

단상 전원에 접속된 3상 유도전동기의 권선전류 분석

김도진*, 강상수*, 강남호*, 좌종근*
 제주대학교*

Analysis of winding currents for three phase induction motor connected to single phase supply

Do-Jin Kim*, Sang-Soo Kang*, Nam-Ho Kang*, Chong-Keun Jwa*
 Cheju National University*

Abstract - This paper analyzes the stator winding currents of a three phase induction motor which is connected to the single phase supply. Two stator configurations, Steinmetz connection and modified Steinmetz connection, are respectively employed. In each case, the phase converter reactance at starting is determined using the condition of minimum voltage unbalance factor. By using this reactance, the stator winding currents of each connection are computed and compared with the results of three phase balanced operation.

1. 서 론

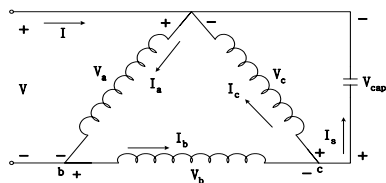
특수한 경우로 3상 유도전동기를 단상 운전할 때 3상 평형운전시와 비교하여 불충분하지만 기동토크를 얻고 운전을 계속하기 위하여 상변환기로 커패시터를 사용하고 있다.

이에 따라, 3상 유도전동기의 델타결선 스타인메츠결선이 고안되고 Brown과 Jha^[1], Murthy 등^[2], Oliveira^[3], 그리고 Alwash^[4] 등은 이 결선의 운전특성과 상변환기의 커패시턴스를 구하는 방법들을 제시하였다. 김 등^[5]은 커패시터가 전원상에 대하여 뒤진 위상의 상에 접속된 스타인메츠결선 I 과 앞선 위상의 상에 접속된 스타인메츠 결선 II에 대한 단상 운전시 권선전류를 분석하여 스타인메츠 결선 II(이하 스타인메츠결선이라 한다.)의 권선전류가 비교적 운전에 적절함을 확인하였다.

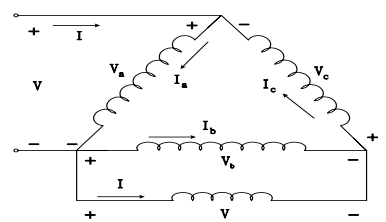
본 연구에서는 스타인메츠결선 I 의 상변환기로 사용한 커패시터 대신에 리액터를 사용한 수정된 스타인메츠결선과 스타인메츠결선에서의 권선전류를 계산하고 3상 평형운전시의 전류와 비교하여 분석하고자 한다.

2. 단상운전시 권선전류

단일 상변환기를 사용한 3상 유도전동기의 단상 운전시 결선을 그림 1에 보인다. 이 그림에서 그림 1 a)는 전원이 인가된 상에 대하여 앞선상에 커패시터가 접속된 스타인메츠결선이고, 그림 1 b)는 뒤진상에 리액터가 접속된 수정된 스타인메츠 결선이다.



a) Steinmetz connection



b) Modified Steinmetz connection

<그림 1> Steinmetz connections for three phase induction motor

그림 1 a), b)에서 회로 방정식을 세우고 전력불변 대칭성분 변환행렬을 이용하여 대칭분 전압을 구하면 다음과 같다. 그림 1 a)에서 정상분 전압 V_p 와 역상분 전압 V_n 은

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

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

이 되고, 그림 1 b)에서는 식(1)과 식(2)의 Z_{cap} 을 Z_L 로 대체하고 V_p 는 식(2)로 V_n 은 식(1)로 된다. 여기서, $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ 이다.

각 경우에 대하여 대칭분 전류 I_p 와 I_n 을 구하고 변환행렬을 이용하여 각 권선의 전류(상전류)는

$$I_a = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_p + I_n) \quad (3)$$

$$I_b = \frac{1}{\sqrt{3}}(a^2 I_p + a I_n) \quad (4)$$

$$I_c = \frac{1}{\sqrt{3}}(a I_p + a^2 I_n) \quad (5)$$

와 같이 구할 수 있다.

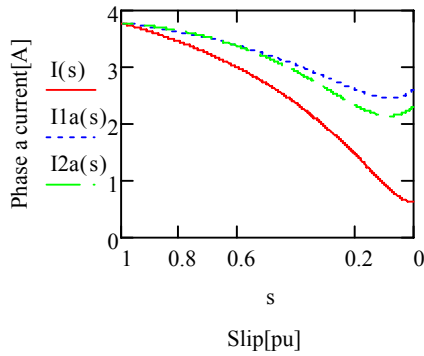
각 결선에서 $Z_{cap} = -jx_c$ 이고 $Z_L = jx_L$ 이며 이 값들을 기동시 전압불평형률이 최소가 되는 조건에서 구한 값을 사용하여 분석한다.

3. 분석결과 및 검토

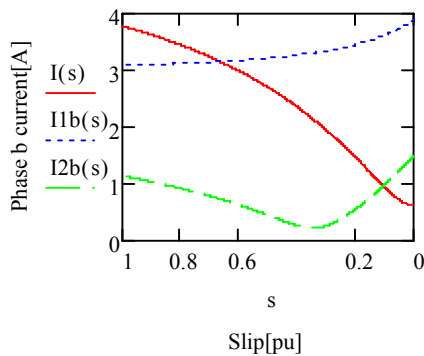
단일 상변환기를 사용한 3상 유도전동기의 단상 운전시 권선전류를 분석하기 위하여 사용한 전동기는 Lab Volt사의 정격전압 208/120[V], 상전류 1.3[A], 출력 175[W], 주파수 60[Hz], 회전수 1500[rpm]인 4극의 3상 권선형 유도전동기이다. 이 전동기의 등가회로 정수는 $R_1 = 12.5[\Omega]$, $R_2 = 14.9[\Omega]$, $X_1 = X_2 = 8.8[\Omega]$, 그리고 $X_m = 180[\Omega]$ 이다.

상변환기의 리액턴스는 기동시 전압불평형률이 최소가 되는 조건을 이용하여 구한다. 스타인메츠결선에서의 용량성 리액턴스와 수정된 스타인메츠결선에서의 유도성 리액턴스는 초기 추측 값을 모두 10[Ω]으로 계산한 결과 모두 18.3215[Ω](후호만 다름)이 얻어졌다.

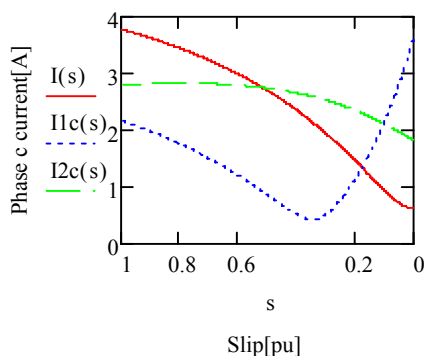
각 결선에서의 권선전류(상전류)와 입력전류의 속도에 따른 변화를 그림 2와 그림 3에 보인다. 그림에서 문자뒤의 숫자 1은 스타인메츠결선, 2는 수정된 스타인메츠결선, 그리고 숫자가 없는 것은 3상 평형운전시의 값을 의미한다. 입력전류의 경우 첨자 s는 3상 평형운전시의 값이다.



a) phase a



b) phase b



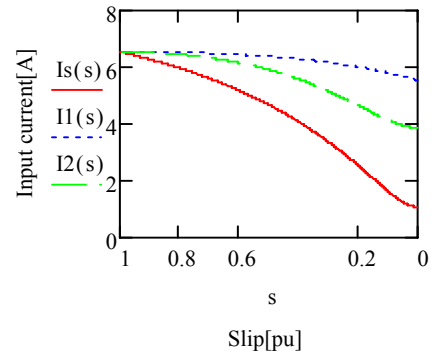
c) phase c

<그림 2> Phase current vs Slip

그림 2 a)는 a상 권선전류의 변화로 기동시는 모두 평형운전시와 같은 3.7815[A]로 같고 정격속도에서 평형운전시 1.2953[A], 스타인메츠결선에서 2.5526[A], 수정된 스타인메츠결선에서 2.2538[A]이고, 슬립 0.5이하에서 수정된 스타인메츠결선이 스타인메츠결선보다 전류가 적게 흐르고 있다.

그림 2 b)는 b상 권선전류 변화로 스타인메츠결선에서 기동시와 정격속도에서 각각 3.0856[A]와 3.5013[A]이며 수정된 스타인메츠결선에서 각각 1.1409[A]와 0.6846[A]로 전 슬립 범위에서 수정된 스타인메츠결선이 전류가 적게 흐른다.

그림 2 c)는 c상 권선전류 변화로 스타인메츠결선에서 기동시와 정격속도에서 각각 2.1777[A]와 1.4318[A]이며 수정된 스타인메츠결선에서 각각 2.7930[A]와 2.2778[A]로 슬립이 약 0.1까지는 스타인메츠결선의 전류가 적고 슬립 0.1에서 0까지는 수정된 스타인메츠결선에서의 전류가 적다.



<그림 3> Input current vs Slip

그림 3에서 입력전류의 변화는 기동시 평형운전시와 같은 6.5497[A]로 같고, 정격속도에서 평형운전, 스타인메츠결선, 그리고 수정된 스타인메츠결선의 경우 각각 2.2434[A], 5.9582[A], 4.4796[A]이며 전 슬립 범위에서 수정된 스타인메츠결선에서 적게 흐른다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이 스타인메츠결선의 권선전류는 c상 권선을 제외한 a상과 b상에서 수정된 스타인메츠결선의 전류보다 운전 슬립범위에서 많고, 입력전류도 많이 흐를 수 있다. 따라서 평형운전시보다 단상 운전시 전류의 증가로 동손이 증가할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

3상 유도기가 단상전원에 의하여 운전하는 단일 상변환기에 의한 스타인메츠결선에서의 권선전류를 분석하였다. 전원이 접속된 상에 대하여 앞선 위상의 상에 커패시터가 접속된 스타인메츠결선과 뒤진 위상의 상에 리액터가 접속된 수정된 스타인메츠결선의 전류를 3상 평형운전시의 전류를 기준으로 비교하여 분석 하였다. 분석결과 스타인메츠결선의 권선전류는 c상을 제외한 a상과 b상에서 수정된 스타인메츠결선의 전류보다 운전 슬립범위에서 많이 흐를 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.E.Brown and C.S.Jha, 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, 1959.
- [2] S.S.Murthy, G.J.Berg, B.Singh, C.S.Jha, and B.P.Singh, Transient analysis of a three phase induction motor with single phase supply, IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-102, No.1, pp.28-37, 1983.
- [3] S.E.M.Oliveira, Operation of three-phase induction motors connected to one-phase supply, IEEE Trans. EC, Vol.5, No.4, pp.713-718, 1990.
- [4] J.H.H.Alwash, Predicting performance of three-phase supplies, IEE proc. Electr. Power Appl., Vol.143, No.4, pp.339-344, 1996.
- [5] 김도진, 강상수, 좌종근, 스타인메츠결선 유도전동기에 대한 권선전류 분석, 전기학회 제주지부 합동학술발표회, 학술발표회논문집, 제 22집, pp.54-57, 2007.