

권선형 유도기 기반 엔진 발전기를 사용한 비상 전원 시스템

한용수, 이충인, 하정익

서울대학교

Uninterruptable power system using engine generator based on wound rotor induction machine

Yongsu Han, Chung-in Lee, Jung-ik Ha

Seoul National University

ABSTRACT

본 논문에서는 권선형 유도기 기반의 엔진 발전기를 이용한 비상 전원 장치를 제안한다. 기존의 외부 여자 동기 전동기를 이용한 엔진 발전기 시스템과 다르게 권선형 유도 전동기를 사용하여, 고정자 권선은 계통에 직접 연결되고, 회전자 단에는 배터리를 전력 원으로 하는 인버터를 연결한다. 권선형 유도기가 엔진과 결합되어 엔진 발전기로 연결된 상태에서 계통 사고로 계통이 단락 되는 경우 회전자 단 인버터를 이용하여 중요 부하에 전력을 공급하는 동시에 전동기를 구동시켜 엔진 발전기 동작 영역까지 전동기를 구동시키는 제어 방법을 제안한다.

1. 서론

컴퓨터나 의료기 같은 전력의 지속적이고 안정적인 공급이 요구되는 분야에서는 비상 전원 시스템의 사용이 필수적이다. 이러한 비상 전원 시스템은 계통 사고 직후의 운전뿐 만 아니라 계통 회복이 늦어지는 경우, 지속적인 운전이 필요하므로 별도의 전력 원을 가지게 된다. 이러한 비상 전원 시스템은 그림 1과 같이 순간적으로 전력을 공급하기 위한 배터리와 지속적인 전력 공급을 위한 엔진 발전기의 병렬구조로 생각해 볼 수 있다.

그림 1의 구조에서는 계통 사고 직후에 계통 단 차단기(S_g)가 차단되고 인버터에 의해서 부하에 전력이 공급된다. 이러한 동안 엔진 발전기는 초기 기동 전동기에 의해 가속되고, 전동기 전압 크기가 인버터에 의한 전압의 크기와 같아지는 동기화 과정이 이루어지게 되면 발전기 단 차단기(S_m) 이 연결되어 지속적인 전력을 공급하게 된다. 여기서 동기화 과정에 걸리는 시간은 초기 기동 전동기의 용량 및 엔진 발전기 속도 제어의 성능에 의해 정해지며, 이러한 시간이 길어질수록 요구되는 배터리의 사이즈는 증가하게 된다.

그림 2^[1]에서는 인버터 시스템을 더욱 사용하여 엔진의 효율적인 운전을 가능하게 하며, 배터리 사이즈를 줄일 수 있다. 계통 사고 시, 순간적으로 배터리의 충전된 전력을 부하에 공급하면서 엔진 발전기는 가장 효율적인 운전 속도 및 토크에서 동작시키게 된다. 이러한 구조에서는 초기 기동 전동기가 필요하지 않으며, 동기화 과정이 필요로 하지 않는다. 하지만 과도한 전력용 반도체의 사용으로 인버터 고장 확률이 높아지며, 그 가격이 상승하게 된다. 또한 앞의 그림 1에서와 마찬가지로 인버터를 통해 부하에 전력을 공급하기 때문에 이를 정현파로 필터링하기 위한 수동 필터 소자가 필수적으로 사용되어야 한다.

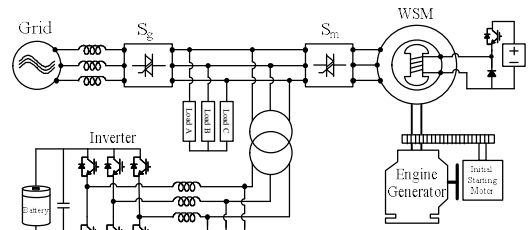


그림1. 엔진 발전기와 비상 전원 장치 병렬구조

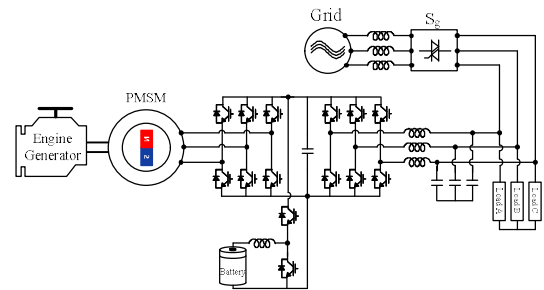


그림2. 엔진 발전기와 비상 전원 장치 융합구조

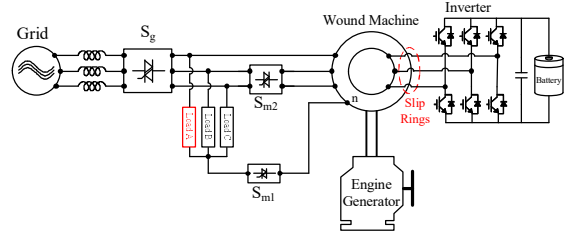


그림3. 제안된 시스템 구조

본 논문에서는 그림 3과 같이 권선형 유도기 기반의 엔진 발전기를 사용하여 비상 전원 시스템 및 지속적인 전력 공급 시스템을 제안한다. 계통 사고 시에는 중요 부하에 전력을 공급하면서, 동시에 전동기에 의해 발전기를 가속 시키고, 그 속도가 엔진의 출력 가능 속도 이상이 되면, 엔진의 에너지를 부하에 공급하여 3상 모든 부하에 전력을 공급하게 된다. 이러한 구조에서는 하나의 인버터만 사용되며, 초기 기동 전동기도 필요하지 않고, 모든 전력 공급은 권선형 전동기를 통해 이루어 지므로 추가적인 수동소자가 필요로 하지 않는다. 또한 동기화를 필요로 하지 않으므로 배터리 사이즈도 감소 시킬 수 있으며, 부하 변동 같은 안정적인 전압 공급 측면에서도 그림 1과 같이 동기 전동기를 이용해 전력을 공급하는 시스템에 비해 안정적인 전압 공급이 가능하다. 제안된 내용은 PELCS 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 입증하였다.

2. 유도기 기반의 엔진 발전기 구동 방법

2.1 비상 전원 공급 방법

계통 사고 시, S_g 와 S_{m2} 는 차단되고, S_{m1} 은 연결된다. 이러한 구조에서는 고정자에 단상 권선이 적용되고, 회전자에는 3상 권선과 전력원을 가지는 인버터가 적용된다. 이러한 구조는 참고문헌 [2]에서 적용된 단상 계통에 연결된 권선형 전동기의 구조로 생각해 볼 수 있다. 다만 제안된 구조에서는 계통이 아니라 전압을 공급해야 하는 부하가 연결된 형태이다. 따라서, 고정자 단에 전압 생성을 위한 고정자 단 전압 제어와 전동기 구동을 위한 토크제어가 수행되며, 회전자 전류 지령은 다음과 같이 적용된다. 이때, 토크는 120Hz 리플을 갖으며, 그 평균을 제어하여 속도를 제어한다.

$$I_{dr}^{s*} = \frac{\lambda_{ds}^{s*} - L_s I_{ds}^s}{L_m}, \quad \lambda_{ds}^{s*} = \frac{E_g}{\omega_e} \cos(\theta_e). \quad (1)$$

$$I_{qr}^{s*} = \frac{I_{ds}^s}{I_{ds_peak}^s} I_{qr_peak}^s, \quad I_{qr_peak}^s = \frac{T_{e_avg}^*}{-\frac{3}{4} \frac{P}{L_m} I_{ds_peak}^s}. \quad (2)$$

2.2 3상 부하 전력 공급 방법

엔진 발전기의 동작 속도가 엔진이 출력을 낼 수 있는 영역에 도달하게 되면 엔진이 속도 제어를 수행하게 된다. 이 때, 전동기는 고정자 단 3상 전압을 생성하게 되며, S_{m1} 과 S_{m2} 가 모두 연결된다. 이 때, 3상 전압은 자속 제어를 통해 이루어지며, 회전자 전류 제어 기반으로 이루어진다.

$$I_{dr}^{e*} = \frac{E/\omega_e - L_s I_{ds}^e}{L_m}, \quad I_{qr}^{e*} = -\frac{L_s}{L_m} I_{qs}^e. \quad (3)$$

2.3 배터리 충방전 제어

계통이 정상인 경우, 배터리 충방전 제어는 전동기가 고정된 상황에서 인버터를 통하여 이루어질 수 있다. 계통 사고 시에는 전동기의 속도에 의해서 충방전이 제어될 수 있다. 그림 4는 권선형 유도 전동기가 고정자 단 3상 부하에 일정 부하를 공급하고 있을 때, 토크 및 전력을 나타낸 그래프이다.

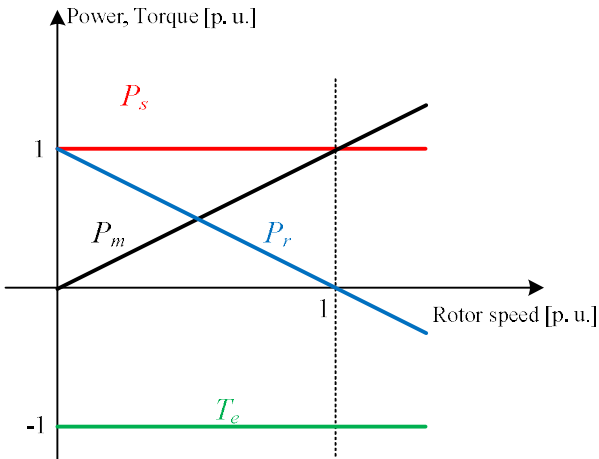


그림 4. 전동기 속도에 따른 전력 이동 관계

제안된 시스템에서 회전자 전력(P_r)은 배터리 충방전 전력 값을 결정한다. 따라서 배터리의 충방전 제어를 위해서는 회전자 전력을 양의 값 혹은 음의 값으로 제어할 수 있어야 한다. 따라서 제안된 시스템에서는 운전 속도를 동기 속도 근처에서 제어하는 것이

유리하며 엔진의 속도 제어로 배터리의 충방전을 제어할 수 있다.

2.3 시뮬레이션 결과

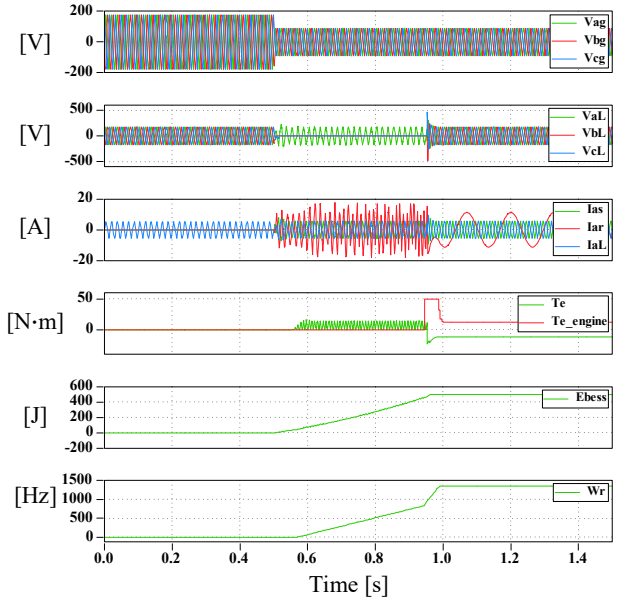


그림 5. 시뮬레이션 결과

계통 전압 50% 강하에 의한 사고 상황에서 제안된 시스템의 운전을 보여준다. 0.5초에 계통 사고가 발생하여 계통 전압은 절반으로 줄어든 상황에서 회전자 단 전류 제어를 통해 부하단 a상 전압은 일정하게 유지되면서 리플 토크 출력을 통해 전동기는 일정 속도로 가속된다. 일정 속도 이상으로 발전기가 동작하게 되면 엔진에 의해 발전기가 구동되고 인버터는 3상 부하에 전압을 공급하게 된다. 이때, 발전기 속도는 배터리 에너지 이동이 0이 되는 속도로 결정되었다.

3. 결론

본 논문에서는 권선형 유도 전동기 기반 엔진 발전기를 사용한 비상 전원 장치를 제안하였다. 단상 계통에 연결된 권선형 전동기 구동 방식으로 동작하여, 비상 시에는 중요 부하에만 전력을 공급하며 전동기를 가속하고, 엔진이 동작하게 되면 인버터는 3상 전체 부하에 전압을 공급하게 된다. 제안된 시스템은 중요 부하가 따로 연결되어 있는 건물이나 계통 시스템에서 복잡한 구조의 회로 없이 적용될 수 있는 비상 전압 장치 및 엔진 발전기 시스템으로 사용될 수 있다.

이 논문은 KD Power의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] J. Lee, S. Lee, and S. Sul, "Variable-Speed Engine Generator With Supercapacitor: Isolated Power Generation System and Fuel Efficiency," *IEEE IA. Trans. on* 2009.
- [2] K. Lee, Y. Han, and J. Ha, "Wound rotor machine with single phase stator and three phase rotor windings controlled by isolated three phase inverter," *IEEE EC. Trans. on* 2015.