

다중여자 유도전동기의 안정도에 관한 연구

(A Study on Stabilization of Multi-Excited Induction Motor)

姜萬元* · 金漢星**

(Man-Woun Kang · Han-Seong Kim)

요 약

본 연구는 산업사회의 수많은 전기설비 시스템에 사용되는 다중여자 유도전동기의 안정도를 다루었으며 다중여자 유도전동기의 두 3상시스템중 하나는 직접 전원에 접속되어서 에너지 변환을 담당하고 다른 3상시스템은 전류의 크기나 주파수를 제어할 수 있는 인버터에 접속되었다. 단일여자 모드에서 운전되는 유도전동기는 유도모드만 가능하나 다중여자 모드에서 운전되는 유도전동기는 유도모드와 동기모드 둘다 가능하다. 동기모드에서 운전되는 다중여자 유도전동기의 효율은 유도모드나 기존의 유도전동기 보다 높으며 속도제어용 인버터 정격은 일반적으로 유도전동기 정격 보다 크지만 다중여자 설비시스템에서는 유도전동기 정격의 일부로 가능하다. 동기모드에서 속도는 인버터 출력전류의 크기나 주파수를 가변함으로서 제어될 수 있으며 다중여자 유도전동기를 가변속도 시스템에 사용하면 다른 전동기의 사용에 비해 유지 보수비와 가격을 감소시킬 수 있다.

Abstract

This paper covers stability and stabilization of Multi-Excited Induction Motor used in numerous electric equipment system of industrial field. The induction motor with multi-excitation has two sets of three-phase system : One is connected to the AC source to supply most power required at the load, and the other is to the inverter for variable frequency and/or magnitude of voltage. The conventional induction motor is operated under single excitation mode only, that is called induction mode. But in multi-excited induction motor both the induction mode and the synchronous mode are possible, and the proposed multi-excited induction motor can be driven as a synchronous motor by the extra three-phase input. At the synchronous mode the efficiency is improved so higher than that at induction mode or conventional induction motor. The rating of the inverter used for speed control of numerous electric equipment system can be reduced upto one-tenth of that for conventional induction motor. Also the cost and maintenance fee of multi-excited induction motor can be reduced compared to any other motor.

*正會員：大田産業大 制御計測工學科 教授
接受日字：1995年 4月 6日

**正會員：建國大 工大 電氣學科 教授

1. 서 론

산업사회의 수많은 전기설비 시스템에 사용되는 유도전동기는 구조적으로 튼튼하여 일반적인 가변속시스템에 널리 이용되고 있다. 특히 마이크로프로세서의 발전으로 유도전동기의 비선형성이 극복되고 최근 벡터제어에 이르기까지 매우 다양해지고 있으며 더구나 전원이나 부하의 변화에 대해서도 원활하게 대처할 수 있는 고급 제어 시스템들이 많이 연구 개발되고 있다. 유도전동기나 동기전동기는 정속운전특성을 갖고 있으며 인버터로 입력주파수를 가변시켜 속도를 제어하고 있으나 인버터의 용량이 보통 전동기 용량의 150[%] 이상을 설정하게 되어 전동기의 용량이 커질수록 인버터의 용량은 더욱 증대되고 결국 전체 제어부의 설치비가 상승된다.

다중여자 유도전동기는 공통고정자 권선과 공통회전자 권선을 갖도록 하면서 하나의 권선으로 2개의 3상시스템이 구성되도록 하였으며 각각 독립된 전원으로 부터 전력을 공급하는 이중구조로 하여 고정자의 한 부분에는 60[Hz]의 상용전원을 연결하고 다른 부분은 인버터를 연결하여 속도를 제어한다. 또한 회전자는 고조파를 없애고 출력을 증가시키도록 설계하므로써 농형 유도전동기와 릴럭턴스 전동기의 회전자 역할을 겸하도록 하였으며 효율을 증가시키고 안정폭을 넓이기 위해 회전자 도체는 굵은 동봉을 사용하였다. 이로써 회전자의 전류파형이 개선되어 결국 전동기의 토크맥동이 감소되면서 소음도 저감되는 특성을 갖게된다.

유도모드에서 여자전력부의 전류크기를 제어하여 동기모드를 얻게되었고 동기모드에서 여자전력부의 주파수를 제어함으로써 속도변화가 직

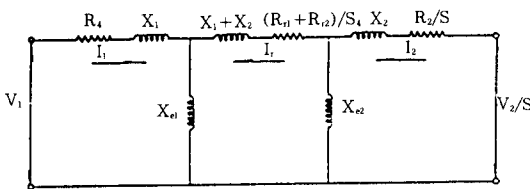


그림 2.1 다중여자기의 등가회로
Fig. 2.1 Equivalent circuit of multi-excited machine.

선적이었으며 동기모드를 유지하기 위한 여자전류의 상한치와 하한치를 구하였다. 측정된 정수로 시뮬레이션을 하여 실험치와 비교 검토한 결과 실험치와 이론치가 잘 일치함을 알 수 있어 제시한 연구내용에 모순이 없음을 알 수 있었다.

2. 해 석

2.1 등가회로

그림 2.1의 다중여자 유도전동기의 등가회로는 고정자와 회전자 간의 자기 결합을 나타내는 두개의 주 리액턴스인 X_{m1} 과 X_{m2} 를 포함하고 있음을 알 수 있으며 이 등가회로에 테브난의 정리를 적용하면 X_{m1} 이 제거되는 테브난의 등가회로가 그림 2.2와 같이 얻어지며 X_{m1} 대신 저항 R_{1th} 와 리액턴스 X_{1th} 가 주전력부의 등가전압 V_{e1} 과 함께 삽입되며 이 저항과 리액턴스를 테브난의 저항과 리액턴스라고 하며 다음과 같이 정의된다.

$$Z_{1th} = \frac{(R_1 + jX_1) \cdot jX_{m1}}{(R_1 + jX_1) + jX_{m1}} = R_{1th} + jX_{1th}$$

$$R_{1th} = \frac{R_1 \cdot X_{m1}^2}{R_1^2 + (X_1 + X_{m1})^2} \quad (2-1)$$

$$X_{1th} = \frac{X_{m1} \cdot (R_1^2 + X_1^2 + X_1 \cdot X_{m1})}{R_1^2 + (X_1 + X_{m1})^2} \quad (2-2)$$

$$V_{e1} = \frac{jX_{m1}}{(R_1 + jX_1) + jX_{m1}} \cdot V_1 = C_{th} \cdot V_1 \quad (2-3)$$

$$I_{e1} = I_r = \frac{(R_1 + jX_1) + jX_{m1}}{jX_{m1}} \cdot I_1 = \frac{I_1}{C_{th}} \quad (2-4)$$

$$C_{th} = \frac{jX_{m1}}{R_1 + j(X_1 + X_{m1})} \quad (2-5)$$

식(2-5)에서 $R_1 \ll (X_1 + X_{m1})$ 이고 $X_1 \ll X_{m1}$ 이면 C_{th} 는 1이되어 V_{e1} 과 I_{e1} 은 다음과 같이된다.

$$V_{e1} = V_1 \quad (2-6)$$

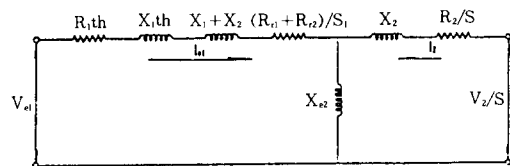


그림 2.2 다중여자기의 테브난의 등가회로
Fig. 2.2 Thevenin Equivalent circuit of multi-excited machine.

$$I_{e1} = I_1 \quad (2-7)$$

주 전력부에 등가 전압 전류를 도입함으로써 전동기의 전력관계가 용이해졌고 전압 전류에 대해서도 실질적인 주전력부의 량과 주전력부의 등가량이 같아졌다. 그림 2.2의 다중여자 유도전동기의 테브난의 등가회로에서 주전력부의 등가 저항 R_{e1} 과 등가 누설리액턴스 X_{e1} 및 등가 동기 임피던스 Z_{e1} 은 다음과 같다.

$$R_{e1} = R_{1ub} + \frac{Rr_1 + Rr_2}{S_1} \quad (2-8)$$

$$X_{e1} = X_{1ub} + X_1 + X_2 \quad (2-9)$$

$$Z_{e1} = R_{e1} + jX_{e1} \quad (2-10)$$

2.2 입력 및 출력

그림 2.1의 등가회로에서 전압 전류에 대한 기호들은 실효치로 나타냈고 회로정수는 실제의 값을 나타냈다. $jX_{m2} \cdot I_{e1}$ 은 등가 주전력부 전류에 의해 여자전력부에 유기된 전압이고 $jX_{m2} \cdot I_2$ 는 여자전력부의 전류에 의해 등가 주전력부에 유기된 전압이다. 그림 2.2에서 두 개의 회로망에 Kirchhoff의 전압법칙을 적용시키면 등가정수를 사용한 다중여자 유도전동기의 전압 전류 관계식은 다음의 두 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_{e1} = R_{e1} \cdot I_{e1} + j(X_{e1} + X_{m2}) \cdot I_{e1} + jX_{m2} \cdot I_2 \quad (2-11)$$

$$\frac{V_2}{S} = \frac{R_2}{S} \cdot I_2 + j(X_2 + X_{m2}) \cdot I_2 + jX_{m2} \cdot I_{e1} \quad (2-12)$$

다중여자 유도전동기의 전력관계는 앞절에서 주어진 전압 전류의 관계식으로부터 얻어질 수 있으며 식(2-11)은 단상 등가이므로 3상에 대해 선 모든항에 $3 \cdot I_{e1}^*$ (I_{e1}^* 는 I_{e1} 의 공액)를 곱하고 실수부만을 끌어내면 다음과 같은 유효전력의 관계가 만들어 진다.

$$P_{e6} = P_{ag} + P_{c6} \quad (2-13)$$

여기서

$$P_{e6} = 3 \cdot \text{Real}(V_{e1} \cdot I_{e1}^*) \quad (2-14)$$

$$P_{c6} = 3 \cdot I_{e1}^2 \cdot R_{e1} \quad (2-15)$$

$$P_{ag} = 3 \cdot \text{Real}(jX_{m2} \cdot I_2 \cdot I_{e1}^*) \quad (2-16)$$

$$3 \cdot \text{Real}(V_{e1} \cdot I_{e1}^*) = 3 \cdot I_{e1}^2 \cdot R_{e1} + P_{ag} \quad (2-17)$$

마찬가지로 식(2-12)인 여자전력부의 전압식에 $3 \cdot I_2^*$ 를 곱하고 주전력부에서와 같은 과정을 거치면 여자전력부에 대한 전력관계가 얻어진다.

$$P_{e2} = P_{c2} - SP_{ag2} \quad (2-18)$$

여기서

$$P_{e2} = 3 \cdot \text{Real}(V_2 \cdot I_2^*) \quad (2-19)$$

$$P_{c2} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \quad (2-20)$$

$$P_{ag2} = 3 \cdot \text{Real}(jX_{m2} \cdot I_1 \cdot I_2^*) \quad (2-21)$$

2.3 원선도

그림 2.3과 같이 등가 주전력부에 공급되는 전압벡터 V_{e1} 은 실제의 공급전압 V_1 과 동상으로 수평축에 위치하도록 정했으며 원선도에서 화살표로 나타낸 이 벡터는 꼬리를 원점 0에 두고 화살표를 수평축의 오른쪽을 향하도록 정했다. 주전력부의 전류벡터 I_{e1} 도 꼬리를 원점 0에 두고 머리를 동작점 P에 두고 있는 화살표로 나타냈으며 동작점의 궤적은 원이고 동작점의 위치는 다중여자 유도전동기의 주전력부의 단자에서 역률과 유효전력 및 무효전력을 나타낸다.

역률각 θ 는 원선도에서 전압벡터 V_{e1} 과 전류벡터 I_{e1} 간의 각이며 원선도의 수평축상에 투사한 주전력부의 전류 I_{e1} 의 유효분은 $I_{e1} \cdot \cos(\theta)$ 이고 주전력부가 전원에 직접 접속되었기 때문에 전압 V_{e1} 은 일정하며 주전력부의 유효전력 P_{e6}

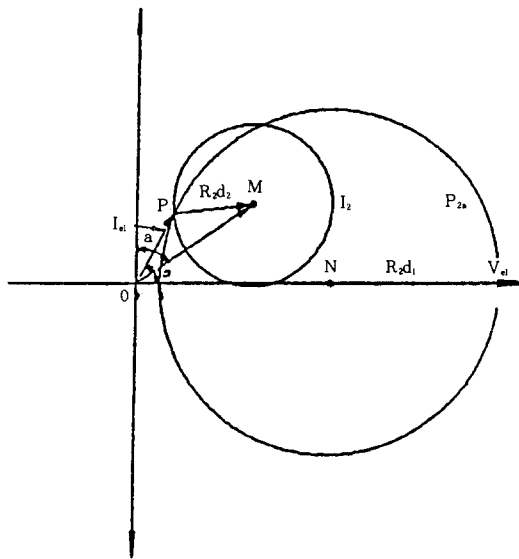


그림 2.3 다중여자기의 원선도
Fig. 2.3 Circle diagram of multi-excited machine.

$=V_{e1} \cdot I_{e1} \cdot \cos(\theta)$ 가 수평축상에 나타난다. 원선도의 수직축상에 투사한 전류 I_{e1} 의 무효분은 $I_{e1} \cdot \sin(\theta)$ 이고 주전력부의 무효전력 $Q_{e6} = V_{e1} \cdot I_{e1} \cdot \sin(\theta)$ 가 원선도의 수직축상에 나타난다.

주전력부의 등가전류 I_{e1} 은 식(2-11)로 부터 다음과 같이 된다.

$$I_{e1} = \frac{V_{e1}}{Z_{e1}} \cdot \epsilon \cdot j(\pi/2 - \alpha) - \frac{X_{m2}}{Z_{e1}} \cdot I_2 \cdot \epsilon \cdot j(\beta - \alpha) \quad (2-22)$$

여기서 V_{e1} 의 위상각은 영이며 β 는 $jX_{m2} \cdot I_2$ 의 위상각이다.

$$Z_{e1} = \text{SQRT}(R_{e1}^2 + (X_{e1} + X_{m2})^2) \quad (2-23)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \frac{X_{e1} + X_{m2}}{R_{e1}} \quad (2-24)$$

Z_{e1} 과 α 는 각각 등가 주전력부의 동기임피던스의 크기와 각으로 다중여자 유도전동기에서는 식(2-10)에서 알 수 있는 바와 같이 속도에 달려있다. 식(2-22)의 I_{e1} 은 그림 2-3과 같이 그려질 수 있으며 이 원선도에서 여자전력부의 전류 I_2 는 X_{m2}/Z_{e1} 가 곱해진 벡터로 N점에 머리를 두고 동작점 P에 꼬리를 두고 있으며 여자전력부의 전류 I_2 의 궤적은 N점을 중심으로한 원이며 N점의 좌표는 다음과 같이 된다.

$$X_n = \frac{V_{e1}}{Z_{e1}} \cdot \sin(\alpha) \quad (2-25)$$

$$Y_n = \frac{V_{e1}}{Z_{e1}} \cdot \cos(\alpha) \quad (2-26)$$

공극전력 P_{ag} 와 기계력 P_{em} 은 토크 T_{em} 과 다음의 관계가 된다.

$$P_{ag} = T_{em} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_1}{N_1 + N_2} \quad (2-27)$$

$$P_{em} = T_{em} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_m \quad (2-28)$$

여기서 f_1 은 주전력부의 공급 주파수며 N_1 , N_2 는 두 3상 시스템의 극쌍수고 T_{em} 은 다중여자 유도전동기에 의해 만들어지는 총 토크다.

$$f_1 = N_1 \cdot f_m + N_2 \cdot f_m + f_2 \quad (2-29)$$

이므로 기계력 P_{em} 과 공극전력 P_{ag} 간의 관계는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$P_{em} = (1 - S) \cdot P_{ag} \quad (2-30)$$

P_{em} 에 대한 공극전력 P_{ag} 는 식(2-30)으로 부터 알 수 있으므로 다중여자 유도전동기가 어떤 슬립에 해당하는 속도에서 기계적출력 P_{em} 을

변환하도록 운전된다고 가정하면 이것은 식(2-30)인 $P_{ag} = P_{em}/(1 - S)$ 에 따른 공극전력량에 해당한다.

식(2-17)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$3 \cdot V_{e1} \cdot I_{e1} \cdot \cos(\theta) = 3 \cdot I_{e1}^2 \cdot R_{e1} + P_{ag} \quad (2-31)$$

$$I_{e1}^2 = (I_{e1} \cdot \cos(\theta))^2 + (I_{e1} \cdot \sin(\theta))^2 \quad (2-32)$$

식(2-31)과 식(2-32)로 부터 다음식이 만들어진다.

$$\frac{V_{e1}}{R_{e1}} \cdot I_{e1} \cdot \cos(\theta) = (I_{e1} \cdot \cos(\theta))^2 + (I_{e1} \cdot \sin(\theta))^2 + \frac{P_{ag}}{3 \cdot R_{e1}} \quad (2-33)$$

이 식을 정리하면 다음과 같은 원의 방정식이 된다.

$$\begin{aligned} & (I_{e1} \cdot \cos(\theta) - \frac{V_{e1}}{2 \cdot R_{e1}})^2 + (I_{e1} \cdot \sin(\theta))^2 \\ & = (\text{SQRT}(\frac{V_{e1}}{2 \cdot R_{e1}})^2 - \frac{P_{ag}}{3 \cdot R_{e1}})^2 \end{aligned} \quad (2-34)$$

이 원의 중심 M의 좌표는 다음과 같다.

$$X_m = \frac{V_{e1}}{2 \cdot R_{e1}} \quad (2-35)$$

$$Y_m = 0 \quad (2-36)$$

원선도상의 모든점은 안정조건을 나타내며 동작점의 위치는 다중여자 유도전동기의 모든 변수들의 상태를 나타낸다. 여자전력부의 전류와 주전력부의 등가전류 그리고 공극전력의 관계가 얻어지며 더욱이 주전력부의 단자에서 역율과 유효전력 및 무효전력을 알 수 있다.

다중여자 유도전동기가 그림 2.3과 같이 동작점 P에서 운전됐다면 여자전력부의 전류 I_2 의 실효치와 공극전력 P_{ag} 는 일치한다. 인버터에 의해 I_2 가 감소되는 동안 속도와 출력에 변화가 없어야 공극전력이 일정하게되며 여자전력부의 전류 I_2 의 감소는 반경이 감소된 I_2 원과 P_{ag} 원의 교점인 동작점이 P점에서 다른점으로 이동된다. 동작점의 궤적은 I_2 원과 P_{ag} 원 간에 교점이 일어나지 않을때 까지 P_{ag} 원을 따라간다. 이것은 여자전력부의 전류 I_2 의 실효치가 최소치가 될 때까지 일어나며 이 값은 I_2 의 반경이다.

2.4 안정도의 범위

다중여자 유도전동기의 동기운전은 어느 한도

내의 여자전류를 필요로 하며 이 한계는 속도와 변환되는 전력량에 달려있고 이들 한계간의 폭은 동기조건의 안정폭을 얻기 위해 가능한 넓은 것이 좋으며 요구되는 최소전류는 너무크지않은 것이 좋다. 다중여자 유도전동기의 여자전류는 적은 극쌍수를 가진 3상시스템의 단자에 공급되는 전류임을 알 수 있다.

다중여자 유도전동기에서 Pag원의 중심 M과 I₂원의 중심 N의 위치는 고정되지 않았으며 3개의 량 Ve₁, Ze₁, Re₁에 달려있는데 주전력부의 단자가 직접 전원에 접속되었기 때문에 Ve₁은 일정하고 Ze₁은 식(2-10)에서와 같이 Re₁에 달려있으며 Re₁은 슬립 S₁에 달려있는데 슬립 S₁은 다음식으로부터 알 수 있는 바와 같이 속도에 달려있으므로 I₂원과 Pag원의 중심의 위치 N과 M은 속도에 달려있다.

$$RPM = 120 \cdot \frac{(1-S_1) \cdot f_1}{P_1} \quad (2-37)$$

식 (2-22)에서

$$Rad_2 = \frac{X_{m2}}{Z_{e1}} \cdot I_2 \quad (2-38)$$

$$I_2 = \frac{Z_{e1}}{X_{m2}} \cdot Rad_2 \quad (2-39)$$

식 (2-34)에서

$$Rad_1 = \text{SQRT} \left(\frac{Ve_1}{2 \cdot Re_1} \right)^2 - \frac{Pag}{3 \cdot Re_1} \quad (2-40)$$

그림 2.4에서

$$Rad_{2max} = Rad_1 + \text{SQRT}((X_m - X_n)^2 + Y_n^2) \quad (2-41)$$

$$Rad_{2min} = Rad_1 - \text{SQRT}((X_m - X_n)^2 + Y_n^2) \quad (2-42)$$

$$I_{2max} = \frac{Z_{e1}}{X_{m2}} \cdot Rad_{2max} \quad (2-43)$$

$$I_{2min} = \frac{Z_{e1}}{X_{m2}} \cdot Rad_{2min} \quad (2-44)$$

Rad₁은 Pag원의 반경이며 Rad₂는 I₂원의 반경이다. I₂원의 Pag원과 교차되도록 여자전력부의 전류 I₂가 조정된다면 동기운전이 가능하나 여자전력부의 전류 I₂가 Rad_{2min}과 Rad_{2max}의 범위를 벗어난다면 동기운전은 불가능하다. 그림 2-4에서 보는 바와 같이 Rad_{2min}과 Rad_{2max}의 크기는 Pag원과 접하는 내접·외접 I₂원의 반경으로부터 쉽게 얻을 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과고찰

실험에 사용된 전동기의 정격은 3상교류 100 [V] 1[Hp]이며 극수조합은 6극과 2극이다. 고정자는 36슬롯으로 권회수는 41이고 권선굵기는 직경 0.7[mm]의 에나멜 동선이다. 회전자는 농형 36슬롯으로 직경 6[mm] 동봉인 4개의 도체와 4개의 단락코일을 갖고있다.

$R_1 = R_2 = 1.463 [\Omega]$	$R_{r1} + R_{r2} = 5.10 [\Omega]$
$X_1 = 5.021 [\Omega]$	$X_{m1} = 132.711 [\Omega]$
$X_2 = 3.664 [\Omega]$	$X_{m2} = 96.859 [\Omega]$

이상의 실제 측정된 정수를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 제시된 모든 그림은 다중여자 유도전동기의 여자전력부의 주파수를 제어했을 때의 특성곡선이다.

그림 3.1은 여자전력부의 전류로서 다중여자 유도전동기가 안정하게 동기운전을 유지하려면 최대치와 최소치 내에 유지될 수 있는 여자전류가 요구되며 이 한계간의 폭은 여자전력부의 높은 주파수 즉 낮은 속도에서 넓은 안정폭을 갖는

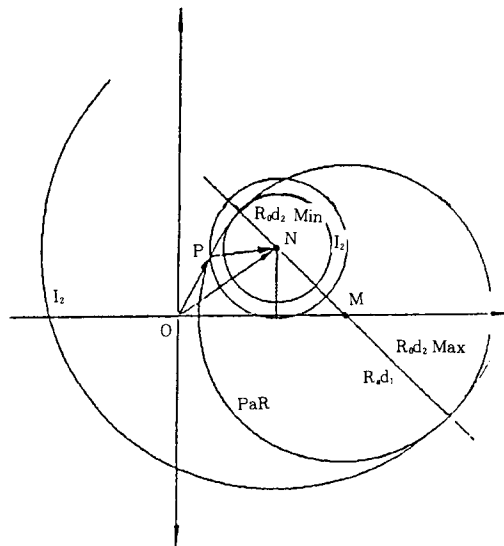


그림 2.4 동기모드에서의 다중여자의 여자전류
Fig. 2.4 Exciting current of multi-excited machine on synchronous mode

다.

그림 3.2는 회전자 저항변화에 따른 여자전류의 변화를 보인것으로 여자전류의 최대치와 최소치 간의 폭은 회전자 저항이 커질수록 감소함을 알 수 있으며 이것은 회전자 저항이 커질수록 안정폭이 감소하는 결과가 되기때문에 회전자 저항을 적게할 필요가 있다.

그림 3.3은 시스템의 주파수 변화를 보인것으로 공급주파수 f_1 은 항상 60(Hz)로 $N_1 \cdot f_m$ 과 $N_2 \cdot f_m$ 및 f_2 의 합이 되므로 여자전류부의 주파수를 제어하여 속도를 제어할 수 있을 뿐만 아니라 발전기의 경우 일정한 주파수의 출력을 제어할 수 있음을 알 수 있다.

기계적인 입력이 영일 때의 발전기 출력은 마이

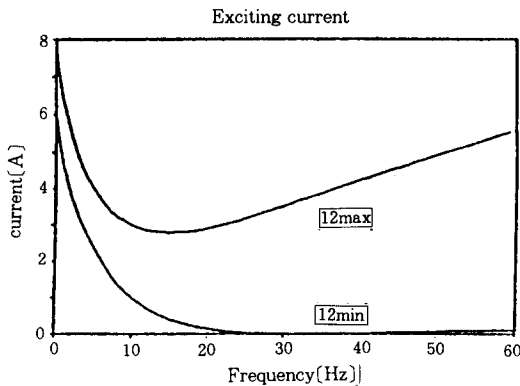


그림 3.1 다중여자기의 여자전류 한계
Fig. 3.1 Limitation of exciting current of multi-excited machine.

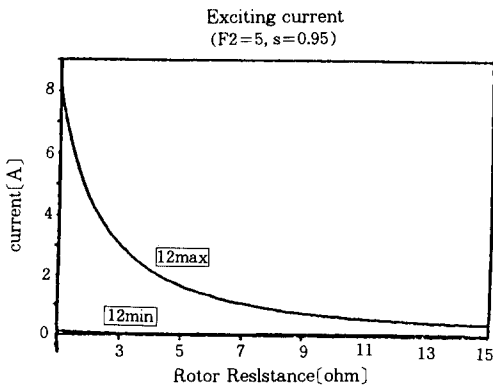


그림 3.2 다중여자기의 I_2 에 대한 회전자저항의 영향
Fig. 3.2 Effect of rotor resistance on I_2 of multi-excited machine.

너스 출력이되며 이때의 발전기는 무부하시의 전동기가 됨을 볼 수 있으며 기계적인 입력을 가하면 발전기가 되고 기계적인 출력이 나오면 전동기가 됨을 알 수 있다.

단일여자 모드에서는 유도모드만 가능하나 다중여자 모드에선 유도모드와 동기모드 둘 다 가능하며 다중여자 유도모드에서는 두개의 회전자 주파수가 존재하게 되며 어떤속도 영역에서 두 토크가 반대방향이 되어 효율이 떨어지고 속도제어는 실질적인 속도를 감지할 타코메타 피드백이 필요하나 동기모드에서는 하나의 회전자 주파수만 존재하게 되고 두 토크가 같은 방향이 되어 효율이 증가하며 인버터 출력주파수를 제어하므로써 속도를 제어할 수 있다.

여자전력은 전동기 정격의 일부로 가능함을 알 수 있으며 가변속도 시스템에 다중여자 유도전동기를 사용하면 다른 전동기의 사용에 비해 유지보수비와 가격을 감소시킬 수 있다.

주 인덕턴스가 너무 작으면 여자전류가 커진다는 것을 알 수 있으며 여자전류가 커지면 여자회로의 손실이 커진다. 주 인덕턴스를 크게하면 이들 한계가 축소되지만 주 인덕턴스를 너무 크게 하면 충분한 기동토크를 달성하는 견지에서 바람직 하지 않다.

다중여자 유도전동기는 상한치와 하한치 내에 유지될 수 있는 여자전류가 요구되며 이들 범위

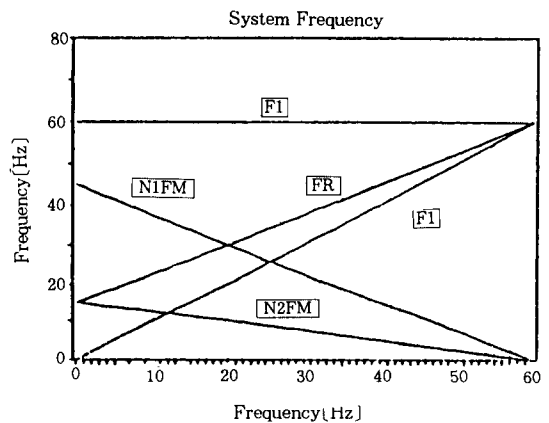


그림 3.3 다중여자기의 시스템 주파수
Fig. 3.3 System frequency of multi-Excited machine.

는 속도와 변환되는 전력량에 달려있고 동기탈조 되면 유도모드로 들어가게되며 동기모드에서의 안정폭은 회전자 저항이 증가하면 감소함을 알 수 있다.

이상의 결과로 다중여자 유도전동기는 기존의 유도전동기에 비해 효율이 좋으며 속도특성이 직선적이고 인버터 사용시 그 정격이 적어지는 등 특성이 매우 우수함을 알 수 있다. 작은 극수를 가진 시스템이 여자전력을 담당하게 되고 많은 극수를 가진 시스템이 전동기에 공급되는 전력을 변환하며 최대출력을 얻기 위해서는 여자측의 극수가 최소가 되어야 한다.

4. 실험결과 및 고찰

실험용 다중여자 유도전동기는 기존의 교류 220(V) 1(Hp) 3상 농형유도전동기의 고정자 철심은 그대로두고 권선은 새로운 방법으로 재설계하였으며 회전자는 철심과 슬롯의 크기 및 슬롯의 수와 회전자 권선을 새로운 방법으로 설계하여 다중여자 유도전동기를 만들었다.

다중여자 유도전동기의 두 3상시스템중 U-V-W측은 60(Hz) 전원에 접속시키고 X-Y-Z측은 인버터용 인버터에 접속시킨후 정격부하를 걸고 주파수의 주파수 f_2 에서 인버터 출력전류의 크기를 가변하여 동기상태를 만든후 전류의 크기를 고정하고 주파수를 제어하여 속도를 제어하였다.

두 시스템 간에 완전한 주파수 분리가 이루어졌으며 주 전력부가 에너지 변환을 담당하기 때문에 발전기의 경우 양질의 전력을 보장해야 하며 다중여자 유도전동기가 이런 면에서 다른 어떤 종류의 에너지 변환기 보다 경제적이다 할 수 있겠다.

이와 같이 실험치가 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 볼 수 있었으며 근소한 차이는 해석을 간단하게 하기 위해 여러가지의 가정을 한것과 계기손실 및 오차가 원인이라고 수작업으로 제작상 완벽을 기하지 못한 점 등의 종합적인 원인이라 할 수 있겠다.

5. 결 론

다중여자 유도전동기는 공통 회전자 도체와 공통 고정자권선을 갖고 서로 다른 극수를 갖도록 설계 되었으나 두시스템의 단자에서 완전한 주파수 분리가 이루어졌고 하나의 공통 고정자권선에 두개의 3상 전원으로부터 서로 다른 주파수의 전압을 인가하고 그 크기를 적절하게 조정하면 유도모드 및 동기모드를 갖게 된다. 그리고 최대 효율을 얻기 위해 고정자 권선의 극수를 제안된 구조의 최소단위인 6극과 2극이 되도록 설계하였다. 또한 회전자 구조를 재설계하여 기존의 농형 회전자와 릴럭턴스 전동기의 회전자 역할을 겸하도록 하므로써 발생토크 및 효율개선을 도모하였으며 회전자권선에 고조파가 제거되어 전류 파형이 정현파가 되어 진동이나 소음을 저감시킬 수 있었다.

그리고 제안된 다중여자 유도전동기는 두 3상 전원의 전압 및 주파수의 값에 따라 기존의 유도전동기 및 동기전동기의 특성을 모두 지니게 된다. 유도전동기로서의 동작 즉 유도모드에서의 속도는 부하의 속도-토크 특성에 따라 달라 지지만 속도를 일정한 값으로 유지하기 위해 피드백 제어가 필요하나 동기전동기로 운전되는 동기 모드에서의 속도는 두개의 3상 시스템에 공급되는 주파수에 의해 결정되고 피드백 제어가 필요하지 않으며 이 동기 모드를 이용하면 기존의 동기전동기를 다중여자 유도전동기로 대체할 수 있다. 그 결과 유도전동기로서의 특징인 튼튼한 구조와 고장 및 보수비 최소화 그리고 가격저렴화 등을 유지하면서 값비싼 동기전동기 대체용으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 여자전력부에 공급되는 여자전력이 전동기 용량의 10(%) 이하이므로 인버터와 같은 가변속 장치를 사용할 경우 전체 제어시스템의 가격 및 신뢰도가 개선되는 특징이 있다.

다중여자 유도전동기는 상한치와 하한치 내에 유지될 수 있는 여자전류가 요구되며 이들 범위는 속도와 변환되는 전력량에 달려있고 동기탈조 되면 유도모드로 들어가게 되며 동기모드에서의 안정폭은 회전자 저항이 증가하면 감소함을 알 수 있다. 작은 극수를 가진 시스템이 여자전력을 담당하게 되고 많은 극수를 가진 시스템이 전동

기에 공급되는 전력을 변환하며 최대출력을 얻기 위해서는 여자측의 극수가 최소가 되어야 한다.

이상과 같이 산업사회의 전기설비 시스템에 사용되는 다중여자 유도전동기는 기존의 유도전동기를 구조적으로 변경하여 동기전동기와 같은 특성을 발휘하도록 설계·제안하였고 이 전동기는 그 특성과 구조 및 인버터 등의 가변속장치의 용량 및 그 설비시스템 가격의 절감과 같은 많은 특징이 있으므로 앞으로 지속적인 연구검토가 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

- 1) J.L.Hunt, "A new type of induction motor", Proc. IEE, Vol.39, pp.648~667, 1907.
- 2) F. Creedy, "Some developments in multi-speed cascade induction motors", Proc. IEEE, Vol.59, pp.511~532, 1921.
- 3) H. K. Lauw, "Characteristics of the hydro variable-speed generation system", power administration No.

- 758724, pp.82~136, 1986.
- 4) W. Shepherd, A.O.Khalil, "Capacitive compensation of thyristor-controlled slip-power-recovery system", Proc. IEE, Vol.117, No.5, pp.948~962, 1970.
- 5) P.G.Homes, "Cycloconverter-excited divided-winding doubly-fed machine as a wind-power converter", Proc. IEE, Vol.131, no.2, pp.1321~1379, Mar. 1984.
- 6) Paul.C.Krause, Olegwasynczuk, Electromechanical motion devices, McGraw Hill, 1990.
- 7) A.E.Fitzgerald, Stephen D.Umans, Electric machinery, McGraw Hill 1990.
- 8) Syed A.Nasar, Electricmachines and transformer, Macmillan
- 9) 강만원, 김한성, "동기모드 운전을 위한 이중여자 유도전동기의 설계 및 해석", 건국대학 교수논문집 18권, pp.61~79, Sep. 1993.
- 10) 강만원, 김한성, "이중여자에 의한 유도전동기의 동기운전", 한국조명·전기설비학회, Vol.7, No.5, pp.51~59, Sep.1993.
- 11) 강만원, "이중여자 유도전동기의 정상상태 특성해석", 건국대학교 대학원논문, Feb.1994.

◇ 著 者 紹 介 ◇



강 만 원(姜萬元)

1942年 6月 2日生. 1969年 漢陽大工大 電氣工學科 卒. 1983年 建國大 大學院 電氣科 卒(碩士). 1994年 建國大 大學院 電氣科 卒(博士). 1989年~91年 美國 OSU 및 USC 交換教授. 1979年~現在 大田産業大 制御計測工學科 教授.



김 한 성(金漢星)

1931年 8月 20日生. 1955年 서울大 工大 電氣工學科 卒. 1975年 明知大 大學院 卒(工碩). 1982年 崇實大 大學院 卒(工博). 1988年~91年 建國大 産業大學院長. 1972年~現在 建國大 工大 電氣工學科 教授.