2003년도 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집 (2003.10.30-11.1)

비대칭 전압불평형에 의한 유도전동기의 동작특성 해석

김종겸, 이은웅, 정종호
원주대학, 충남대학, 충남대학

Analysis on the Operation Characteristics of induction motor by asymmetric voltage unbalance

Kim Jong-Gyeum, Lee Eun-Woong, Jeong Jong-Ho
WonJu college, ChungNam Univ, ChungNam Univ

Abstract - This paper describes a detailed performance of induction motor with asymmetric voltage unbalance generated at the customer distribution system. The simulation results show that the change of current and torque, with the increase of unbalance factor, are more larger and has an important effect on load system.

1. 서 론

전력품질은 전원공급자와 수용가 부하기기에 좌우된다. 수용가의 부하는 단상 및 3상 부하 그리고 선형 및 비선형 부하를 동시에 사용하기 때문에 운전조건에 따라 전력품질에 큰 영향을 미칠 수 있다. 특히 수용가의 간선 및 분기선에 연결된 부하는 거의 평형에 가깝게 설계하지만, 운전 및 설비 증설 등에 따라 불평형이 높아질 경우 기기에는 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

1[%]이하의 전압불평형은 기기의 운전에 큰 영향을 미치지 않지만 이 범위를 초과하는 전압불평형은 유도전동기의 특성에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 특히 약간의 전압불평형은 몇 배에 해당하는 전류불평형을 초래하여 유도전동기의 고정자와 회전자에 큰 손실로 작용하여 출력저하로 이어질 수 있다[1].

본 논문에서는 전력품질에서 많이 발생할 수 있는 비대칭 전압불평형에 따른 3상 유도전동기의 특성을 해석하고자 한다.

2.전압불평형과 유도전동기의 동작특성

2.1 전압불평형의 정의

전압불평형의 원인은 3상 송전 및 배전 시스템 라인, 단상부하, 선간 부하 및 불평형 3상 부하의 불균형 임피던스를 포함하고 있다. 평형의 3상 부하가 불평형인 전원에 연결될 때 부하에 의해 유입된 전류 또한 불평형이 된다.

전압불평형에 의한 영향을 해석하기 위해서는 불평형율에 대한 비율산정이 필요하다. 전압 불평형율(Voltage Unbalance Factor)은 식 (1)과 같이 정상분(V_1)에 대해 역상분(V_2)의 비율로서 정의한다.

$$VUF = \frac{V_2}{V_1} \times 100[\%] \quad (1)$$

2.2 유도전동기의 동작특성

전력시스템의 과도현상을 해석하기 위해 개발된 전자계과도해석 프로그램인 EMTP는 비선형 부하를 포함한 시스템 전체를 해석할 수 있다[2]. 전자계과도해석 프로그램에서 회전 기기는 동기기, 직류기 및 유도기를 취급할 수 있는 12개의 서브루틴(UM)을 가지고 있다[2-4]. 본 연구에서는 유도전동기의 동작특성을 해석하기 위해서 동기적으로 회전하는 기준 프레임의 d-q 축 이론을 적용하는 농형 회전자 Universal Machine Model을 사용하였다.

유도전동기의 기본동작이론에서 기동 또는 구속 조건시 슬립이 높아 임피던스는 슬립에 영향을 받아 낮지만, 낮은 슬립에서는 역으로 매우 높다. 따라서 역상분에 대한 정상분 임피던스는 다음과 같다.

$$\frac{Z_1}{Z_2} \equiv \frac{I_{start}}{I_{running}} \quad (2)$$

정상분 전류 $I_1 = V_1/Z_1$ 와 역상분 전류 $I_2 = V_2/Z_2$ 를 다음과 같이 전류성분으로 표현할 수 있다.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_2}{V_1} \times \frac{I_{start}}{I_{running}} \quad (3)$$

식 (3)에서 전압불평형이 5[%]이고 구속회전자 전류가 정격전류의 6배가 될 경우 전동기 전류는 30[%]로 매우 높아지고, 온도상승은 50[%]까지 증가할 수 있어 전압불평형은 5[%]이하로 유지할 것을 권고하고 있다[1].

3. 특성해석 및 분석

해석모델로 사용한 유도전동기의 사양은 표 1 과 같다. 전력품질의 변화에 따른 전동기의 특성해석을 위해서 그림 1 에서와 같이 UM 모델을 사용하였다.

표 1 샘플 유도전동기 사양

parameter	220[V], 4p, 3HP 60㎐, squirrel,Y-connected
stator resistance, R_s	0.435[Ω]
rotor resistance, R_r	0.816[Ω]
stator leakage inductance, L_{sl}	0.002[mH]
rotor leakage inductance, L_{rl}	0.002[mH]
mutual inductance, L_m	0.0693[mH]
Inertia moment, J	0.089[㎏·㎡]
Friction coefficient, B	0.0089[Nm·%]

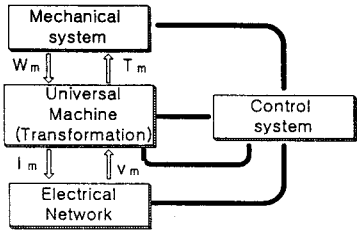


그림 1 UM 인터페이스 변수 개략도

불평형의 비율은 각 상전압의 크기와 위상각에 따라 달라지므로 평형(balance), 전압의 크기차이에 따른 불평형(3ph-uv), 크기와 위상각의 차이에 따른 비대칭(3ph-asym)으로 가능하지만 본 해석에서는 전압불평형의 비율을 표 2 와 같이 비대칭만을 고려한 것으로서 전압은 상전압으로 표현하였다.

표 2 비대칭 전압 불평형율의 비교

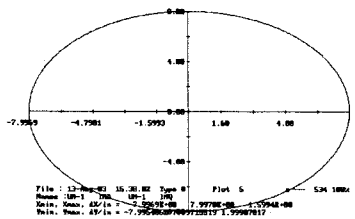
구분	V_a	V_b	V_c	Unbalance ratio[%]
balanced	127.0∠0°	127.0∠240°	127.0∠120°	0
3ph-asym1	125.0∠2°	118.0∠241°	120.1∠118°	1
3ph-asym3	114∠2°	117∠241°	121.0∠118°	3
3ph-asym5	113∠2°	118∠241°	130.8∠118°	5

3.1 3상 비대칭 불평형시 운전특성

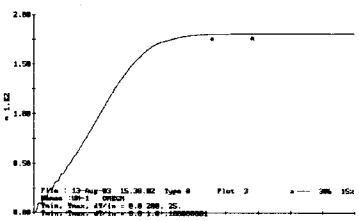
같은 전압 크기와 120°위상차를 가질 3상 전원이 부하에는 가장 적합한 전원시스템이지만, 조건에 따라 전압의 크기와 위상차가 발생된다. 이 경우에 부하기기의 동작특성 해석을 위해 3상 비대칭 불평형시 전압불평형을 표 2 에서와 같이 1, 2 및 5[%]의 조건으로 변경하였을 경우 유도전동기의 특성변화는 다음과 같다.

(1) 완전 평형시

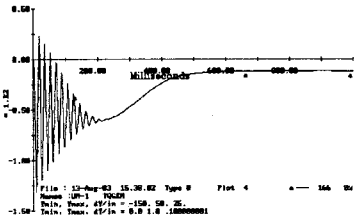
3상 전원이 평형이 되는 조건하에서 유도전동기의 동작특성을 나타낸 것은 그림 2 와 같다.



(a) d, q 축 전류



(b) 각속도

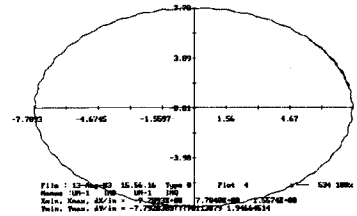


(c) 토크특성곡선

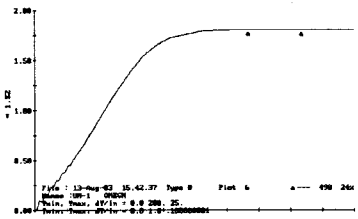
그림 2 평형시 운전특성곡선

평형된 전압으로 전동기를 운전할 경우 d, q축 전류의 파형은 역상분이 존재하지 않아 거의 원형에 가깝고, 토크의 특성곡선으로서 토크 맥동 성분이 거의 없는 일정한 패턴을 유지하고 있다.

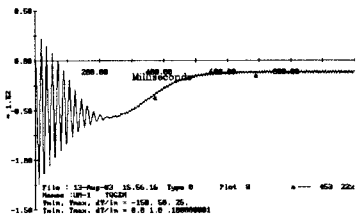
(2) 비대칭 1[%] 전압불평형일 경우



(a) d, q 축 전류



(b) 각속도



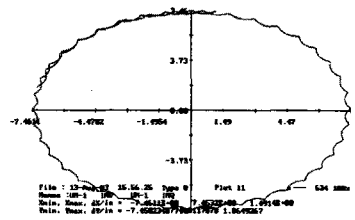
(c) 토크특성곡선

그림 3 비대칭 1[%] 불평형시 운전특성곡선

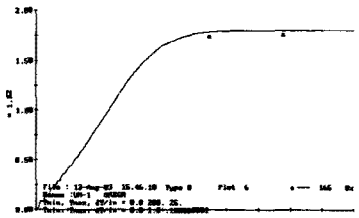
1[%]의 비대칭 전압불평형으로 전동기를 운전할 경우 자화 및 토크성분의 전류 파형을 나타낸 그림 3(a)에서는 약간의 리플성분 형태를 가지므로 역상분이 존재함을 알 수 있다. 각속도에서는 거의 차이를 나타내지 않지만, 토크는 1[%]불평형과 거의 같은 형태의 맥동 성분이 존재

함을 알 수 있다.

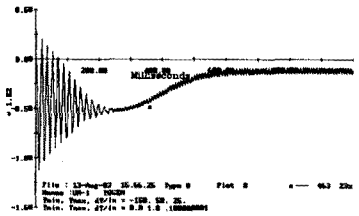
(3) 비대칭 3[%] 전압불평형일 경우



(a) d, q 축 전류



(b) 각속도

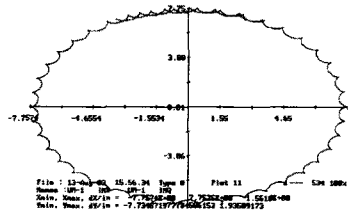


(c) 토크특성곡선

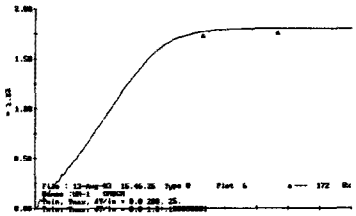
그림 4 비대칭 3[%] 불평형시 운전특성곡선

3[%]의 비대칭 전압불평형으로 전동기를 운전할 경우 자화 및 토크성분의 전류 파형을 나타낸 그림 4(b)에서는 리플성분 형태를 가지므로 역상분이 다소 높게 존재함을 알 수 있다. 각속도에서는 거의 차이를 나타내지 않지만, 토크는 3[%]불평형과 거의 같은 형태의 맥동 성분이 존재함을 알 수 있다.

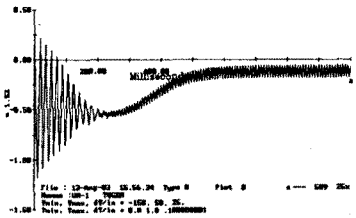
(4) 비대칭 5[%] 전압불평형일 경우



(a) d, q 축 전류



(b) 각속도



(c) 토크특성곡선

그림 5 비대칭 5[%] 불평형시 운전특성곡선

5[%]의 비대칭 전압불평형으로 전동기를 운전할 경우 자화 및 토크성분의 전류 파형을 나타낸 그림 5(b)에서는 1, 3[%] 불평형에 비해 큰 리플성분 가지므로 역상분이 많이 존재함을 알 수 있다. 각속도에서는 거의 차이를 나타내지 않지만, 토크는 5[%]불평형과 거의 같은 형태의 맥동 성분이 존재함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 전압불평형의 기본적인 내용의 전개와 전압불평형율에 대한 조건별 파라미터의 변경으로 불평형율을 소개하였으며, 산업현장에서 많은 전력을 소비하고 있는 전동력설비에 적용하여 불평형율에 따른 동작특성을 해석하였다.

불평형율은 정상분에 대한 역상분의 비율로 역상분이 존재할 경우 전동기의 경우 역방향 토크의 발생으로 출력저하로 이어질 수 있음을 d, q 축 전류의 변화로 확인할 수 있었다. 불평형율의 증가에 따라 각속도의 변화는 정격상태에서는 거의 일정하지만, 불평형율이 낮을수록 기동에서 정상시까지 빠르게 도달함을 알 수 있었다. 불평형율이 높아질 경우에 각속도는 약간 줄어들면서 미소변동이 존재하는 것을 확인하였다.

평형시에 불평형이 낮은 경우에는 역상분의 크기가 별로 큰 문제가 되지 않지만, 높아질수록 토크의 특성변화는 점점 커져 맥동분이 증가함을 확인할 수 있었다..

[참 고 문 헌]

[1] NEMA MG-13

[2] Ned. Mohan, "Digital Simulation of Field-Oriented Control of Induction Motor Drives using EMTP", IEEE Trans on EC, vol.3, no.3, pp.667-673, Sep 1988.

[3] H. K. Lauw, W.S. Meyer, "Universal Machine Modelling for the Representation of Rotating Electric Machinery in an Electromagnetic Transient Program", IEEE Trans on PAS, vol.101, no.6, pp.1342-1351, Jun 1982.

[4] 김종겸, 이은웅, "전자계 과도해석 프로그램을 이용한 가변속 구동 시스템의 특성해석", 전기학회 논문지, 제 47권, 8호, pp.25-31, 1998. 8