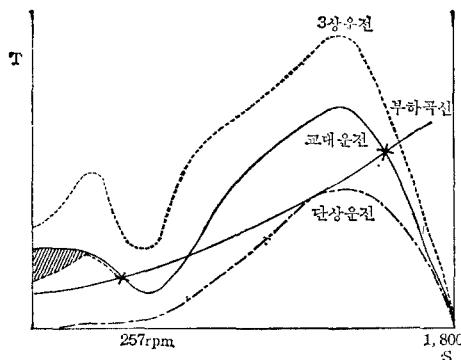


그림 4. 교대운전시의 트르크곡선

III. 실험 및 고찰

실험의 결과, 속도제어의 3가지 요소로서 電源電壓, SCR의 제이도 각 α , 그리고 오실레이터 구형파(3~10Hz) 주파수의 3가지 요소가 있음을 알 수 있었다.

1. 전원전압에 따른 제어특성.

이것은 그림 5에서 보는 바와 같이 경부하운전에 적합한 것으로 나타났다. 즉, 3상유도전동기의 전압 · 토크의 관계식은,

$$T = \frac{3R_2'V_1^2}{9.8w_0 \left\{ \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right\}} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}]$$

이 되고,

여기서 T 는 V_1^2 에 비례 하므로, 인가전 압 V_1 을 낮추어 줌으로써, 토크곡선을 아래로 내려오게 하고, 이로써 경부하와 저속에서 만날 수 있게 된다.

여기서

w_0 ; 동기각속도

R_1 ; 1차자항(고정자자항)

R_2' ; 1차로 환산한 2차자항

X_1 ; 1차리액턴스

X_2' ; 1차로 환산한 2차리액턴스

V_1 ; 1차인가전압

를 나타낸다.

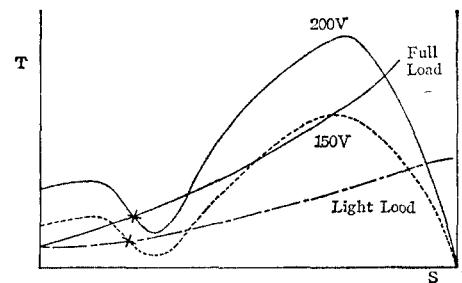


그림 5. 인가전압에 의한 경부하 운전

2. 게이트 각에 따른 제어특성

그림 6에서와 같이, α 각이 작으면 작을수록, 토크곡선의 흄이 커져서, 안전운전범위가 넓어지고, α 가 커질수록 굴곡이 완만해지고 쉽게 속도가 high로 상승하는 것을 알 수 있다.

즉, 한 방향으로만 SCR이 on-off하기 때문에, 3상과 단상의 교번운전이 되고, 여기에 게이트 각 α 가 있으므로 3상운전은 $(\pi - \alpha)$ 각 만큼이 되고, 단상운전은 $(\pi + \alpha)$ 만큼의 좀 더 긴 시간 동안을 갖게 된다.

그리고, 단상운전시의 속도—토크 관계식은 대칭좌표법으로 표시하면,

$$T = \frac{P}{1-S} = |I_1|^2 (R_{2p} - R_{2n})$$

$$R_{2p} = \frac{X_0^2}{(R'_2/S)^2 + (X_0 + X'_2)^2} \left(\frac{R'_2}{S} \right)$$

$$R_{2n} = \frac{X_0^2}{(R'_2/2-S)^2 + (X_0 + X'_2)^2} \left(\frac{R'_2}{2-S} \right)$$

여기서

P ; 출력

I_1 ; 1차전류

R_{2p} ; 正相자항분

R_{2n} ; 逆相자항분

X_0 ; 여자리액턴스

를 나타낸다.

그런데 α 각을 크게 향으로써, 단상운전이 걸어 점에 따라, 회전자체가 줄고, 교번자체의 역할이 커지게 되므로 이에 역상분이 많아지고, 따라서 7고조파의 次同期토르크는, 정상분토르크를 역상분이 많이 감쇄시켜주게 된다.

곧 웃식에서와 같이, 역상분에 의해 전체 토르크가 조금 감소하나, 7고조파분도 역상분에 의해 줄어들므로, 전체적으로 곡선은 약간 아래로 내려오지만 굴곡이 완만해져서, 경부하에서 속도가 끈질 high로 올라가는 수가 많다.

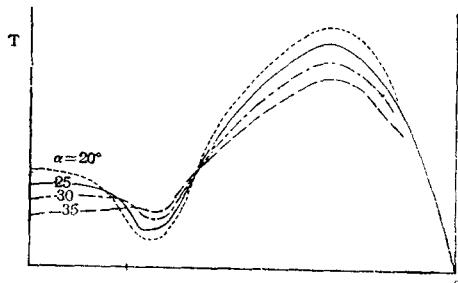


그림 6. 게이트 각 α 에 따른 토르크 특성

α	r. p. m.
20°	320
22.5	336
25	351
27.5	370
30	382
32.5	400
35	410
37.5	go high speed

제어주파수 : 9Hz

Load: 10kg 원통부하($D=15cm$)

V: 180volt

표 1. 게이트 각 α 대 한 속도비

3. 제어주파수 변화에 따른 제어특성

그림 7에서 보는 바와 같이, 구형과 제어주파수 변화에 의한 변화는, 100~400rpm의 범위에서 경부하와 정직부하에 관계없이 Variable하고 원활한 속도제어 특성을 보여주고 있으나, 부하가 커짐에 따라 진동과 소음을 발생시키는 결점이 있었다.

표에서와 같이, 주파수를 크게 할 수록 속도가 상승하는 것은, 초기 시동전류에 의한 초기 Peak 토르크가 처음 반사이클 안에 나타나므로, 제어주파수를 크게 할 수록 이에 대한 효과가 커져서 토르크곡선이 올라가기 때문이다.

즉, 3상유도전동기의 토르크 관계식은

$$T = \frac{3E_2 I_2 \cos\theta_2}{w_0}$$

$$I_1 = I_0 + I_2'$$

$$I_2' = \frac{I_2}{\alpha}$$

여기서 E_2 (2차유기전압), $\cos\theta_2$ (2차 위상각)와 w_0 (동기각속도)는 입력전류에 관계 없고, 웃 세식에서 입력전류(I_1)이 증가하면 I_2 가 증가하고, 따라서 토르크 T 가 커지게 되는 것이다.

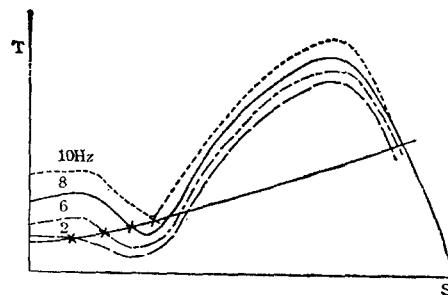


그림 7 제어주파수에 의한 속도변화

제어주파수	r. p. m
12 Hz	go high speed
11	410
10	380
9	351
8	302
7	255
6	210
5	170
4	130 (진동)
3	100 (step motion)

$\alpha: 25^\circ$

Load: 10kg 원통부하($D=15cm$)

V: 180volt

표 2. 제어주파수에 대한 속도비

IV. 결 론

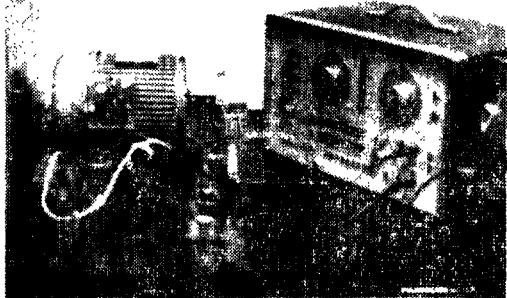


사진 1. 실험장치

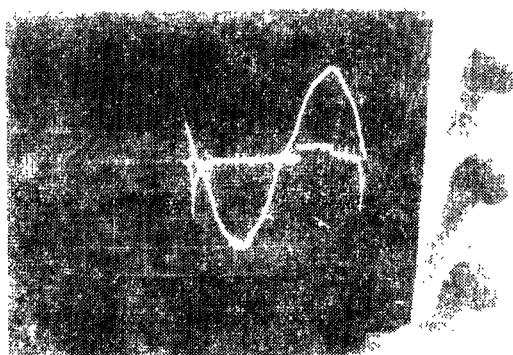


사진 2. 인가전압과 게이트전압

① 실험결과에서와 같이 저속을 필요로 하는 부하에 대하여 經濟的이고 便利하며 속도변화가 Variable 하다.

② 超低速($0\sim100\text{rpm}$)의 제어도 게이트 각을 아주 작게하고, 제어주파수를 낮게 함으로써 Step Motion의 형태로 쉽게 얻을 수가 있다.

③ 경부하에 있어서의 속도제어는 소음과 진동이 적으므로, 여러가지 면에서 實用的인 방법이 된다.

참 고 문 헌

1. Tatsuo Goto & Yasuharu Tamuro, "Three-phase Inductin Motor Impulse Drive Method" IEEE Trans. Automatic Cont. Vol. ac-24, No-6, Dec. 1979.
2. 朴曼鎬, “誘導機器”, 東明社 pp. 286—495, 1979.
3. S. A. Nasar, "Electromagnetic Energy Conversion Devices and Systems," Prentice-Hall, Inc. pp. 235—282.
4. S. R. Doradla & Paresh C. Sen, „Solid State Series Motor Drive,” IEEE Trans. Industrial Electronics & Control Instrumentation Vol. IECI-22, No-2, May 1975.