

인버터 전원 에 의한 유도전동기 등가회로 결정

*정영준, **좌종근

*제주대학교 산업대학원, **제주대학교 전기전자공학부

Determination of Induction Motor equivalent circuit parameters by Inverter Source

Young-jun Jeong, Chong-keun Jwa

Graduate School of Industry, Cheju National Univ., Dept. of Electrical Eng. Cheju National Univ.

Abstract -A determining method of the Γ type equivalent circuit parameters of induction motor driven by inverter source is proposed in this paper. The no-load test by rated frequency (60 Hz) and a blocked rotor test by 25% of rated frequency (15Hz) are performed with inverter source, and the DC resistance of the stator winding is measured. To determine the more accurate parameters, four simultaneous equations obtained from equivalent circuit of the no-load test and blocked rotor test are solved by using initial values which are evaluated from simplified equivalent circuits. The induction motor performances are computed by using these parameters and compared with measured values of the tested motor. Then it is found that the compared results show good agreement between them.

1. 서론

유도전동기에 고조파를 포함한 전압이 인가되면 정현파 전압이 인가된 경우에 비하여 효율이 떨어지고 온도가 상승하여 운전 특성에도 영향을 미친다.[1],[2] 이에 따라 많은 연구자들이 이 문제에 대하여 관심을 가지고 연구하여 오고 있다. Dogett와 Queer는 비정현파 인가전압에 의한 유도전동기의 운전특성을 정현파 전원에 의한 특성과 비교하였고[3], Jain은 전압파형이 유도전동기의 성능에 미치는 영향을 Fourier 급수에 의하여 파형을 분석하고 해석하였다.[4] Klingshirn과 Jordan은 비정현파전압원에 의한 다상 유도전동기의 성능과 손실에 대하여[5], 그리고 Lee와 Lee는 다양한 전압 왜형율하에서 고조파 차수가 2에서 13까지 각각의 고조파에 대한 영향을 조사하기 위하여 실 부하시험을 하였다.[1]

비정현파 전원에 의한 유도전동기의 특성계산을 위하여 Jain은 T형 등가회로를, Fujimaki와 Miyashita는 Γ 형 등가회로([6],[7],[8],[9])를 사용하여 전압 파형을 조파분석하고 고조파등가회로를 구성하여 계산하였다.[2] 인버터에 의한 유도전동기의 가변속운전이 많은 분야에서 적용됨에 따라

Yamada는 T형등가회로를 사용하되 고조파 성분의 영향을 고려한 회로정수를 인버터에 의한 왜형파 전원시험법에 의하여 결정하여 특성을 계산하였다.[10] Fujimaki와 Miyashita는 보통 농형 유도전동기를 대상으로 하여 고정자측에 대해서는 고정자 철심의 와전류가, 회전자측에 대해서는 슬롯중의 도체 전류의 표피효과가 전동기의 회로정수에 미치는 영향을 고려한 회로정수를 고정자권선의 직류저항 측정, 정격 주파수에 의한 무부하시험 및 2개의 다른 주파수(정격과 정격의 25%)에 의한 구속시험에서 결정하였다.

그러나 Yamada의 왜형파 전원시험법에 의한 회로정수에는 계산 오차가 포함 될 수 있고, Fujimaki과 Miyashita의 방법은 조파분석을 포함하여 계산절차가 복잡하다. 그러므로 본 연구에서는 위의 단점을 보완하기 위하여 Γ 회로를 사용하고 회로정수는 고정자 권선의 직류저항측정, 인버터 전원에 의한 정격주파수 무부하시험, 그리고 정격의 25%주파수에 의한 구속시험에서 비교적 정확하게 결정할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 이 등가회로에 의하여 계산한 유도전동기의 운전특성과 T형 등가회로에 의한 운전특성을 실험에 의한 실측치와 비교하여 제안한 방법의 타당성을 입증하였다.

2. 등가회로와 등가회로정수 결정

2-1 Γ 형 등가회로

인버터에 의하여 구동되는 가변속 유도전동기의 정상상태 특성을 해석하기 위하여 Γ 형 등가회로를 사용하였다. 이 등가회로는 고정자 전압과 주파수의 비가 일정, 즉 고정자 자속을 일정하게 유지하여 운전하는 구동장치 해석에 적합한 것으로 알려져 있다.[7] 또한 고정자와 회전자의 누설리액턴스를 분리할 필요도 없다.[6]

그림 1은 해석에 사용한 Γ 형 등가회로이고 해석을 위하여 다음의 가정을 둔다.

1. 인버터 전원의 3상 전압파형은 같고 서로 120°의 위상차를 가진다.
2. 고정자 저항은 주파수의 영향을 무시한다.
3. 철손과 기계손은 여자회로의 저항으로 대표한다.

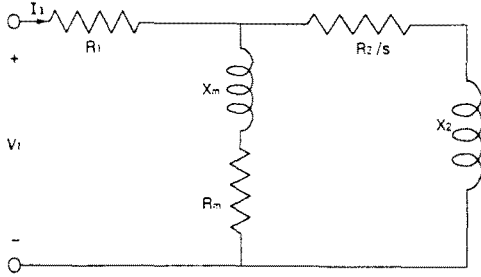


그림1. Γ형 등가회로

등가회로에서 기호는 다음과 같다.

- V_1 : 고정자상전압
- I_1 : 고정자상전류
- R_1 : 고정자권선저항
- X_m : 여자리액턴스와 고정자 권선 누설리액턴스
- R_m : 철손과 기계손을 대표하는 저항
- R_2 : 회전자권선저항
- X_2 : 고정자와 회전자권선 누설리액턴스의 합
- s : 슬립

2. 등가회로정수의 결정

그림 1의 Γ형 등가회로에서 인버터에 의한 가변속 운전시 고조파 성분의 영향을 고려한 회로정수를 왜형과 전원시험법을 변형하여 결정한다. 시험은 고정자권선의 직류저항 측정, 인버터에 의한 정격주파수의 무부하시험, 그리고 정격의 25% 주파수에 의한 구속시험으로 한다. 이 시험 결과를 사용하여 다음과 같은 과정으로 등가회로 정수를 결정한다.

유도전동기 시험시 그림 1의 등가회로에서 무부하에서는 슬립이 0이 아니므로 무부하시 슬립을 고려하여야하고, 구속상태에서는 기계손과 철손은 무시할 수 있지만, 정지상태에서 운전상태까지는 이 등가회로에 의하여 특성을 산정하고 있다. 따라서 회로정수를 정도 높게 계산하려면 그림 1의 등가회로를 사용하여 무부하 시험과 구속시험 결과를 적용하여야 한다.

등가회로에서 $Z_1 = R_1 + jX_m$, $Z_0 = R_2/s + jX_2$ (무부하), $Z_{2s} = R_2 + jkX_2$ (구속)이라 하면, 무부하시에는

$$Z_0 = \frac{V_0}{I_0} = \left| Z_1 + \frac{Z_m Z_{20}}{Z_m + Z_{20}} \right| \quad (1)$$

$$P_0 = \text{Re} \left(Z_1 + \frac{Z_m Z_{20}}{Z_m + Z_{20}} \right) I_0^2 \quad (2)$$

의 관계가 성립하며, 구속시에는

$$Z_s = \frac{V_s}{I_s} = \left| Z_1 + \frac{Z_m Z_s}{Z_m + Z_s} \right| \quad (3)$$

$$P_s = \text{Re} \left(Z_1 + \frac{Z_m Z_s}{Z_m + Z_s} \right) I_s^2 \quad (4)$$

의 관계가 성립하여야 한다.

따라서, (1), (2), (3), (4) 식을 연립하여 R_m, X_m, R_2, X_2 를 결정할 수 있다. 이들 등가회로정수를 결정하기 위해서 직류저항 측정, 무부하시험, 그리고 구속시험을 이용하여 계산된 값을 초기값으로 사용한다.

3. 해석결과 및 검토

제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 사용한 3상 농형 유도전동기의 정격은 4극, 208V, 1.2A, 175W, 1670rpm이고 Y결선으로 시험하였다.

인버터전원에 의하여 운전되는 유도전동기의 특성을 계산하기 위한 Γ등가회로의 회로정수를 전압강하법에 의한 고정자 권선 저항 측정, 인버터 전원에 의한 60Hz 무부하 시험, 그리고 15Hz구속시험결과 계산한 회로정수를 표 1에 보였다. 그리고 인버터 전원시험으로 기존의 T형 등가회로 정수를 계산한 결과를 표2에 보였다.

표 1. 공시전동기의 Γ등가회로 정수

Parameters	R_1	X_m	R_m	R_2	X_2
Computed values (Ω)	6.25	173.965	18.092	9.567	6.494

표 2. 공시전동기의 T등가회로 정수

Parameters	R_1	X_1	X_m	R_m	R_2	X_2
Computed values (Ω)	6.25	6.465	180.39	18.029	10.217	13.756

Γ형 등가회로와 T형 등가회로 그리고 표1과 표2의 회로정수를 사용하여 전압형 인버터전원에 의해 운전되는 유도전동기의 부하 변화에 따른 특성을 계산하고 공시 전동기의 실부하 시험 결과를 그림 4에 보였다. 그림 2에서 a)는 입력전류, b)는 입력전력, c)는 역률, 그리고 d)는 토오크의 특성을 보이고 있다.

이들 그림에서 보는 바와 같이 Γ형 등가회로에 의한 특성의 실측치와 계산치가 T형 등가회로보다 비교적 잘 일치하고 있다. 따라서 제안한 Γ형 등가회로 정수의 결정 방법은 인버터 전원에 의해 운전되는 유도전동기의 특성해석에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

4. 결론

인버터 전원에 의하여 구동되는 유도전동기의 Γ 형 등가회로의 결정방법을 제시하였다. 등가회로 정수는 고정자 권선 직류저항 측정, 인버터 전원에 의한 정격주파수 무부하시험, 그리고 정격의 25% 주파수 구속시험 결과를 사용하여 결정하였다. 정수 결정을 위하여 단순화한 등가회로로부터 초기치를 구하고 무부하시험과 구속시험시의 등가회로로부터 얻어진 연립방정식을 풀어 고조파 성분의 영향을 고려한 회로정수를 구하였다. 이 회로 정수를 사용하여 인버터 전원으로 구동되는 3상 농형 유도전동기의 특성을 계산하고 T형 등가회로 방법 및 실측치와 비교하여 잘 일치함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Ching-Yin Lee and Wei-Jen Lee, "Effects of Nonsinusoidal Voltage on the Operation Performance of a Three-phase Induction Motor," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 2, pp. 193-202, 1999, June.
- [2] Tadao Fujinaki and Osamu Miyashita, "Method of Calculating The Characteristics of Squirrel-cage Induction Motor with Nonsinusoidal Voltage Source," J.I.E.E.J. Vol. 104, No. 7, pp. 401- 408, 1984, 7.
- [3] L. A. Doggett and E. R. Queer, " Induction Motor Operation with Nonsinusoidal Impressed Voltages," Transactions A.I.E.E, Vol. 48, pp. 1217, 1929, October.
- [4] G. C. Jain, " The Effect of Voltage Waveshape on the Performance of a 3-phase Induction Motor," IEEE Transactions on Power apparatus & systems, Vol. 48, pp. 561-568, 1964, June
- [5] Eugene A. Klingslirn and Howard E. Jordan, "Polyphase Induction Motor Performance and Losses on Nonsinusoidal Voltage Source," IEEE Transactions on Power apparatus & systems, Vol. PAS-87, No. 3, pp. 624-631, 1968, 3.
- [6] A. Ishizaki and K. Hirayama, "Precise Determination of Equivalent Circuit Parameters for Performance Calculation of Polyphase Induction machines," J.I.E.E.J, Vol. 87-1, No. 940, pp. 173- 180, 1967. 1.
- [7] Gordon R. Slemon, "Modelling of Induction Machines for Electric Drives," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 25, No. 6, pp.1126-1131,1989, December
- [8] 山村 昌, "交流モータ解析と制御," オーム社, pp.16-29, 1988.
- [9] A. Gastli, "Identification of Induction Motor Equivalent Circuit Parameters using the Single Phase Test," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 1, pp. 51-56 1999.3.
- [10] Hatayashi Yamada, Hiroaki Nagashima, Yukihiko Sakashita and Kouki Matsusa, "Characteristics by Inverter Source Test of Induction Motor," J.I.E.E.J, Vol. 103, No. 5, pp. 375, 1983, 5.

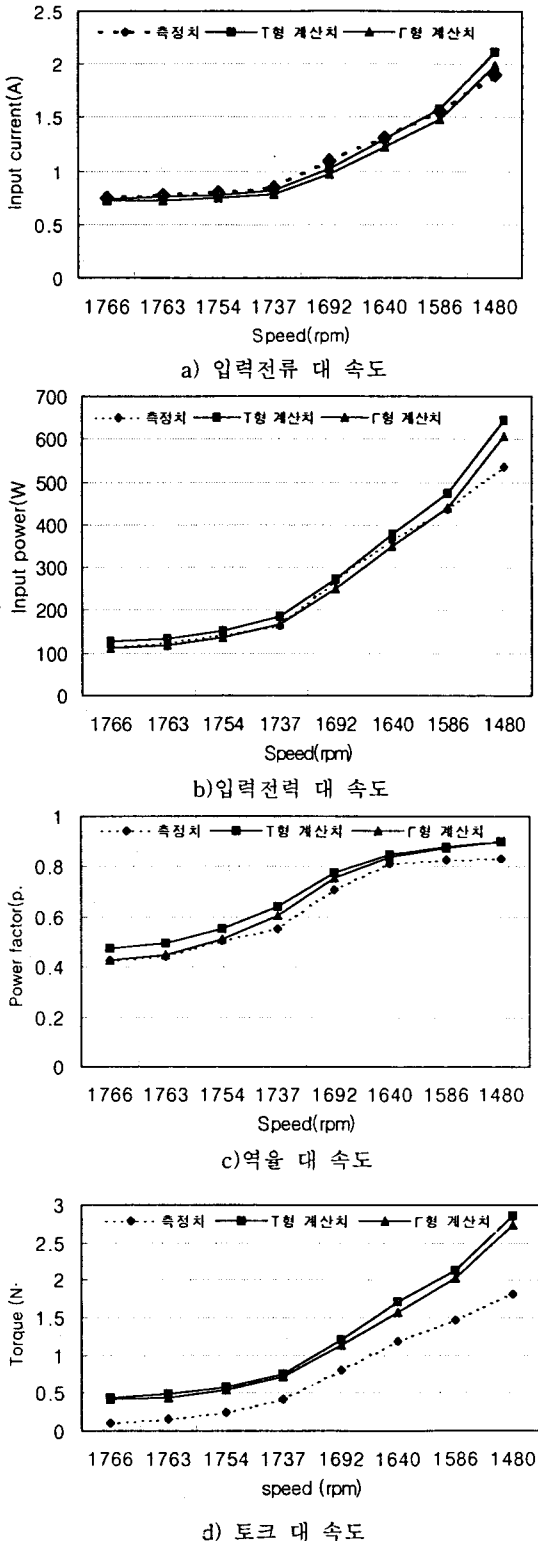


그림 2. 인버터 전원구동 유도전동기의 특성