

유한 요소법을 이용한 속응여자방식 초전도 발전기의 정수 선정

김 정 철 , 한 성 진
 동아대학교 .

Parameter Estimation of Quick Response Excitation type
 Superconducting Synchronous Generator by F.E.M

J. C. Kim , S. C. Hahn
 Dept. of Elec. Eng. Dong-A Univ.

Abstract - This paper deals with finite element analysis of 2GVA superconducting generator which has slitted electrothermal shield in d-axis. Open emf voltage is calculated and three phase fault is considered to predict the generator parameters by F.E.M. Results show that quick response excitation could be applied to superconducting generator with slitted electrothermal shield.

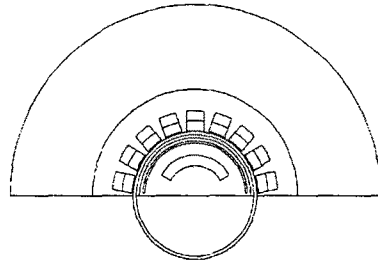


그림. 1 해석모델

1. 서 론

초전도 발전기의 과도 안정도는 현용 발전기와 비교하여 거의 비슷한 수준에 있기 때문에 이에 대한 대책의 하나로 계자 전압의 신속한 변화를 가능하게 하여 발전기의 과도 안정도 향상을 도모할 수 있는 속응여자 방식이 요구된다. 지금까지 연구된 대부분의 초전도 발전기는 이중 차폐막 구조를 사용하고 있다. 그러나 이중 구조의 차폐막은 계자 전류의 변화에 의한 자속의 변동분도 차폐되기 때문에 열만 차폐를 하고 전자 차폐는 하지 않는 구조의 발전기가 연구되고 있다. 본 논문에서는 d축에 틸새를 낸 열전자 차폐막을 갖는 초전도 교류 발전기의 전자 차폐 특성을 해석하여 틸새가 없는 차폐막을 가지는 발전기의 과도 전자 차폐특성과 비교한다. [1] 유한요소법을 이용하여 3상 개방전압을 구하였으며, 전기자 단자쪽에 3상 단락사고를 가정하였다. 이 때 계자 전류의 변화를 해석하였으며, 3상 전기자 권선의 단락 전류를 구하였다. 이 들 결과를 이용하여 발전기의 과도 리액턴스(X_d') 및 차과도 리액턴스(X_d'') 등의 발전기 정수를 구하고 시간에 따른 동기 리액턴스의 변화를 구한다. 이를 비교하여 d축에 틸새를 낸 초전도 발전기의 과도 차폐특성이 우수하여 속응여자가 가능함을 보이고자 한다[2].

2. 본 론

2.1 해석 모델과 제원

본 연구에서 다룬 초전도 발전기는 용량이 2 GVA인데, 제원을 표1에 나타내었다. 계자권선의 가까이에 열전자 차폐막을 가지고 있는데 본 연구에서는 직축에 틸새를 낸 열전자 차폐막을 갖는 구조와 완전한 원통 구조를 갖는 두가지 발전기를 다루었다.

표 1. 발전기의 제원

계자	정격전류	8000[A]
	권선수	680[turn]
	내/외반경	277/377[mm]
열전자차폐	전도도	5.8E8[1/Ω·m]
	내/외반경	490/510[mm]
댐퍼차폐	전도도	5.8E7[1/Ω·m]
	내/외반경	540/570[mm]
전기자	권선수	28[turn/상]
	내/외반경	600/800[mm]
외부차폐	내/외반경	1000/1800[mm]

2.2 유기 기전력

본 연구에서 다룬 초전도 발전기의 전기자 권선은 집중 권선으로 가정하였고 이 때, 유기기전력은

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 4.44fN\Phi[V] \quad (1)$$

이다. 삼상 전기자 권선의 무부하 유기기전력은 그림. 2와 같다.

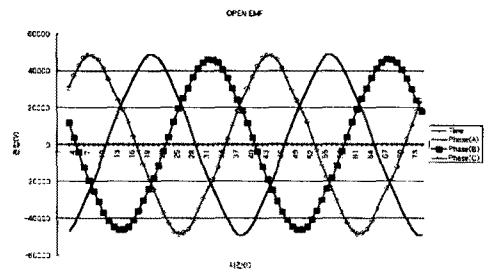


그림. 2 유기 기전력

2.3 자계 해석

초전도 발전기의 과도 상태 해석에 사용된 공식은 Maxwell 방정식에 의해 크게 두 가지 영역으로 나누어 지배 방정식은 세운다[3].
먼저 Maxwell 방정식을 표현하면

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_s + \vec{J}_e \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t \quad (4)$$

\vec{B} (Wb/m²)는 자속밀도 \vec{E} (V/m)는 전장의 세기
 \vec{J}_s (A/m²)는 전류 전류 \vec{J}_e (A/m²)는 유기된 전류
 \vec{H} (A/m)는 자장의 세기

위의 식 (2)에 의해 정의될 수 있는 자기 벡터 포텐셜 \vec{A} (W/m)로서 (4)식의 전전장의 세기를 표현하면

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \nabla \phi \quad (5)$$

와 같이 된다. 여기서 ϕ 는 전계 스칼라 포텐셜이다. 이들에 의해 식 (2)는 자기투자율을 μ (H/m)으로 하고 \vec{A} 에 대해서는 Coulomb 게이지를 적용하면

$$-\frac{1}{\mu} \nabla^2 \vec{A} = \vec{J}_s - \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \nabla \phi \quad (6)$$

와 같이 표현된다.

발전기가 축방향으로 길다고 가정하면 z축에 따른 장의 변화가 없으므로 2차원장 식 (6)은

$$-\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) A + \sigma \frac{\partial A}{\partial t} + \sigma \frac{\partial \phi}{\partial z} = J_s \quad (7)$$

와 같이 되며 $\frac{\partial \phi}{\partial z}$ 의 값은 하나의 도체내에서는 하나의 값만이 존재하므로 지배 방정식은

$$-\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) A + \sigma \frac{\partial A}{\partial t} = J_s \quad (8)$$

와 같이 표현된다.

2.4 과도해석 이론

동기 발전기 삼상 돌발 단락사고는 계통에서 매우 드문 것이지만, 전류의 성질을 이해하는데 필수적이다. 유한요소 해석에 의해서 초전도 발전기의 단락전류를 구하기 위해서는 단락 전류의 파형으로부터 동기 리액턴스, 과도 리액턴스, 시정수 등과 같은 발전기의 정수를 도출할 수 있다.

2.4.1 삼상 돌발 단락

3상 동기가 정격전압 및 정격 주파수에서 무부하 운전중 3상의 각 단자를 갑자기 단락한 경우에는 정상상태의 수 내지 수 십배의 과도 전류가 흐르다가 점차로

감소하여 수 초후에 일정한 크기의 영구 단락 전류에 도달하게 된다. 3상 돌발 단락 전류의 형태는 그림4와 같다. 전기자 권선의 저항을 무시하면 전기자 누설 리액턴스 x_l 뿐이므로, 초기에는 대단히 큰 과도 전류가 흐른다. 그러나 수 초후에는 전기자 반작용에 의해 과도 전류가 급격히 감소하기 시작하여 동기 리액턴스 x_s 에 의해 정해지는 영구 단락 전류가 된다[4]. 이때 과도 전류 i_a 는

$$i_a = \frac{E_0}{x_d} (\cos \alpha \cdot e^{-t/T_a}) + \left[\left(\frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_d'} \right) e^{-t/T_d'} + \left(\frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_d''} \right) e^{-t/T_d''} + \frac{1}{x_d} \right] E_0 \cos(\omega t - \alpha)$$

x_d : 동기 리액턴스 T_d : 과도 시정수

x_d' : 과도 리액턴스 T_d' : 차 과도 시정수

x_d'' : 차 과도 리액턴스 T_d'' : 전기자 시정수

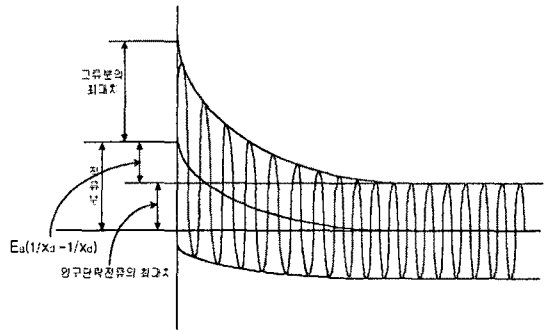


그림. 3 3상 돌발 단락 전류

위의 이론을 바탕으로 유한요소 해석을 하면 아래 그림과 같다. 그림 4는 삼상 단락 직후 발전기의 자속분포를 나타낸다

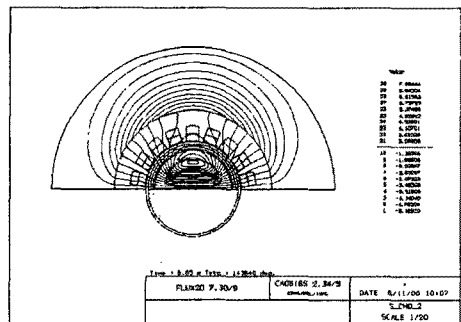


그림. 4 3상 단락직후의 자속분포

그림 5는 삼상 단락후 0.31333초 후의 자속분포를 나타낸다. 계자 전류가 상승함을 보여준다.

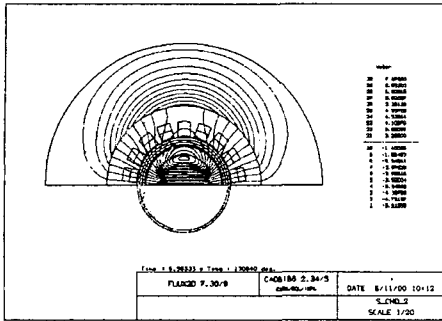


그림 5 3상 단락후 0.31333초뒤의 자속분포

그림 6은 삼상 단락후이 A상 전류의 변화를 나타낸 것이다.

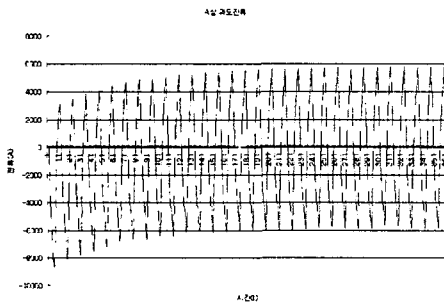


그림 6. A상 단락전류

그림 7은 삼상 단락후이 B상 전류의 변화를 나타낸 것이다.

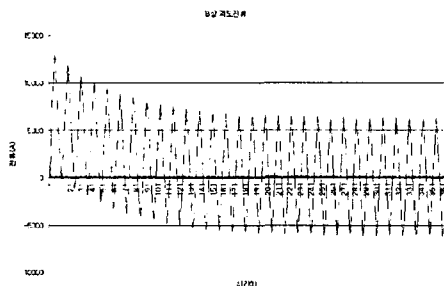


그림 7. B상 단락전류

그림 8은 두 발전기의 계자 전류의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 슬러티 있는 발전기의 계자 전류의 기울기가 더 급함을 알 수 있다.

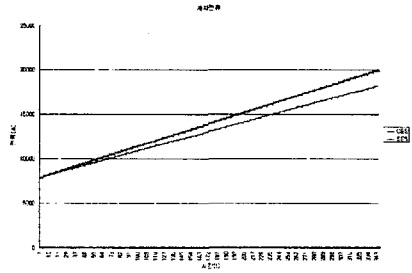


그림 8. 계자전류의 변화

표.2. 발전기 정수

parameter	value(p.u)
X_d	0.27
X_d'	0.21
X_d''	0.13

3. 결 론

본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 초전도발전기의 삼상 단락 사고를 가정하여 발전기의 정수를 산정하였다. 그리고 이상에서 보았듯이 삼상 단락 사고시 슬러티 있는 차폐막을 가진 발전기는 완전 차폐막을 가진 발전기보다 계자 전류의 상승 기울기는 급했다. 즉 이는 직 축 과도 특성이 개선되어 속응 여자가 가능함을 의미한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한성진, "초전도 교류발전기에서 틸새를 낸 열전자 차폐막의 전자 차폐특성", 서울 대학교, 1992
- [2] 한성진, "틈새를 낸 열전자 차폐막을 갖는 초전도 교류 발전기의 과도특성 해석" 한국 전력 공사, 1993
- [3] 김성명, "유한요소법을 이용한 초전도 발전기의 정수산정", 동아대학교, 1998
- [4] A.E. FITZGERALD, CHARLES KINGSLEY, JR., "Electric Machinery-The Dynamics and Statics of Electromechanical Energy Conversion"