

단상전원에 접속된 3상 유도전동기의 운전특성분석(II)

김도진* · 좌종근**

Performance analysis of three-phase induction motor connected to single-phase supply(II)

Do-Jin Kim* · Chong-Keun Jwa**

ABSTRACT

This paper analyzes the performance characteristics of a three-phase induction motor operating according to the steinmetz connection in which the capacitor is connected across the leading phase winding. The two capacitive reactances of capacitor are determined at the starting and rated speed using the condition of minimum voltage unbalance factor of steinmetz connection. The applicability of these capacitors is investigated by comparing the computed results in the whole slip range with the balanced three-phase operation. It is found that the capacitive reactance at the starting is more suitable for single phase operation.

Key Words : Three-phase induction motor, Steinmetz connection, Capacitance, Single-phase operation

1. 서론

대칭 3상 유도전동기는 대칭전압으로 운전하는 것이 원칙이나 단상전원만으로 전력이 공급되는 지역에서 단상운전이 필요한 경우가 있다. 이때 단상운전에 의하여 자체로써 기동회전력을 낼 수 없으므로 전동

기 전압 불평형을 줄이고 기동회전력을 얻기 위하여 상변환기로 커패시터를 사용하고 있다.

이에 대한 연구로 단상전원에 접속된 3상 유도전동기의 상변환기로 하나의 커패시터를 사용한 기동특성의 해석적 분석방법[1]과 도식적 분석방법[2]이 보고 되었고 과도특성을 순시치 대칭좌표법으로 해석하는 방법[3]도 제시되고 있다. 또한, 전압불평형률이 0이 되는 슬립과 커패시터를 구하는 방법[4]과 기동시와 운전시 최적리액턴스에 의한 운전 성능의 예측방법[5]도 발표되었다. 스타인메츠 결선에서 커패시터의 용량성리액턴스 결정[6]과 결선종류에 따른 권선전류 분석[7]도 검토되었고 Y결선 개방상에 커패시터가 접속[8]된 경우의 운전특성도 분석되었

* 제주대학교 대학원 전기전자공학과
Dept. of Electrical & Electronic Eng. Graduate school of Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 전기전자공학부, 첨단기술연구소
Faculty of Electrical & Electronic Eng. Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. Adv. Tech.

다.

그러나, 3상 유도전동기를 하나의 상변환기를 사용하여 단상운전 하는 경우 특정속도에서 전압불평형률이 최소가 되는 조건을 이용하여 구한 용량성리액턴스들에 의한 운전특성의 비교는 되어있지 않다.

본 연구에서는 Murthy 등[3]이 제안한 용량성 리액턴스의 결정방법으로 기동시와 정격속도시의 용량성리액턴스를 사용하여 스타인메츠결선 전동기의 전슬립범위에 대한 운전특성을 비교하고자 한다.

II. 해석이론

△결선 3상 유도전동기를 운전할 때 상변환기로 하나의 커패시터를 전원이 인가된 권선에 대하여 앞선위상의 권선에 접속된 스타인메츠결선을 Fig. 1에 보인다.

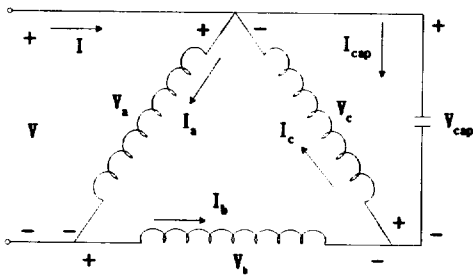


Fig. 1 Steinmetz connection for three-phase induction motor

여기서 V 는 단상 공급전압, I 는 입력전류, V_a , V_b , V_c 는 상전압, I_a , I_b , I_c 는 상전류, 그리고 V_{cap} , I_{cap} 은 각각 커패시터의 전압, 전류이다.

이 회로에 대하여 회로방정식을 세우면

$$V = V_a \quad (1)$$

$$V_{cap} = -V_{cap} = Z_{cap} I_{cap} \quad (2)$$

$$I_{cap} = I_c - I_b \quad (3)$$

이 되고 여기서 $Z_c (= -jX_c)$ 는 커패시턴스의 임

피어던스이다.

이 식들을 사용하여 대칭분전압과 전류를 전력불변 대칭성분 변환행렬을 이용하여 구한다. △결선이므로 대칭분 중 영상분은 없고 정상분전압 V_p 와 역상분전압 V_n 은

$$V_p = Z_p I_p \quad (4)$$

$$V_n = Z_n I_n \quad (5)$$

이고, 여기서 Z 와 I 는 임피어던스와 전류, 첨자 p 와 n 은 정상분과 역상분을 나타낸다.

위의 식에서부터

$$V_p + V_n = \sqrt{3}V \quad (6)$$

$$\begin{aligned} [a - (a^2 - a) \frac{Z_{cap}}{Z_p}] V_p \\ + [a^2 + (a^2 - a) \frac{Z_{cap}}{Z_n}] V_n = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

이 된다. 이 식들을 V_p 와 V_n 에 대해서 풀면

$$V_p = \frac{\sqrt{3}(\frac{a^2}{a^2 - a} + \frac{Z_{cap}}{Z_n})V}{1 + \frac{Z_{cap}}{Z_p} + \frac{Z_{cap}}{Z_n}} \quad (8)$$

$$V_n = \frac{-\sqrt{3}(\frac{a}{a^2 - a} + \frac{Z_{cap}}{Z_p})V}{1 + \frac{Z_{cap}}{Z_p} + \frac{Z_{cap}}{Z_n}} \quad (9)$$

이 된다. 여기서 $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ 이다.

단상 운전시 전압불평형 정도를 줄여 운전하기 위한 커패시터의 용량성리액턴스를 특정속도에서 최소 전압 불평형률조건으로 결정한다.

전압불평형률 (VUF)은

$$VUF = \frac{|V_n|}{|V_p|} \quad (10)$$

이고, 특정속도에 대하여

$$\frac{d}{dX_c} VUF = \frac{d}{dX_c} \left(\frac{\left| \frac{a^2}{a^2-a} + \frac{Z_c}{Z_m} \right|}{\left| -\frac{a}{a^2-a} + \frac{Z_c}{Z_b} \right|} \right) = 0 \quad (11)$$

의 조건을 만족하는 X_c 를 구한다.

특정속도에서 구한 용량성리액턴스를 사용하여 전압과 전류의 불평형률을 구하여 비교하고, 회전력, 출력, 역률, 그리고 효율 등을 계산하여 운전특성을 검토한다.

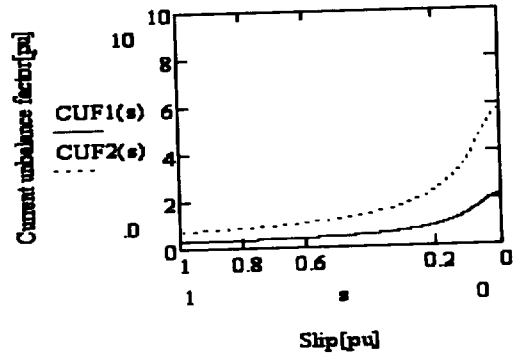
III. 분석결과 및 검토

전원이 인가된 상권선에 대하여 앞선위상의 권선에 커패시터가 접속된 스타인메츠결선의 유도전동기에 대한 운전특성을 분석하기 위하여 사용한 전동기는 Lab Volt사의 정격전압 208/120V, 정격전류 1.3A, 출력 175W, 주파수 60Hz, 회전수 1500rpm인 4극 3상 권선형 유도전동기이다. 이 전동기의 등가회로 정수는 $R_1=12.5\Omega$, $R_2=14.9\Omega$, $X_1=X_2=8.8\Omega$ 그리고 $X_m=180\Omega$ 이다.

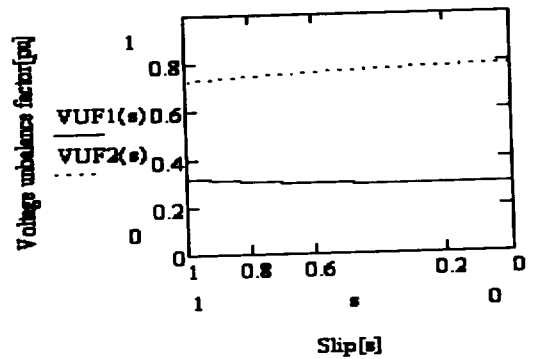
상변환기로 사용한 커패시터의 용량성리액턴스는 기동시와 정격속도에서 전압불평형률이 최소가 되는 조건에서 구한 각각 $X_{c1}=18.3225\Omega$ 와 $X_{c2}=60.5326\Omega$ 를 적용하였다.

이 전동기에 정격전압 120V가 인가되었을 때의 운전특성을 계산하여 3상 평형운전의 경우와 비교한다. 그림에서 특성을 표시하는 문자 뒤에 숫자가 없는 것은 3상 평형운전의 경우이고 숫자 1과 2는 각각 X_{c1} 과 X_{c2} 를 사용한 것이다.

Fig. 2 a)와 b)는 각각 전압불평형률과 전류불평형률의 속도에 대한 변화를 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 X_{c1} 을 사용한 경우가 X_{c2} 의 경우보다 전압, 전류 모두 불평형 정도가 적음을 알 수 있다. 또한 전압불평형률은 속도에 따른 변화가 거의 없으며 전류불평형률은 속도가 증가할 때 불평형 정도가 커짐을 알 수 있다.



a) Voltage unbalance factor



b) current unbalance factor

Fig. 2 Variation of voltage and current unbalance factor

회전력 특성을 Fig. 3에 보인다. 이때에도 X_{c1} 을 사용할 때가 X_{c2} 의 경우보다 큰 회전력을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

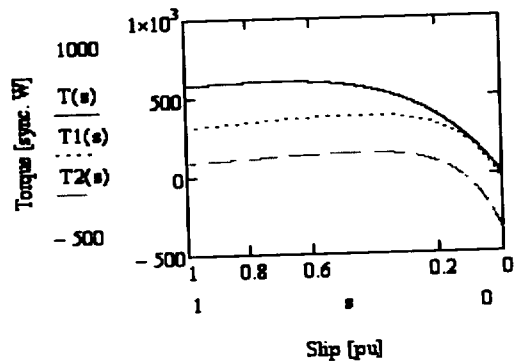


Fig. 3 Torque characteristics

속도 변화에 따른 출력특성을 Fig. 4에 나타낸다. 이 경우에도 X_{c1} 을 사용할 때가 비교적 큰 출력이 얻어짐을 알 수 있다.

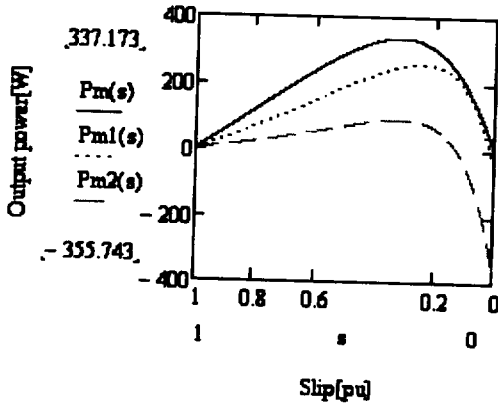


Fig. 4 output power characteristics

역률의 속도 변화 특성은 Fig. 5와 같다. X_{c1} 을 사용할 때가 비교적 역률이 좋고 속도 증가에 따라 나빠짐을 알 수 있다.

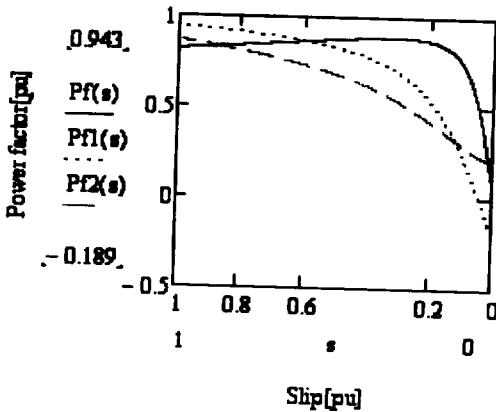


Fig. 5 Power factor characteristics

효율특성을 Fig. 6에 보인다. 효율도 X_{c1} 을 사용한 경우가 더 높음을 알 수 있다.

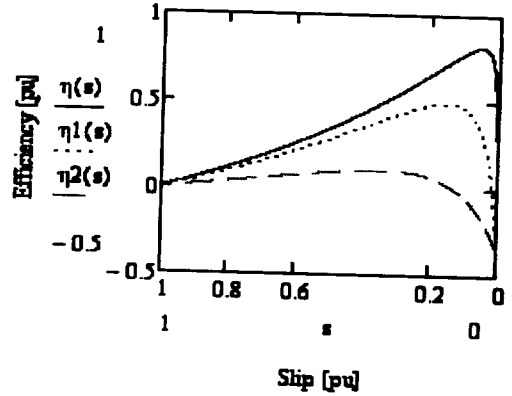


Fig. 6 efficiency characteristics

Table 1은 기동시(slip=1)와 정격속도(slip=0.1667)에서 3상평형 운전할 때, 그리고 상변환기로 X_{c1} 과 X_{c2} 를 사용하여 운전할 때의 특성값을 나타낸 것이다.

Table 1. Characteristic values at starting and rated speed

case slip	Balanced operation		Operation with X_{c1}		Operation with X_{c2}	
	1	0.1667	1	0.1667	1	0.1667
Torque [sync.w]	577.4	334.0	313.1	291.1	93.2	50.0
Output [W]	0	278.4	0	242.5	0	41.7
Output factor [pu]	0.818	0.851	0.943	0.461	0.870	0.381
Efficiency [pu]	0	0.701	0	0.494	0	0.043

이 표에서 알 수 있듯이 평형운전과 비교하여 X_{c1} 을 사용한 경우가 모든 특성에서 우수함을 알 수 있으므로 단상운전시 한 개의 커패시터를 사용할 때는 기동시 전압불평형률이 최소화되는 용량성리액턴스를 사용하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

IV. 결 론

3상 유도전동기를 단상운전 할 때 하나의 상변환기로 커패시터를 전원이 인가된 상권선에 대하여 앞선 위상의 권선에 접속한 스타인메츠결선의 전동기의 운전특성을 분석하였다. 커패시터의 용량성리액턴스는 기동시와 정격속도에서 전압불평형률이 최소가 되는 조건식에서 구하고, 이들을 사용하여 전슬립 범위의 특성을 계산하여 3상 평형시 운전특성과 비교하여 적용성을 검토하였다. 그 결과 기동시의 조건을 이용한 용량성리액턴스를 사용한 경우가 모든 특성에서 비교적 양호한 특성을 얻을 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] J.E.Brown and C.S.Jha, 1959, The starting of a 3-phase induction motor connected to a single-phase supply system, IEE proc., 106, Pt.A, No.26, pp.183-190.
- [2] A.R.Daniels and B.R.pelly, 1962, A locus diagram to determine the complete starting performance of a 3-phase induction motor connected to a single-phase supply, IEE proc., 109, Pt.C, No.15, pp.244-249.
- [3] S.S.Murthy, G.J.Berg, B.Singh, C.S.Jha, and B.P.Singh, 1983, Transient analysis of a three phase induction motor with single phase supply, IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-102, No.1, pp.28-37.
- [4] S.E.M. Oliveira, 1990, Operation of three-phase induction motors connected to one-phase supply, IEEE Trans. EC, vol.5, No.4, pp.713-718.
- [5] J.H.H. Alwash, 1996 Predicting performance of three-phase induction motors connected to single-phase supplies, IEE proc. Electr. power Appl., vol.143, No.4, pp.339-344.
- [6] 김도진, 좌종근, 2006, 스타인메츠결선에서 커패시터의 결정, 첨단기술연구소 논문집, 제17권, No.2, pp57-60.
- [7] 김도진, 강상수, 좌종근, 2007, 스타인메츠결선 유도전동기에 대한 권선전류 분석, 2007년도 합동학술발표회, 학술발표논문집, 제22집.
- [8] 김도진, 좌종근, 2006, 단상전원에 접속된 3상 유도전동기의 운전특성 분석(I), 첨단기술연구소 논문집, 제17권, No.1, pp.45-51.