

'88 추계 학술대회
'88 - G - 6

권선형 유도 발전기 CVCF 발전을 위한
2차 여자 제어법에 관한 연구

안 전 우 김 철 우 황 영 문
부 산 대 학 교 전 기 공 학 과

A Study on the 2nd excitation method for CVCF Generation
of doubly-fed Induction Generator

Jin Woo Ahn Chul Woo Kim Young Moon Hwang
Pusan National University

Abstract

This paper derives a condition for constant voltage, constant frequency generation of doubly-fed induction generator. The condition is varied by the magnitude of output voltage, load current and its power factor, slip of the machine. Magnitude of output voltage is controlled by exciting voltage which is calculated by derived equation from operating condition. Frequency of output voltage is controlled by injecting slip frequency to the rotor which is the difference between wanted output frequency and rotor frequency.

1. 서 론

최근 에너지 문제가 심각히 대두되면서 여러 방면으로 대체 에너지 자원을 검토하고 있다. 그 중 풍력, 소수력과 같이 일정한 회전속도를 유지하기 어려운 동력원에서 전기적 에너지를 얻는 장치로 유도 발전기가 그 효용성을 인정받고 있다. 유도기의 발전기로서의 동작은 유지보수가 간단하며 별도의 여자시스템에 요구되지 않아 자립형으로 적당하지만 정전압, 정주파수가 요구되는 상용전원으로서의 조건을 만족시키기 위해서는 복잡한 제어 과정을 거쳐야 하며 아직은 신뢰성 및 실용성의 측면에서 검토의 여지가 많이 남아 있는 실정이다.

본 연구에서는 복수입출력기인 권선형 유도기의 정전압, 정주파수 발전을 위한 여자전압의 조건을 유도하였다. 이 값은 출력전압의 크기, 부하전류의 크기, 부하의 역률, 슬립에 따라 변한다. 유도발전기 출력전압

의 크기는 유도기의 운전조건에 따라 유도한 조건식에서 계산한 여자전압을 인가함으로써, 출력전압의 주파수는 원하는 출력주파수와 회전자 회전 각 주파수와의 차 값인 슬립 주파수를 인가함으로써 조정할 수 있다. 유도한 식의 타당성을 보이기 위해 전산기 시뮬레이션과 실제 시스템을 구성하여 실험을 행한다.

2. 유도 발전기의 제어원리

2-1. 교류발전기의 원리

유도기는 근본적으로 전압, 주파수 및 무효전력의 제어능력이 없다. 즉 직류기나 동기기와 달리 여자권선이 없기 때문에 여자전류를 연결된 계통에서 공급받아야 한다. 그러나, 소수력, 풍력시스템에 연결된 자립형 유도 발전기나 선박이나 항공기와 같이 독립된 시스템인 경우 여자를 위한 무효전력을 발전된 전력에서 사용해야 하므로 교환회로를 구성해야 한다.

동기 발전기는 회전자계를 발생시키기 위해서 회전자를 동기속도로 회전시키고 회전자에는 직류전원을 인가한다. 또 동기 발전기도 직류 발전기와 마찬가지로 잔류자기를 가지고 있으므로, 이것으로 정격전압의 2-3% 정도의 전압이 유기되므로 이것을 정류기로 정류하여 여자전류로 이용하는 자립형으로 구성할 수 있다. 유도 발전기의 경우도 같은 개념으로 생각하면, 정지한 회전자에 저주파수의 3상 교류를 인가하면 회전자는 계속으로 회전하는 자석이다. 이때 외력으로 회전자를 회전시키면 회전자는 회전자의 회전 각속도와 회전자 전류로 인한 회전자계의 회전 각속도를 더한 각속도로 회전하는 동가

영구자석으로 간주할 수 있다. 그러나 동기 발전기의 경우와 다른 것은 유도 발전기의 공극에 동기속도로 회전하는 회전자계를 발생시키기 위해서는 회전자의 회전 각속도와 발생시키려는 출력전압의 각속도(동기속도)와의 차인 슬립주파수의 전류를 흘려주어야 한다. 그러므로 2차 회로의 동기 임피던스는 회전자의 회전 각속도에 따라 변한다.

2-2. 유도 발전기의 제어원리

유도 발전기는 동기속도 이상이나 이하에서도 일정한 크기와 주파수의 전압을 발생시킬 수 있다. [1] 이 경우 2차 여자 시스템은 양방향성 전력제어기로 구성해야 한다. 그러나 동기속도 상하의 경우는 전력의 이동방향만 다르게 제어방법에는 큰 차이가 없으며 또한 동기속도 이하의 경우가 실제 많이 적용되는 경우이므로 동기속도 이하의 경우를 우선 검토하겠다.

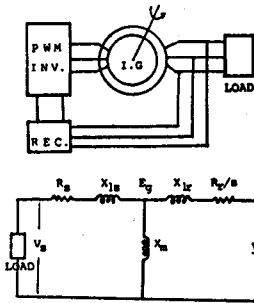


그림 1. 권선형 유도발전기 시스템과 동기회로

그림 1은 권선형 유도기를 이용한 유도 발전기 시스템과 동기회로를 나타낸다. 여기서 가변속도, 가변부하에 대해 항상 일정한 크기와 주파수의 전압을 발생시키기 위해 인버터의 출력전압의 크기와 주파수를 조정해야 한다.

Cylindrical structure 인 권선형 유도기의 stationary DQ 축에 대한 정상상태 관계식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 여자전압을 계산하기 위해

V_{qr}, V_{dr} 을 V_s, I_s 로 나타내면 식(2), (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + I_s P & 0 & MP & 0 \\ 0 & R_s + I_s P & 0 & MP \\ MP & -M\omega & R_r + I_r P & -I_r P \\ M\omega & MP & I_r P & R_r + I_r P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_{dr} \\ I_{qr} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$V_{ds} = \frac{S}{X_m} (X_r V_{ds} + \frac{R_r}{S} V_{qs} - K_1 I_{ds} + K_2 I_{qs}) \quad (2)$$

$$V_{qr} = \frac{S}{X_m} \left\{ -\frac{R_r}{S} V_{ds} + X_r V_{qs} - K_2 I_{ds} - K_1 I_{qs} \right\} \quad (3)$$

여기서

$$K = \frac{R_r}{S} X_s + X_r R_s$$

$$K_2 = X_r X_s - X_m - \frac{R_r}{S} R_s$$

이다.

식(3), (4)에서 알 수 있듯 일정전압을 발전하기 위한 여자전압은 슬립, 출력전압, 부하뿐만 아니라 여자리액턴스 X_m 의 포화는 크게 문제되지 않으나, 발전기의 경우는 일정 단자전압을 발생시키기 위해서는 공극전압이 더 높아야 되므로 여자리액턴스의 포화를 고려해야 한다. 공시 유도기의 자화리액턴스를 측정하여 근사식으로 나타내면,

$$X_m = C_4 E_g + C_3 E_g + C_2 E_g + C_1 E_g + C_0 \quad [\Omega] \quad E_g \geq 270 [V]$$

$$X_m = 37.1 \quad [\Omega] \quad E_g < 270 [V]$$

단 $C_4 = 3.63 \times 10^{-2}$

$C_3 = 4.91 \times 10^{-6}$

$C_2 = 2.50 \times 10^{-3}$

$C_1 = 2.34 \times 10^1$

$C_0 = 43.8$

이다.

공극전압과 여자리액턴스와의 관계를 나타내면 그림2와 같다.

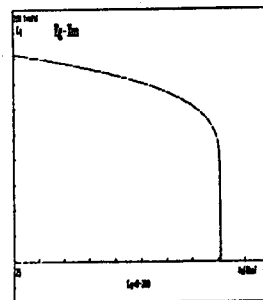


그림 2. 자화리액턴스의 곡선

여기서 공극전압 V_g 는 단자전압에서 부하전류에 따른 1차측 누설 임피던스의 전압강화를 더한 값이다.

3. 정상 상태 특성의 해석

제한한 제어방식으로 운전영역 유도 발전기를

CVCF로 운전시키고자 할 때 여력변수와 2차 여자전압 V_R 과의 관계를 전산기 시뮬레이션을 통해 살펴본다. 출력전압 V_S 의 크기를 일정하게 하기 위해서는 부하전류 I_S 의 크기와 역률, 슬립에 따라 2차 여자전압 V_R 의 크기를 조정함으로써, 출력전압 V_S 의 주파수를 일정하게 하기 위해서는 원동기의 회전속도에 따른 슬립 주파수를 여자전압 V_S 의 주파수로 하면 된다.

3-1. 여자전압 V_R 과 부하전류 I_S 와의 관계

슬립 s , 부하전류 I_S 의 크기 및 역률이 바뀔 때 출력전압 V_S 의 크기를 일정하게 하기 위해 2차에 인가해야 할 여자전압 V_R 값을 계산해보면 그림 3과 같다.

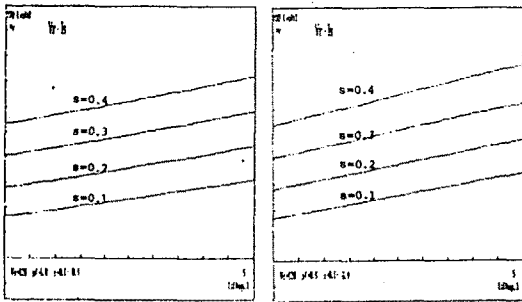


그림 3. 일정 역률에서 여자전압 부하전류의 관계

그림 3에서 알 수 있듯이 슬립이 클수록, 역률이 작을수록 출력전압 V_S 의 크기를 일정하게 하기 위한 여자전압 V_R 은 커야한다. 같은 슬립상태에서는 역률이 작을수록 여자전압 값이 커져야 한다는 것을 그림 4에서 알 수 있다.

3-2. 여자전압 V_R 과 슬립 s 와의 관계

부하전류 I_S 의 크기와 역률이 바뀔 때 출력전압 V_S 의 크기를 일정하게 하기 위한 여자전압 V_R 값을 계산해보면 그림 5와 같다.

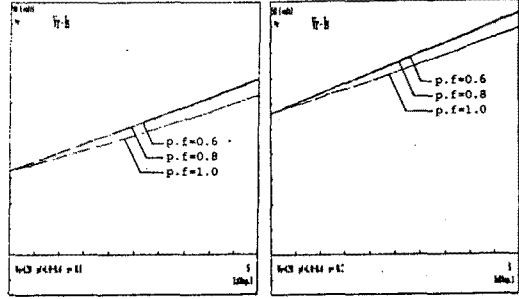


그림 4. 일정 슬립에서 여자전압 V_R 과 부하전류 I_S 와의 관계

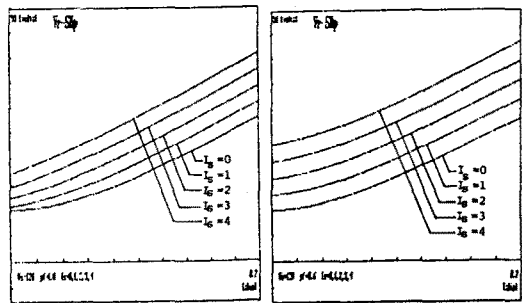


그림 5. 일정 역률에서 여자전압 V_R 과 슬립과의 관계

이때 여자전압 V_R 과 출력전압 V_S 의 상차각을 계산해보면 그림 6과 같다. 부하가 작을수록, 역률이 클수록 V_S 과 V_R 의 상차각을 크게 해야한다.

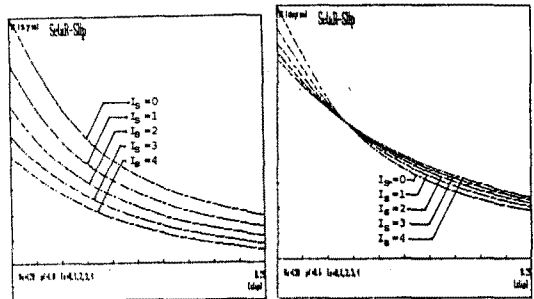


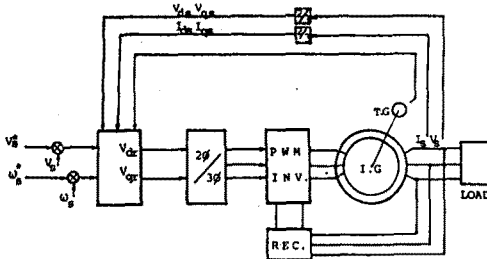
그림 6. 일정 역률에서 상차각 θ 과 슬립과의 관계

4. 결론

유도기를 표현한 정상상태관계식에서 인장전압, 인장 주파수 발전을 위한 여자전압을 구하는 관계식을 유도하고, 이를 전산기 시뮬레이션으로 확인하였다. 이 관계식을 토대로 제어회로를 구성하여 제한한 방식의 타당

성을 확인코져 한다.

그림7은 본 연구에서 제안한 유도 발전기 제어시스템의 블록선도이다.



참 고 문 헌

- 1) F.J Brady, A mathematical model for the doubly-fed wound rotor generator. IEEE PAS-103 No.4 pp.798-802 1984
- 2) R.E Bedford, The synchronous double-fed induction machine. AIEE Trans Feb. 1957 pp.11486-1491
- 3) M. Riaz, Energy-conversion properties of induction machines in variable-speed constant-frequency generating system. AIEE trans. Mar. 1959, pp.25-30
- 4) J.E. Barkle, R.W. Ferguson, Induction generator theory and application AIEE 1954. Feb. pp.12-19