

초전도 벌크 자석 회전자를 갖는 유도 발전기 특성

김성훈·한송엽
서울대학교 전기공학부

Analysis of the Induction Generator with a Superconducting Bulk Magnet Rotor

Sung-Hoon Kim · Song-Yop Hahn
Department of Electrical Engineering, Seoul National University

new28@eesri-10.snu.ac.kr

Abstract - This paper is about a modified induction generator which has a free inner-rotor. The improved induction generator utilizes a free inner-rotor that has a superconducting magnet. This kind of generator has same approach when analyzing as an ordinary induction generator, but shows a little difference when expressing inductance, and this paper presents a way to analyze the basic principles. The method suggested in the paper maybe used in designing and analyzing such the machines.

1. 서론

풍력, 조력, 소수력, 열재생시스템 및 기존의 전력시스템에 연계된 보조 전력원으로써 일정한 회전속도를 유지하기 어려운 동력원에서 전기적 에너지를 얻는 장치로서 유도발전기가 그 효율성을 인정받고 있다. 유도 발전기는 운전에 필요한 유지 보수가 간단하고 별도의 여자 시스템을 부가하지 않아도 되어 자여자로 구성이 가능하기 때문이다.

본 논문에서 제시하는 유도 발전기는 초전도 벌크 자석 회전자를 가진 자유 내측 회전자부와 구리로 만들어진 동관으로 된 외측 회전자부 그리고 고정자부로 이루어진 유도 발전기이다. 이 유도 발전기는 기존의 유도 발전기의 구조에서 벗어난 새로운 유도 발전기의 형태로 자유 내측 회전자부에 고온 초전도 벌크 자석을 사용함으로써 유도기를 발전기 용도로 사용할 때 고정자 코일에서 발생될 수 있는 역기전력을 상쇄시켜 효율이 향상되는 특징이 있다.

과거에도 이와 비슷한 자유내측 회전자에 코일을 감은 인덕터로 된 유도 발전기 형태가 제시되었었는데 이러한 구조를 가지는 기계는 자유내측 회전자에 슬릿을 만들어 코일을 고정하여야 하고, 외부 전원으로부터 전원을 공급하는 장치를 만들

어야 하는 등, 제작상의 어려움이 많으며 내부 코일의 전류를 제어하기도 어려움이 있다. 그러나 본 논문에서 제시한 것처럼 자유 내측 회전자에 고온 초전도 벌크 자석을 사용하고, 외측 회전자부에는 동관을 사용하면 그 구조가 간단하고 제어하기도 쉬운 장점이 있다.

이러한 발전기 모델은 일반 유도 발전기의 모델과 대체로 동일하게 해석이 되나 인덕턴스 표현 방법에서 다른점을 보인다. 본 논문에서는 초전도 벌크자석 회전자를 갖는 유도 발전기의 특성을 정확하게 해석하여 설계 및 제작의 기본적인 자료로 이용될 수 있도록 하고자 한다.

2. 본론

2.1 유도 발전기의 구조

본 논문에서 해석하고자 하는 유도 발전기는 LN_2 를 사용하여 냉각되는 초전도 벌크 자석을 가지는 자유 내측 회전자부와 동관으로 된 외측 회전자부, 그리고 고정자부로 이루어진다. 이러한 유도 발전기의 구조의 개략도는 Fig 1 과 같다.

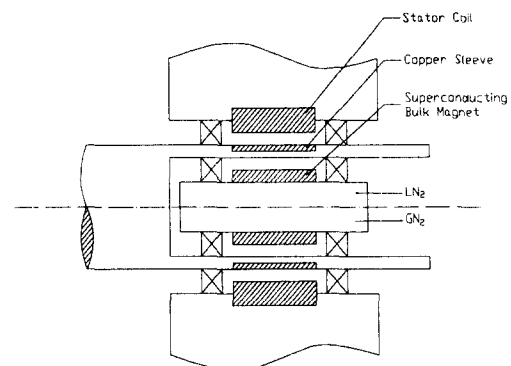


Fig.1. Schematic Drawing of the Induction Generator with Superconducting Bulk Magnet Rotor

$$\begin{aligned}\vec{\Psi}_{s1} &= \sqrt{2} \vec{\Psi}_s e^{j\omega t} \\ &= \int_s \sqrt{2} I_s e^{j(\omega t - \phi_s)} + \frac{3}{2} M_{as} \sqrt{2} I_a e^{j(\omega t + \alpha_s - \phi_s)} \\ &\quad + M_{rs} I_s e^{j(\omega t + \theta_s)}\end{aligned}\quad (8)$$

또, $\int_s = L_s - M_s$ 이고 $M_{as} = \frac{3}{2} M_{as}$ 라 놓으면, 고정자부의 쇄교자속 Ψ_s 는 식 (9), (10) 과 같이 표현된다.

$$\vec{\Psi}_s = \int_s I_s e^{-j\phi_s} + M_{as} I_a e^{j(\alpha_s - \phi_s)} + M_{rs} \frac{I_r}{\sqrt{2}} e^{j\theta_s} \quad (9)$$

$$\vec{\Psi}_s = \int_s \vec{I}_s + M_{as} \vec{I}_a + M_{rs} \vec{I}_r \quad (10)$$

보조 권선 A_1 상에 대한 쇄교자속 Ψ_{a1} 는 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\Psi_{a1} &= M_{as} \sqrt{2} I_s \sum_{k=0,1,-1} \cos(\alpha - \frac{2k\pi}{3}) \cos(\omega t - \phi_s - \frac{2k\pi}{3}) \\ &\quad + (L_a - M_a) i_{a1} + M_{ar} I_r \cos \theta\end{aligned}\quad (11)$$

그리고, 식(11)을 페이서로 나타내면 식(12)와 같이 표현된다.

$$\vec{\Psi}_{a1} = M_{as} I_s e^{j(\alpha_s - \phi_s)} + \int_a I_a e^{-j\phi_s} + M_{ar} \frac{I_r}{\sqrt{2}} e^{j\theta_s} \quad (12)$$

그러므로, 보조 권선부의 쇄교자속 Ψ_a 는 식(13) 과 같이 표현될 수 있다.

$$\vec{\Psi}_a = M_{as} \vec{I}_s + \int_a \vec{I}_a + M_{ar} \vec{I}_r \quad (13)$$

그리고, 내부 Rotor에 대한 Ψ_r 는 식(14)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\Psi_r &= M_{rs} \sqrt{2} I_s \sum_{k=0,1,-1} \cos(\alpha - \frac{2k\pi}{3}) \cos(\omega t - \phi_s - \frac{2k\pi}{3}) \\ &\quad + M_{ar} \sqrt{2} I_a \sum_{k=0,1,-1} \cos(\beta - \frac{2k\pi}{3}) \cos(\omega t - \phi_a - \frac{2k\pi}{3}) \\ &\quad + L_r I_r\end{aligned}\quad (14)$$

여기서,

$$M_{rs} = \frac{3}{\sqrt{2}} M_{rs}, \quad M_{ar} = \frac{3}{\sqrt{2}} M_{ar} \quad (15)$$

이다. 따라서, 내부 Rotor에 대한 Ψ_r 는 식(16) 과 같이 표현된다.

$$\vec{\Psi}_r = M_{rs} I_s e^{-j(\theta_s - \phi_s)} + M_{ar} I_a e^{j(\beta_s - \phi_a)} + L_r I_r \quad (16)$$

2.2.3 전압 표현식

고정자부의 전압 방정식 \vec{V}_s 는 식(17)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\vec{V}_s &= -j\omega \vec{\Psi}_s - R_s \vec{I}_s \\ \vec{V}_s &= -[R_s + j \int_s \omega] \vec{I}_s - j M_{as} \omega \vec{I}_a \\ &\quad - j M_{rs} \omega \vec{I}_r\end{aligned}\quad (17)$$

여기서,

$$\begin{aligned}\vec{E}_a &= [R_s + j \int_s \omega] \vec{I}_s \\ \vec{E}_r &= M_{as} \omega \vec{I}_a\end{aligned}\quad (18)$$

이며, $(1-s)\omega$ 로 회전하는 보조 권선의 전압 방정식 \vec{V}_a 는 식(19)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\vec{V}_a &= -js\omega \vec{\Psi}_a - R_a \vec{I}_a \\ \vec{V}_a &= -[R_a + j \int_a s\omega] \vec{I}_a - j M_{as} s\omega \vec{I}_s \\ &\quad - j M_{ar} s\omega \vec{I}_r\end{aligned}\quad (19)$$

그리고 자유내측 회전자에서의 전압 방정식 V_r 은 식(20)과 같이 표현된다.

$$V_r = R_r I_r \quad (20)$$

그리고, 자유내측 회전자에서의 토크 방정식은 식 (21)과 같이 표현된다.

$$T_{er} = P [M_{rs} I_s \sin(\theta_s + \phi_s) - M_{ar} I_a \sin(\delta_a + \delta_r - \phi_a)] I_r \quad (21)$$

여기서,

$$\delta_r = \theta_s + \frac{\pi}{2} \quad \text{과} \quad \delta_a = \alpha_s - \frac{\pi}{2}$$

P = Pair Pole
이다.

위의 식들을 이용하여 고정자부의 전압 방정식을 벡터도로 나타내면 Fig 3 과 같다.

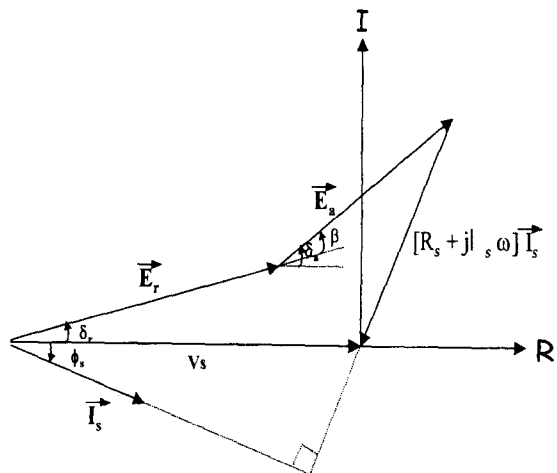


Fig 3. Vector of Stator Coil

2.3 발전기의 출력특성 흐름도

위의 식들을 이용해서 유도 발전기의 출력 특성을 알아보기 위한 프로그램 시뮬레이션 흐름도를 나타내면 Fig 4와 같다.

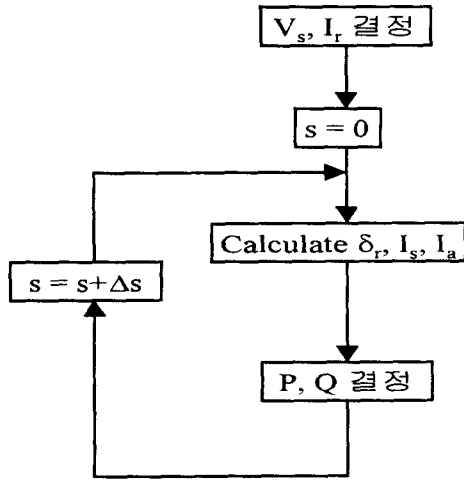


Fig.4. Flow Chart

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 유도 발전기의 결점을 보완한 고온 초전도 벌크 회전자를 가지는 새로운 형태의 유도 발전기를 제시하였고, 이러한 형태의 유도 발전기의 특성 해석을 하기 위한 초기 단계의 과정을 소개하였다. 본 논문에서 제안한 형태의 발전기를 사용하면 효율을 향상시킬 수 있으며, 기기의 구조가 간단해 지므로 제작 및 운용에 이점이 있다.

그리고 이러한 발전기는 기존의 발전기의 모델과 동일하게 모델링해서 해석을 할 수 있으나 인덕턴스 표현 형식에서만 차이를 보이고 이 인덕턴스의 값을 이용해서 고정자부의 전압, 보조 권선부의 전압, 자유 내측 회전자부의 전압 및 자유 내측 회전자 토크의 값을 얻을 수 있다. 본 논문에서 제시한 해석 방법은 유사한 형태의 발전기의 설계 및 해석에 활용될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한송엽, "초전도 교류발전기의 개발과 현황", 대한 전기학회창립 40주년 기념 학술회 논문집, pp.171-174, 1987
- [2] Abderrezak Rezzoug, "Contribution a l'etude de cryoalternateurs a trois enroulements", 1979
- [3] J.R.Bumby, "Superconducting rotating electrical machines", 1983
- [4] L.Boyer, A.Mailfert et M.Renard, "Alternateurs superconducteur's a compensation de couple", R.G.E.-Tome 83-N, pp703-706, 1974
- [5] Song Y.Hahn, Alain Mailfert, and Abderrezak Rezzoug, "Third winding concept for superconducting generators", Electric Machines and Electromechanics, 5, pp433-470, 1980
- [6] 안진우, 황영문, "권선형 유도 발전기 CVCF를 위한 2차여자 제어법에 관한 연구", 대한 전기학회 논문집, 제40권, 제7호, pp.45-48, 1991
- [7] 박민호, 정승기, 이진우, "풍력발전용 회전자 여자 시스템 권선형 유도 발전기의 역할 해석", 대한 전기학회 논문집, 제46권 9호, pp1340-1346, 1997
- [8] 하경덕, 황돈하, 박도영, 김용주, "30KVA 초전도 발전기의 정상상태 및 과도상태 전자계 해석", 대한전기학회 기기연구회 춘계학술발표, pp5-7, 1998.5