

창립
40주년학술대회
논문 87-A-20-6

비대칭철심구조를 갖는 단상유도전동기의 동작특성설계

장기찬,* 유수오, 황영문
 부산대학교

A Study on Performance Design of Single-phase Induction Motor with Non-symmetric Cores

Kichan JANG,* Suho YU, Youngmoon HWANG
 Pusan University

Abstract - This paper is studied on the improvement of an efficiency and power factor for the single-phase induction motor with non-symmetrical cores. Since the motor construction having non-symmetrical core has the effect of reluctance torque and the rearrangement of revolving field, if core and winding design were optimized, the simple and economical permanent-capacitor-motor will be design. The most significant design variables are the degree of dissymmetry, the location of windings, and the turn-ratio between the main and auxiliary winding.

신뢰성을 크게 좌우한다.

단상유도전동기의 동작특성설계는 보통 보조권선의 여자리액턴스의 조정에 의하여 행하여 지는데, 기동특성과 운전특성을 동시에 좋게 할 수는 없다. 이는 특성상으로 그 적정치가 회전속도에 따라 각각 다르기 때문이다. 즉, 기동보상용 커패시터로 조정되는 여자리액턴스를 기동시에 적정하게 하면, 정상운전상태에서는 오히려 소음 및 진동을 유발하여 전동기효율을 저하시킨다. 그리하여 기동시 속도가 정격속도의 75%인 점에서 보조권선을 분리하는 방식이 이때까지 일반화되어 왔다.

1. 서론

동력변환기구에서 가장 많이 이용되고 있는 것은 단상유도전동기이다. 주로 분수마력전동기인 단상유도전동기는 가정용전기기기의 보급에 따라, 그 수요가 급격히 증가추세에 있고 용량면에서 대용량화되고 있다. 그리하여 1/2마력이하의 것만이 이용되던 것이 1/2마력 이상 1.5마력까지의 용량에도 이용되고 있다.

한편 특성으로도 고효율, 고역율 및 신뢰성이 높은 전동기구조의 수요가 늘어남에 따라 무점점 고품질의 단상유도전동기에 대한 개발연구가 활발히 진행되고 있다.

단상유도전동기는 특성상으로 기동보상장치가 필요하다. 기동보상장치의 구조에 따라, split-phase type, Capacitor-start type, Capacitor-start/running type 및 Permanent-capacitor type 으로 대별된다. 제작가격면으로 볼때, 철심, 권선, 기계적구조 및 기동보상장치가 거의 동일하게 구성되나, 그중 기동보상장치의 구조구성비율이 가장 높다. 또한 기동보상장치는 제품의

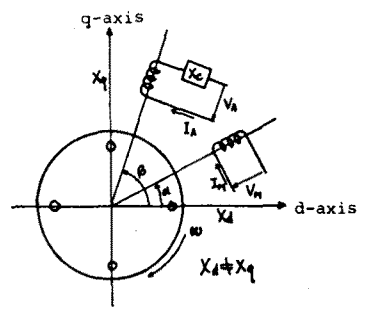


Fig. 1, Schematic arrangement of single phase induction motor with non-symmetric cores.

이상과 같은 동작기능을 개선하고자 1965년이래 비대칭전동기의 개발연구가 꾸준히 계속되어 왔는데, 이들은 고정자권선을 비대칭화하는 방법과 고정자철심을 비대칭화하는 방법이다. 본 연구에서는 이러한 두 방법을 함께 채택하여 신뢰성면에서 가장 좋은 Permanent-capacitor type에서 기동도모크 개선과 정상운전시의 효율 및 역율개선을 위한 동작특성설계를 해석하고자 한다.

비대칭 철심구조를 갖인 단상유도전동기의 동작 특성 설계

2. Cross-field theory 에 의한 동작특성 해석

2-1. 특성방정식

고정자철심을 비대칭으로 한 전동기에서의 특성 해석은, 철심에 대한 자와리액턴스를 직축과 횡축으로 나누어 해석한다. 특성해석을 위한 고정자철심구조와 권선배치는 Fig.1과 같다. 여기서

(1) 철심구조에서는, 직축은 자와리액턴스가 가장 큰 방향으로 하고, 횡축은 직축에 대하여 전기각으로 90° 위상각을 갖는 방향으로 한다. 이때 공극에서의 자와리액턴스 분포는 각 축에 대하여 정현파분포를 갖는 두 성분이 중첩이 된 형태이다. 이러한 방법으로는 slot 와 teeth 의 크기 및 방향, 공극의 크기, 철심의 두께 등을 조정하여 구성한다. Fig.2는 Crazy core 라는 별칭을 가진 비대칭철심구조의 한 예이다.

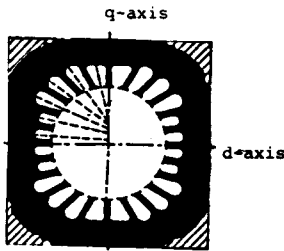


Fig. 2. Structure of non-symmetric core

(2) 권선배치는 철심의 직축에 대하여 갖는 권선축각을 주권선은 α , 보조권선은 β 으로 한다. 이때 권선분포는 정현파분포로 한다.

주권선과 보조권선을 갖는 분산영전동기에서, 동작특성에 크게 영향을 미치는 전동기정수는 (가) 보조권선/주권선의 권선비, a (나) X_d/X_q 의 비, (다) 주권선배치각, α (라) 보조권선커패시턴스, X_c 와 (마) 외권차치양치등이다. 이들을 주된 함수로 한 전압방정식을 표시하면 다음과 같다.

$$V_M = [R_M + j(X_M) + X_{Mq}/a + X_d \cos^2 \alpha + X_q \sin^2 \alpha] I_M + jX_{Mq} \cos(\beta - \alpha) I_A + jX_d \cos \alpha I_{rd} + jX_q \sin \alpha I_{rq}$$

$$V_A = jX_{Mq}/a \cos(\beta - \alpha) I_M + [R_A/a + j(X_M)/a + X_{Mq} + X_d \cos^2 \beta + X_q \sin^2 \beta] a - jX_c/a I_M + jX_d \cos \beta I_{rd} + jX_q \sin \beta I_{rq}$$

$$0 = -(1-s)X_d \sin \alpha + jX_q \cos \alpha I_M + [(1-s)X_d \sin \beta + jX_q \cos \beta] I_A + (R_2 + j(X_{2d} + X_c)) I_{rd} - (1-s)(X_{2q} + X_c) I_{rq}$$

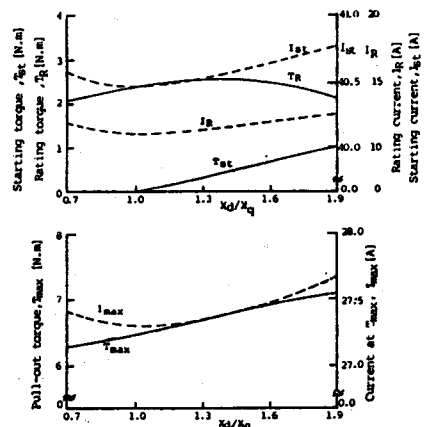
$$0 = [(1-s)X_d \cos \alpha + jX_q \sin \alpha] I_M + [(1-s)X_d \cos \beta + jX_q \sin \beta] I_A + (1-s)(X_{2d} + X_c) I_{rd} + (R_2 + j(X_{2q} + X_c)) I_{rq}$$

이상과 같은 전압방정식에서 다음과 같은 동작특성치를 산정하여 분석한후, 전동기의 적정동작특성설계를 행한다. 여기서 자와리액턴스 X_d, X_q 는 전동기출력에 관계되는 값으로, 단상유도전동기에서는 대략 30~110 amp 인 값을 갖는다. 여기서는 소오전동기출력에 대한 자와리액턴스의 기준설계치는 X_q 를 기준으로 한다. 그리고 a 와 X_c 는 상관관계가 있으므로 이들의 적정설계치를 먼저 산정한 후 비대칭구조의 동작특성설계를 행한다.

- (가) 기동토크, T_{st}
- (나) 기동전류, I_{st}
- (다) 최대토크, T_{max}
- (라) 최대토크시의 슬립, S_{max}
- (마) 정격토크, T_R
- (바) 정격토크시의 슬립, S_R
- (사) 정격토크시의 효율, η_R
- (아) 정격토크시의 역률, $p.f_R$

2-2. 철심구조의 비대칭모과

고정자권선을 주권선만으로 한 순단상권선전동기에서 철심구조를 비대칭으로 하였을 때의 동작특성의 모과를 살펴보면, Fig.3와 같다.



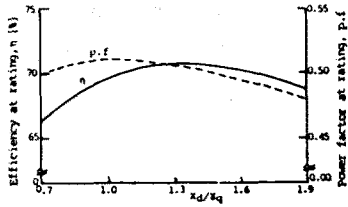


Fig. 3, Performance available v.s X_d/X_q at $\alpha = 45^\circ$

Fig.3 에서 $X_d/X_q=1$ 인 경우는 순단상유도전동기의 조건이다. 비대칭철심구조로 하면 X_d/X_q 의 값은 비대칭정도에 따라 커지는데 이때 Starting torque 는 증가하여 보조권선이 없어도 기동될 수 있게된다. 이는 reluctance 토오크의 효과가 나타남을 의미한다. 반면에 기동전류와 reluctance 토오크 및 정격토오크는 저아하며, 정상운전시의 효율 및 역률 또한 저아한다.

비대칭철심구조에서는 권선축각을 갖게 할때 그 효과를 나타낸다. 여기서는 $\alpha = 45^\circ$ 로 하였을때 기동토오크가 가장 커진다. 이는 리라턴스 토오크의 발생을 의미한다. 즉, 일반적으로 리라턴스 토오크는 기본주마수의 2배각의 함수이다.

3. Permanent-capacitor type 전동기의 동작특성설계

Permanent-capacitor type 전동기는 기동보상장치 를 갖지않으므로 각각면에서 유리하며, 고장율이 적어 신뢰성도 높다.

일반적으로 대칭철심을 갖는 단상유도전동기에서는, 기동시의 기동토오크발생을 위하여 보조권선에 기동용 커패시터를 삽입하는데, 기동시와 정상운전시 그 값을 달리 한다. 이는 정상운전의 효율과 역률을 계산하기 위한 조치이다. 그러므로, 원심분리기등의 기동보상장치에 의하여 보조권선을 분리시켜야 하므로 기동보상장치가 필요하다.

여기에 고정자철심구조를 비대칭화하면, 기동토오크와 정상운전특성을 동시에 개선할 수 있게된다. Fig. 4 는 먼저 보조권선수/주권선수의 비, $\alpha=1$ 에서의 적정커패시턴스 치에서 X_d/X_q 를 조정하였을 때의 동작특성을 나타낸다. 정상운전효율 및 역률은 X_d/X_q 의 값이 커지면 좋아지는 경향을 갖는다. 그러나 이 값이 1.5이상 이 되면 토오크의 값이 떨어진다. 이러한 특성은 2-2의 순단상의 경우와

상관된 연상관계, 비대칭철심에서는 동작점의 면적을 갖는 역률이 있을 때 알 수 있다. 권선비는 $\alpha = .8 \sim 1.15$ 가 적정치고, 커패시터용량은 자체의 리라턴스 토오크의 효과 가 있으므로 대칭철심보다 적은 값을 갖는다.

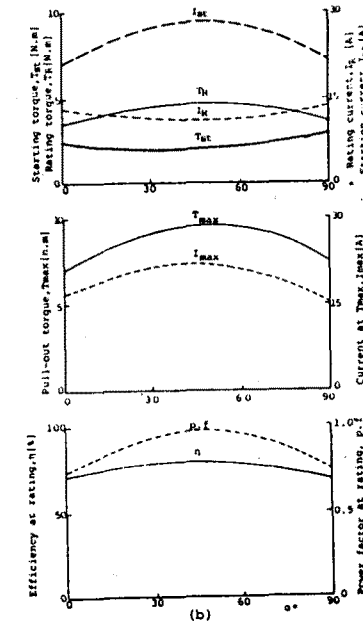
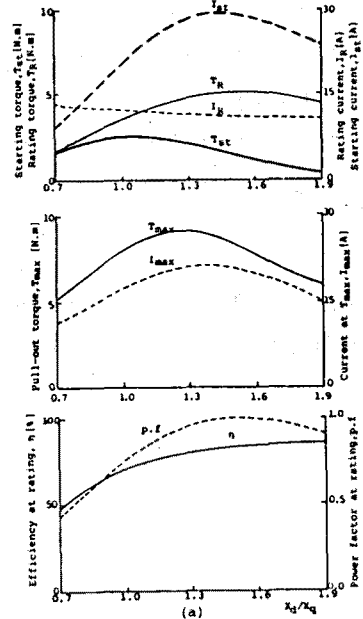


Fig. 4, Performance availables v.s X_d/X_q and for Permanent-capacitor induction motor. 200V, 1.5HP

Fig.4 에서의 특성을 보면, 기동용으로 사용하는 보조권선의 캐패시터는 보조권선수/주권선수 비와의 조합으로 적절한 기동토크값을 선정할 수, 운전상태에서도 분리하지 않고 돌 때, $x_d/x_q = 1.3 \sim 1.5$ 범위에서는 α 각을 $30^\circ \sim 60^\circ$ 범위로 하면 효율 및 역율이 개선됨을 알 수 있다. 이는 기동보상용 캐패시터를 기동시와 운전시를 달리하는 전동시스템보다 보조장치가 없어 가격면이나 신뢰성에 있어서 유리함을 알 수 있다. 다만, 이를 위하여는 앞서의 조정정수 설계치를 특성해석에 의하여 정밀하게 해석한 후 설계를 하여야 한다.

4. 결 론

최근, 소형전동기 개발에 있어서, 고효율 및 고역율 전동기의 개발에 있어서 비대칭구조의 단상유도전동기는

가격면에서도 유리하여 실용화가 요망된다. 이를 위하여는 전동기 내부정수의 상관관계를 해석하면 보다 좋은 결과를 얻을 것으로 생각된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] DORAN D. Hershberger, JOHN L. Oldenkamp, "A Single-Phase Induction Motor with One Distributed Winding," IEEE Trans. on PAS., Vol. PAS-87, NO. 10, p.1862-1866, OCTOBER 1968
- [2] DENIS O'killy, "Equivalent Circuits for Single-Phase Induction and Hysteresis Motors," IEEE Trans. on PAS., Vol. PAS-90, NO.1, p.297-288, JANUARY/FEBRUARY 1971
- [3] P. C. Krause, "Simulation of Unsymmetrical 2-Phase Induction Machines," IEEE Trans. on PAS., Vol. PAS-84, NO. 11, p.1025-1037, NOVEMBER 1965