

초전도 교류발전기의 설계

* 0 * * ** * ***
 한송엽, 차귀수, 한동철, 신효철, 한성진, 배동진, 원영진
 * 0 ** ***
 서울대학교, 순천향대학, 동아대학교, 한국전력공사.

Design of Superconducting AC Generator

* 0 * * ** * ***
 Songyop Hahn, Guesoo Cha, Dongchul Han, Hyochul sin, Sungchin Hahn, Dongjin Bae, Youngjin Won
 * 0 ** ***
 S.N.U., SCH Univ., Dongah Univ., KEPCO

ABSTRACT

This paper deals with the design method of Superconducting AC Generator(SCG). The establishment of design principle and design procedure of SCG are included in this study. Electric characteristics of SCG, such as synchronous reactance and subtransient reactance, are specified first as constraints and the size of SCG is calculated. A 20 KVA with double-shield single-rotor is chosen for case study.

그림 1은 이와 같은 초전도 교류발전기의 단면도이고 주요구조는 다음과 같다.

1. 제자권선을 초전도선으로 한다.
2. 공심구조로 한다.
3. 덤퍼와 열전자차폐층을 설치한다.
4. 외부차폐층을 설치한다.

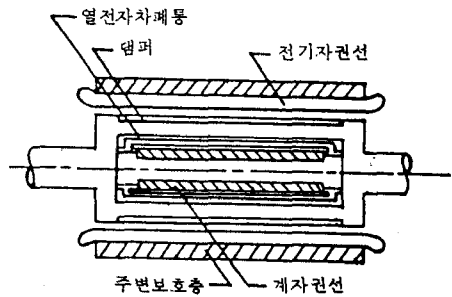


그림 1. 초전도 교류발전기의 단면도

1. 서론

전력수요가 증가함에 따라 대단위용량 발전기가 점차 늘어가고 있다. 그러나 냉각기술, 재질의 강도 및 절연등의 문제로 발전기의 단위용량증가에 한계점이 보이고 있다. 발전기의 용량이 대략 2000 MVA를 넘으면 회전자의 직경이 커지고 축의 길이가 길게 되어 제작이 불가능하다. 또한 대용량화됨에 따라 동기리액턴스가 크게되어 계통의 안정도가 감소하고 전기자전류가 너무 크게되는 등 여러가지 어려움이 따른다.[1]

이와같은 현상들을 근본적으로 해결하기 위해서는 현재의 발전구조 및 재료로는 불가능하다는 것이 예견되었다. 이에대한 해결방안으로 초전도체자권선을 가진 초전도발전기가 제안되었다.[2]

본 연구에서는 초전도발전기의 설계를 위해서, 설계이론을 확립하고 설계이론에 따른 설계순서를 제시한다. 우선 발전기의 정상상태특성을 결정하는 동기리액턴스와 과도특성에 중요한 영향을 미치는 차차과도리액턴스 등의 전기적인 특성을 지정한 후에 지정된 특성을 낼 수 있는 발전기를 설계하는 방법을 택했고, 발전기의 구조로는 현재 가장 많이 연구되고 있는 이중차폐형 단일회전자구조를 고려한다.

위에서 제시한 설계기법에 따라 본연구팀이 제작한 20 KVA 초전도 교류발전기를 설계하여 그 결과를 제시한다.

2. 발전기의 구조 [4]

초전도 교류발전기는 회전자의 선대, 다중원통회전자의 구성에 따라서 여러가지 형태가 발표되었으나, 제작의 용이성, 전기적 및 열전달특성 등을 고려해서 덤퍼와 열전자차폐층의 이중원통구조를 갖는 회전제자형 초전도 교류발전기를 설계대상으로 택했다.

3. 설계이론 [5]-[8]

초전도발전기는 기존의 발전기와는 상이한구조로 되어있기 때문에 설계시에는 이와 같은 점을 충분히 고려해야 한다. 발전기의 주요특성식은 다음과 같다. 발전기의 내부리액턴스 X_a

$$X_a = \frac{3\sqrt{2} \ell_a J_a (R_{a0})^{2+p} \sin \frac{\theta_a}{2} D_{1p}(x)}{4 \ell_{af} J_f (R_{fd}) \sin \theta C_{1p}(x)} \frac{1}{1-Y^{2+p}} \frac{\xi_a}{\xi_f} (\text{pu})$$

이고 발전기의 출력 P는 다음과 같다.

$$P = \frac{24}{\sqrt{2} p \pi} \omega \mu J J_f \ell_{af} R_{a0}^2 R_{fd}^2 \left(\frac{R_{a0}}{R_{fd}} \right)^p (1-Y^{2+p}) \sin \frac{\theta_a}{2} \sin \frac{\theta_f}{2} \xi_a \xi_f C_{1p}(x) [-X_a \sin \phi + \sqrt{1-X_a^2 \cos^2 \phi}]$$

토크의 두께 T_d 는

$$T_d = \frac{1}{2p} \omega_D \mu_r D_o R_o \left[1 + \left(\frac{R_o}{R_{si}} \right)^2 \right]$$

로 표시된다.

4. 설계 순서

발전기의 안정성과 과도특성에 기준을 두고 동기 리액턴스, 토크의 특성을 나타내는 X_d'' 와 T_{do}'' 그리고 열전자차폐층의 특성을 나타내는 X_d 와 T_{do} 를 정했을 때에, 설계된 발전기가 이와 같은 특성을 갖도록 발전기 각 부분의 크기를 정하는 과정은 다음과 같다.

4.1 제자전선과 전기자전선의 설계

1) 정격, 구조, 재질
발전기의 출력, 단자전압, 역률, 극수 및 주파수 등의 정격을 결정하고 권선각, 전류밀도와 접적율을 정한다.

2) E_0 , X_d , X_a

위의 1)을 이용해서 내부유기전력 E_0 와 리액턴스 X_D 와 X_A 를 구한다.

3) R_{si} , 공극

의 부차폐층의 내반경 R_{si} 와 제자전선의 외부반경 사이의 거리를 정하고 이를 이용해서 각 층의 반경을 계산한다.

4) N_{ft} , N_{at}

전기자와 제자의 치수가 결정되면 이로부터 전기자 및 제자전선의 단수를 구한다.

5) 유효길이, 내부리액턴스
발전기의 서로 다른 2가지 특성을 만족시키는 유효길이를 2가지 방식으로 구하고 설계된 발전기의 내부리액턴스를 유효길이를 이용해서 구한다.

6) 발전기의 특성확인 과정
내부유기전력을 발생시키기 위한 유효길이와 정적출력을 발생시키기 위한 유효길이와 같은지를 확인하고, 설계조건으로 지정된 내부리액턴스가 설계치와 같은지를 확인한다. 이 값들이 서로 같지 않을 때에는 특성에 영향을 주는 요소들을 변화시키면서 다시 계산한다.

4.2 토크와 열전자차폐층의 설계

1) 토크의 평균반경과 두께
설계조건으로 지정된 차라도리액턴스를 이용해서 토크의 평균반경과 두께를 계산한다.

2) 열전자차폐층의 평균반경과 두께
위와 같은 방식으로 열전자차폐층의 두께와 평균반경을 구한다.

3) 토크와 열전자차폐층의 배치
토크와 열전자차폐층의 주어진 공간내에 배치될 수 있는지를 확인하고 이것이 불가능할 때에는 리액턴스값과 시정수 값을 바꾸어서 다시 계산한다.

위와 같은 설계순서를 그림 2에 보였다.

5. 적용 사례

위에서 설명된 설계이론을 초전도교류발전기의 설계에 적용했다. 설계를 위해서 선택한 발전기의 용량은 본 연구팀이 앞으로 제작할 예정인 20 KVA로 했다. 설계결과는 표 1에 정리되어 있다.

6. 결론

초전도교류발전기는 기존의 발전기로서는 제작이 불가능한 대용량의 제작이 가능하므로 미래의 발전기로서 주목을 받고 있다.
본 연구에서는 이중차폐형 단일 회전자 구조를 갖는 초전도발전기의 설계를 위해서 설계이론을 확립했고 설계방법을 제시했다. 제시된 이론을 이용해서 20 KVA 초전도교류발전기의 설계결과를 보였다.

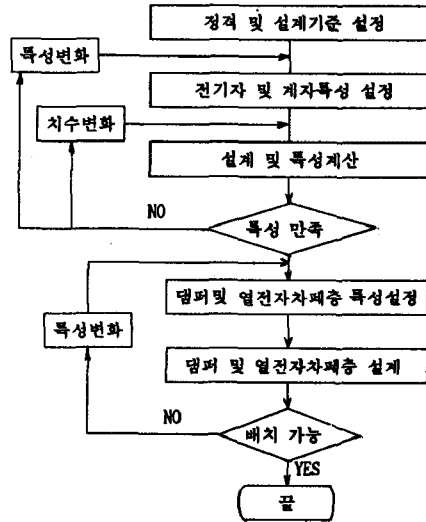


그림 2. 설계프로그램의 흐름도

표 1. 20 KVA 초전도발전기의 설계결과

| | |
|--------|---|
| 전기자 | 외반경 : 0.210 [m] 내반경 : 0.190 [m] 권선수/극 : 28 유효길이 : 0.435 [m] |
| 제자 | 외반경 : 0.110 [m] 내반경 : 0.080 [m] 권선수/극 : 854 유효길이 : 0.248 [m] |
| 토크 | 외반경 : 0.153 [m] 내반경 : 0.148 [m] 시정수 : 0.01 [m] |
| 열전자차폐층 | 외반경 : 0.130 [m] 내반경 : 0.125 [m] 시정수 : 0.1 [m] |
| 리액턴스 | X_d : 0.15 [pu] X_d' : 0.14 [pu] X_d'' : 0.12[pu] X_d''' : 0.08 [pu] |
| 시정수 | T_{do} : 63 [ms] T_{do}'' : 5 [ms] |

참고 문헌

[1] E. Spooner, "Fully Slotless Turbogenerators", Proc. IEE, Vol.120, No.12,1973, pp.1507-1518.
 [2] H.O.Lorch, "Feasibility of Turbogenerator with Superconducting Rotor and Conventional Stator", Proc. IEE, Vol.120, No.2,1973, pp.221-227
 [3] J.H.Parker and R.A.Towne, "Design of Large Superconducting Turbine Generators for Electric Utility Application", IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-98, No. 6,1979, pp.2242-2250
 [4] J.R.Bumby, Superconducting Rotating Electric Machines, Clarendon Press. Oxford,1983
 [5] J.L.Kirtley, Jr. "Basic Formulas for Air-cored Synchronous Machines", IEEE Conf. Paper 71, CP 155 -PWR, 1971

- [6] P.J.Lawrenson, T.J.E. Miller and J.M. Stephen , "Damping and Screening in the Synchronous Superconducting Generators" ,Proc. IEE, Vol. 123 No. 8,1976 , pp.787-794
- [7] A. Hughes, T.J.E. Miller, "Analasis of Fields and Inductances in Air-cored and Iron-cored Synchronous Machines" , Proc. IEE, Vol. 124 , No. 2,1977,pp.121-126
- [8] Ibid, " Comparative Design and Performance Analysis of Air-cored and Iron-cored Synchronous Machines", Proc.IEE, Vol.124, No.2.,1977, pp.127-132