SF_6 가스절연 Recloser용 PMA에 대한 특성해석에 관한 연구

김한균[1], 장정원[1], 이창환[1], 서왕벽[1], 한성진[2]
일진전기(주) 전기기술연구소[1], 동아대학교 전기공학과[2]

A Study on the Analysis of Characteristics of Permanent Magnetic Actuator for SF_6 Gas Insulated Recloser

Kim Han Kyun[1], Jang Jeong Won[1], Lee Chang Hwan[1], Suh Wang Byuck[1], Hahn Sung Chin[2]
Electric Technology Laboratory, ILJIN Electric Co., Ltd[1], Dept. of Elec. Eng. Dong-A Univ[2]

Abstract - SF_6 가스절연 Recloser는 선로에 일시적인 과전류가 발생하면 개방 후 자동 재투입 하면서 선로의 정상적인 운전상태를 회복하고, 영구 고장 시에는 정해진 Sequence에 따라 개방, 투입을 반복한 후 개방완료 상태에 이르게 하는 보호기기이며, 조작부는 주로 Solenoid Actuator 방식을 채택해왔었다. 그러나 Solenoid Actuator 방식은 구조가 복잡하고 부품수가 많은 단점이 있어 최근에는 사용 부품수를 획기적으로 감소 시키고 조작 신뢰성을 증대시킨 Magnetic Actuator 방식을 채택하여 사용하는 경향을 보이고 있다. 이 Magnetic Actuator 방식은 구조가 간단하고 부품수가 적어 높은 신뢰성을 확보할 수 있고 유지 보수가 거의 필요하지 않는 장점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 SF_6 가스절연 Recloser의 조작부에 Magnetic Actuator 방식(이하 PMA (Permanent Magnetic Actuator))을 채용 하였으며, 이를 적용하기위한 입력전원 및 투입, 개방 코일을 패러미터로 하여 PMA의 동적특성을 실험하였으며, 이 실험 자료에 근거하여 27[kV] SF_6 가스절연 Recloser의 PMA 조작부를 설계 및 제작하였다.

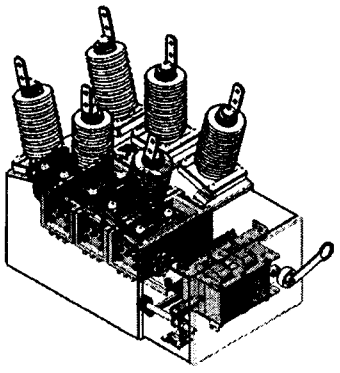
1. 서 론

고전압과 고전류가 흐르는 송배전 계통에서 과전류, 단락 등에 의한 사고 발생시에 그 파급효과를 최소화하기 위하여 개폐기기인 차단기(Circuit Breaker)를 사용한다. 이러한 차단기 종류의 하나인 Recloser는 선로에 일시적인 과전류가 발생하면 개방 후 자동 재투입으로 선로의 정상적인 운전상태를 회복하며, 영구 고장시에는 정해진 Sequence에 따라 개방, 투입을 반복한 후 개방완료 상태에 이르게 하는 보호기기이다.

이전의 Recloser 조작부는 Solenoid actuator 방식을 대표적으로 사용하고 있었다. 이 방식은 구조가 복잡하고 부품수가 많이 들어가 공간을 많이 필요로 하고, 래치 방법을 사용하고 있기 때문에 장기 사용 시 마모에 의한 오동작을 불러일으킬 수 있는 단점이 있는 반면에 Magnet를 이용한 Magnetic actuator 방식은 우선, 구조적으로 단순화를 시켜 부품수를 감소하였으며, 마모 및 유지 보수가 거의 없는 큰 장점을 가지고 있다. 그리고 Solenoid 방식보다 제어가 가능한 전기적인 파리미터들이 존재하기 때문에 차단 동작시 제어 스위칭 기법을 활용함으로써 차단기의 접점 마모 및 변형을 방지할 수 있다. 또한, 적은 소비전류에 의해서도 투입시 압점력을 유지할 수 있는 투입 유지력(holding force)이 크다는 장점도 갖고 있다

본 논문에서는 SF_6 가스절연 Recloser의 조작부를 PMA 방식을 채택하기 위하여 입력전원 및 투입, 개방코일을 패러미터로 하여 PMA의 동적 특성을 실험하고 이 실험 자료에 근거하여 27[kV] SF_6 가스절연 Recloser의 조작부인 PMA를 설계 및 제작 하였다.

2. 본 론



<그림 1> SF_6 가스절연 Recloser 외형도

본 논문에서 27[kV], 12.5[kA], 630[A] 의 SF_6 가스절연 Recloser에 적용할 PMA의 차단방식은 하나의 PMA를 이용하여 3개의 VI(Vacuum Interrupter)를 동시에 차단할 수 있는 3상 일괄 방식을 적용 하였으며 차단부 VI 접점간의 접촉 전자 반발력을 충분히 견딜 수 있고 압전 스프링과 레버비 등을 고려하여 투입 유지력을 450[kgf]으로 선정하였고, Plunger의 이동거리는 Breaker Shaft 레버비등을 고려하여 30[mm]로 결정하였다. 그림 1은 PMA를 메커니즘으로 설계한 SF_6 가스절연 Recloser를 나타내고 있다.

2.1 지배방정식

전기-기계적 결합 문제의 해석에서 주요 요소는 인가된 힘과 이동부분의 변위뿐만 아니라 공급전압에 의해 주어진 여자전류가 있다.

코일권선에 흐르는 전압은 몇몇 물리적 현상으로 나타나는데 다음의 방정식으로 설명할 수 있다.

전기회로 방정식:

$$V = R \cdot I + \sum_{i=1}^{N} \frac{d\Phi}{dt} \tag{1}$$

여기에서, V은 전압원, Φ_i는 코일의 쇄교자속, R은 코일의 저항, N은 턴수 I는 적용된 전류를 나타내고 있다.

자기회로 방정식:

자속밀도 B는 맥스웰 방정식에 의해 얻어진다.

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \tag{2}$$

$$\vec{J} = \nabla \times \vec{H} \tag{3}$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0}\vec{B} - \vec{M} \tag{4}$$

2차원 모델에 대해 (2)-(4)를 간략화하면 다음과 같다.

$$\nabla \times \vec{H} = \nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0}\vec{B} - \vec{M} \right) = \vec{J}$$

$$\nabla \times \frac{1}{\mu_0}(\nabla \times \vec{A}) = \vec{J_0} + \vec{J_m} \tag{5}$$

여기에서 $\vec{J_0}$는 전원전류, $\vec{J_m}$은 자화전류를 나타낸다.

운동 방정식:

PMA 동적특성은 코어내부에 존재하는 Plunger의 운동방정식을 풀음으로써 해석될 수 있다.

$$m \cdot \frac{dv}{dt} + B \cdot v = F_{mag} - F_f \tag{6}$$

여기에서 m은 이동부의 질량, v는 이동부의 속도, B는 마찰계수, F_f는 중력과 스프링을 포함한 전체적인 반발력이며, F_{mag}는 전자기력이다.

위 식(6)에서 Plunger의 전자기력 F_{mag}을 구하기 위해

$$f = \frac{B^2}{2\mu_0} \tag{7}$$

따라서 자성체인 Plunger가 받는 전체적인 힘은

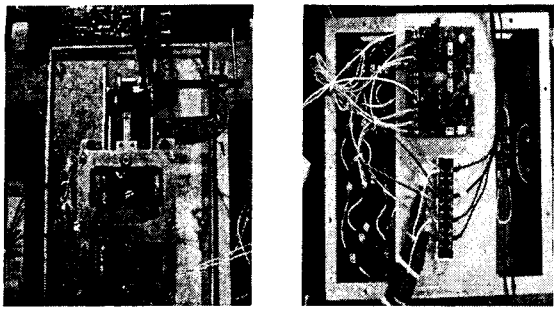
$$F_{mag} = \int_s f\,ds = \int_v f\,dv \tag{8}$$

여기서 s, v는 Plunger의 면적과 체적이다.

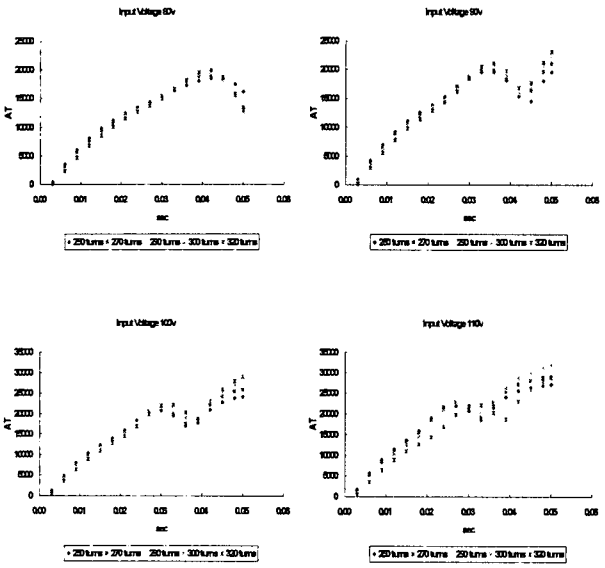
2.2 특성시험

그림 2와 같이 특성 시험용 지그를 제작하여 입력전압 및 코일 턴수를 패러미터로 하여 PMA 특성 시험을 수행하였다. 시험결과는 그림 3과 같고 입력전압 및 코일 턴수를 증가시키면서 기자력[mmf]을 측정하였다. 특성시험 결과 입력전압 및 코일 턴수에 비례하여 기자력이 증가하였다. 특성시험 결과, 콘덴서 용량 및 설계 요구조건을 고려하여 입력전압 80[V], 코일 턴

수 320[Turn]을 27[kV] SF_6 가스절연 Recloser 용 PMA 정격 사양으로 선정하였다.



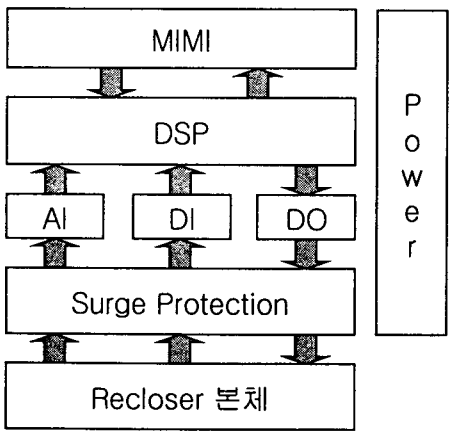
<그림 2> PMA 특성 시험



<그림 3> 설계 패러미터에 대한 결과

2.3 SF_6 가스절연 Recloser 제어 시스템

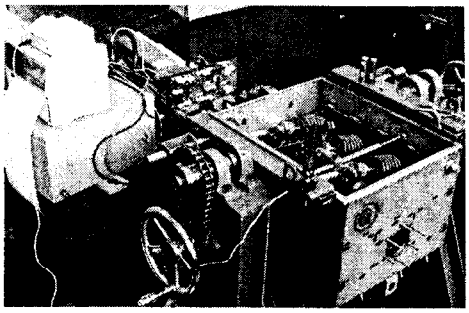
SF_6 가스절연 Recloser 제어부는 다음의 그림 4와 같이 구성되어 있다. SF_6 가스절연 Recloser 본체로부터 Surge Protection부를 경유하여 전기적 신호가 제어부와 연결되어 있으며, 신호의 특성에 따라 아날로그 입력부(AI), 디지털 입력부(DI), 디지털 출력부(DO) 등으로 구분된다. 또한, 제어부에서는 제어함에서 사용하는 전원을 생산하여 각 모듈로 공급되며, DSP부는 입력신호의 연산/처리, 제어출력 신호의 생성, 외부기기와의 통신 등의 기능을 수행하고 MMI부는 LCD와 LED로 상태정보를 표시하고, 버튼 조작을 입력받는 기능을 수행한다.



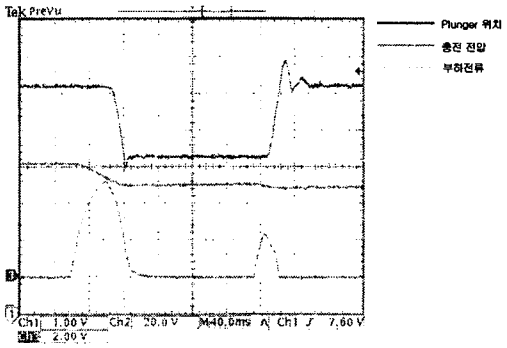
<그림 4> Recloser 제어 시스템 구성도

2.4 SF_6 가스절연 Recloser 제작 및 Sequence 특성시험

그림 5는 특성시험 결과에 의해 제작된 PMA 메커니즘을 사용한 27[kV] SF_6 가스절연 Recloser를 나타내고 있다. 그림 5와 같이 VI 특성(제조사 사양)을 만족하기 위해 연동시험을 수행하였다. 그림 6은 연동시험 결과이며 VI 특성에 부합하는 양호한 결과를 나타내고 있다.



<그림 5> SF_6 가스절연 Recloser 제작



<그림 6> SF_6 가스절연 Recloser Sequence 특성 곡선

3. 결 론

본 논문에서는 SF_6 가스절연 Recloser의 구동 메커니즘으로 사용되어온 Solenoid 방식을 PMA 방식으로 대체하기 위해 입력전원 및 투입, 개방 Coil을 패러미터로 하여 PMA의 동적특성 실험을 수행하였다. 이 실험 데이타에 근거하여 설계인자를 선정하고, 27[kV] SF_6 가스절연 Recloser의 최적의 성능을 만족하는 메커니즘을 설계하고 제작을 수행하였다.

이와 같은 개발을 통하여, 향후 영구자석과 전자석의 설계 이론을 도입하고 유한요소법을 기반으로 하는 전자장 해석 프로그램을 이용하여 자장 형성, 자력의 힘과 이동 및 상쇄 현상 등을 확인하여 설계를 구현함으로 부품 비용, 소요 시간 등의 최적화를 실현 하고 실험값과 특성 해석 값을 비교 분석함으로서 다양한 전력기기 시스템에서 요구되는 조건을 만족하는 최적의 PMA를 설계하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] Lin Xin, Wu Yi, Gao Huijun, "Development of permanent magnetic actuator with intelligent controlling system", Electrical Machines and System, ICEMS 2001. Proceedings of the Fifth International Conference on, Vol. 1, pp. 201-204, 2001

[2] Z. Li, L. A. Renforth, "Computer Aided Optimal Design of Magnetic Actuator for Auto Recloser Application", IEE Trends in Distribution Switchgear, Conference Publication No.450, pp80-85, 1998.

[3] B A R Mckean, Dr C Reuber, "MAGNETS & VACUUM-THE PERFECT MATCH", IEE Trends in Distribution Switchgear, Conference Publication No.459, pp73-79, 1998.

[4] 최명준, 석복열 "자기 액츄에이터를 이용한 진공차단기 구동 메카니즘 개발", Trans. KIEE. Vol.52B, No.8, AUG. 2003

[5] 권병희, 안길영, 오일성 " 복합 소호 방식 RMU 구동 메커니즘 해석 및 설계", 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집 pp729-733, 2003.