

**플라이휠을 이용한 전력시스템의 안정화**

권태홍, 이명동, 고광철)  
한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

**Stabilization of power system using a flywheel**

Kwon Tae hong, Lee Myeong dong, Ko Kwang cheol  
Division of Electrical and Computer Eng., Hanyang University

**Abstract** - 풍력발전은 친환경적인 에너지를 사용함에도 불구하고 그 에너지의 불안정성 때문에 실용화가 어렵다. 이를 극복하기 위해 효과적인 에너지 보상시스템이 필요하다. 본 논문에서는 유도기를 모티브로 해서 플라이휠을 등가 모델링 한다. 그 후 PSIM을 이용하여 풍력발전기의 지락사고를 설정하고, 플라이휠의 보상 유무에 따른 부하의 과도현상을 살펴 보고자 한다. 시뮬레이션 결과로부터 안정된 전력보상시스템의 구현할 수 있었지만, 한편으로는 고조파의 영향이 관찰되었다.

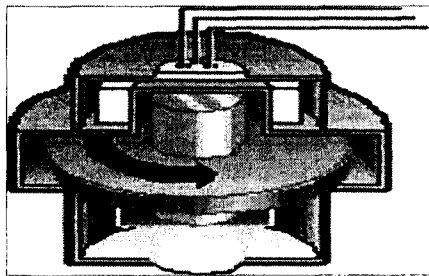
<그림 2>에서 살펴보면 에너지를 방출하는 커패시터가 있고 1차측에 해당하는 등가저항 R1과 인덕턴스 L1이 있을 것이다. 또한 1차측의 전력을 넘겨주는 여자서셉턴스 L3가 존재해야 된다. 그리고 2차측의 인덕턴스 L2와 등가저항 R2가 있어야 한다. 마지막으로 전기적 출력을 나타내는 저항 R3를 추가한다. 이와 같은 사항을 고려하면 다음과 같은 등가회로를 구성할 수 있다. [2]

**1. 서론**

근래 들어, 태양열, 풍력 등 친환경적인 에너지가 각광받고 있으나 불안정한 발전에너지로 인해 상용화가 어려운 현실이다. 이에 따라 출력전력이 일시적으로 증가할 경우 에너지를 흡수, 감소 시에 부족분을 공급하는 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 플라이휠을 사용한 전력보상시스템의 적합성을 PSIM으로 시뮬레이션 해본다. 우선 불안정한 발전시스템 중 풍력발전을 선택하여 전원부의 지락 사고에 따른 부하의 과도현상을 살펴본다. 또한 플라이휠을 유도기를 모티브로 해서 R, L, C 등의 수동소자로 등가모델링하고, 이에 대한 타당성을 검증하고자 한다. 검증된 플라이휠의 등가 모델과 SPWM 제어방법의 인버터를 사용해서 전력보상회로를 구성한다. 이를 통해 풍력발전기의 지락 사고 설정시 플라이휠로 보상된 부하의 과도현상을 PSIM으로 시뮬레이션 해본다.

**2. 본론**

**2.1 플라이휠의 등가모델링**



<그림 1> 플라이휠의 구조

$$Kinetic Energy = \frac{1}{2} \times I \times \omega^2 \quad \text{〈식 1〉}$$

$$\updownarrow$$

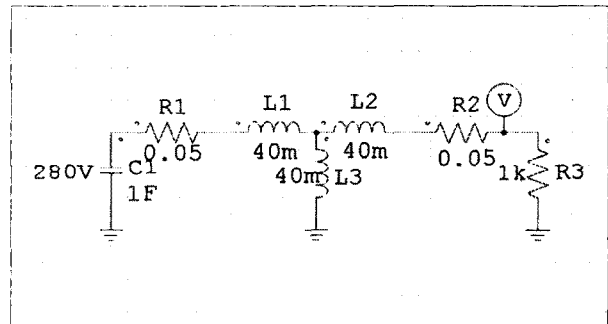
$$Capacitor Energy = \frac{1}{2} \times C \times V^2 \quad \text{〈식 2〉}$$

플라이휠은 기본적으로 에너지 저장 장치이다. 따라서 이를 등가 모델링 하기 위해서는 에너지 저장 소자가 필요하다. 에너지 저장 소자는 C와 L이 존재하지만 본 논문에서는 전압을 보상해주기 때문에 전압으로 에너지가 저장되는 C를 선택한다. C만 선택했을 경우 에너지 방출형태는 exponential하게 감소하게 된다. 하지만 플라이휠은 회전하면서 에너지를 방출하기 때문에 C만 선택하는 것은 타당하지 못하다. 회전을 한다는 것은 회전자계가 존재한다는 것이고 자계는 L을 통해 형성되는 것이다. 따라서 이 L을 통해 에너지 방출형태를 sinusoidal하게 만들어 줄 필요가 있다. [2]

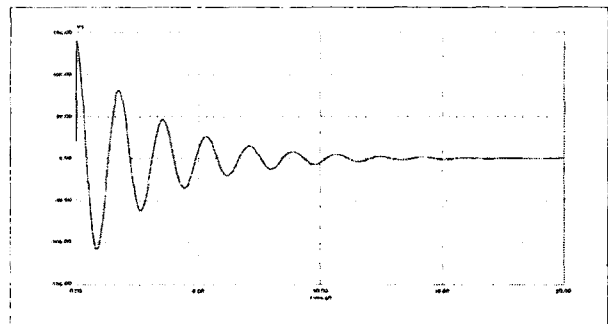
<식 1>은 플라이휠이 방출하는 운동에너지이다. 이 운동에너지를 전기적인 에너지로 표현하기 위해서 커패시터가 사용되고 이 에너지는 커패시터 에너지로 저장된다. 따라서 <식 1>을 <식 2>로 등가표현할 수 있다.

상 수	3	입력주파수	60Hz
극 수	2	입력전압	280V
정격출력	39kW	L1	40mH
정격속도	3760rpm	L2	40mH
R1	0.05Ω	L3	40mH
R2	0.05Ω	I(관성모멘트)	0.5kgm <sup>2</sup>

<표 1> 플라이휠의 제원



<그림 2> 플라이휠 등가모델



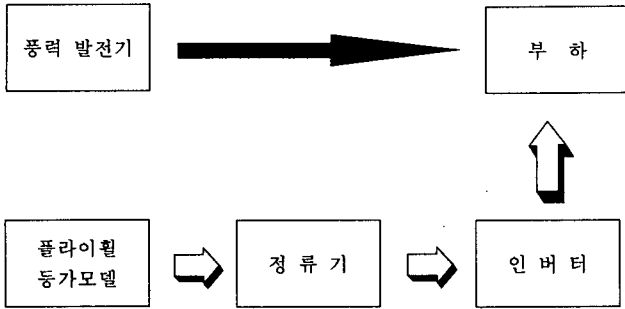
<그림 3> Simulation 파형

<그림 3>을 분석해보면 10초간 플라이휠이 에너지를 방출하고 그 형태는 exponential하게 감소한다는 것을 알 수 있다.

**2.2 시뮬레이션**

전력안정화시스템의 전반적인 구성을 연구해보았다. <그림 4>는 그 Blockdiagram 이다. 풍력발전기는 자연을 에너지원으로 삼기 때문에 안정된 에너지를 공급하기가 힘들다. 따라서 이에 대한 현상을 살펴 보기 위해 풍력발전기와 부하로 이루어진 시스템을 플라이휠로 적절히 보상할 수 있는 보상회로를 구성한다.

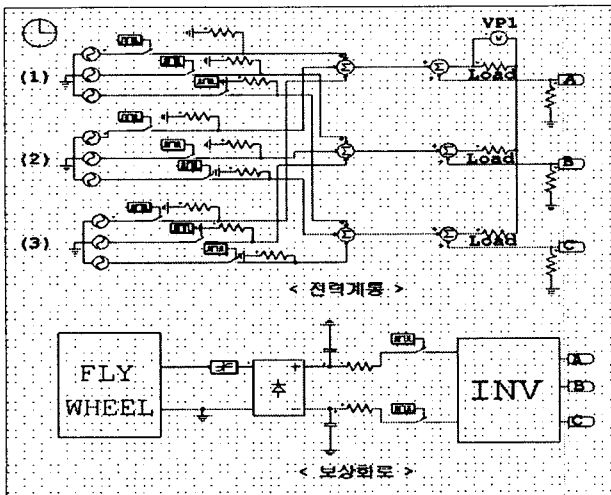
1) kwang@hanyang.ac.kr



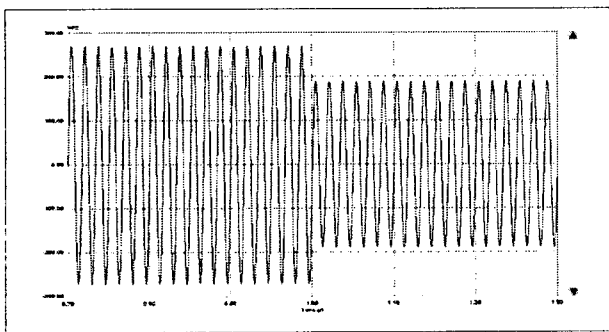
〈그림 4〉 전력안정화시스템 Blockdiagram

2.2.1 전원부의 지락사고에 따른 부하의 과도현상

풍력발전기를 3상 전원으로 모델링하고, 3대의 풍력발전기((1),(2),(3))를 전력계통으로 구성한다. 먼저 3대의 풍력발전기가 안정적으로 공급될 때 부하의 과도현상을 알아본다. 그 다음으로 스위치를 이용해서 <그림 5>의 (3)번 풍력발전기의 지락사고를 설정했을 때, 부하 전압(VP1)의 과도현상을 측정해본다.



〈그림 5〉 전력안정화시스템 회로도

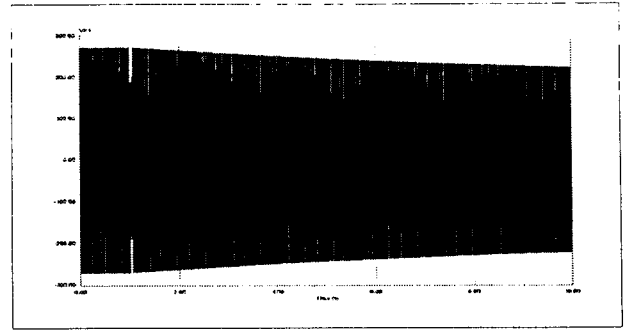


〈그림 6〉 풍력발전기 1대 지락사고시 파형

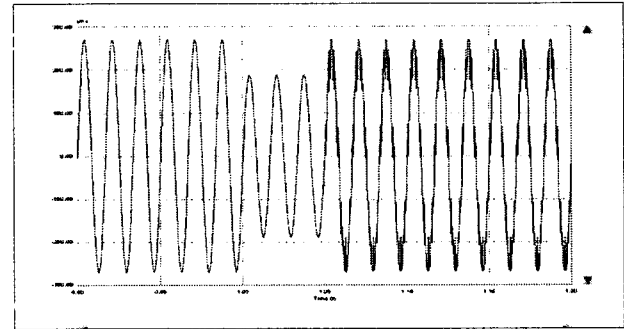
<그림 6>의 파형으로부터 다음을 알 수 있다. 풍력발전기가 모두 가동했을 때 공급할 수 있는 에너지는 108kW(=36kW\*3대)이다. 1대가 지락됐을 때 36kW가 부족하므로 이를 보상할 수 있는 플라이휠의 방출 에너지가 필요하다.

2.2.2 전원부의 지락사고시 플라이휠로 보상된 부하의 과도현상

3상 전원 중 (3)번 풍력발전기가 단락 되었을 때 부하에는 일정한 주파수로 공급할 수는 있으나 일정한 진폭의 에너지를 공급하지는 못한다. 따라서 플라이휠에서는 이를 보상하기 위해 에너지를 방출하되 전원부와 주파수를 동기화시킬 필요가 있다. 플라이휠에서 방출된 에너지를 정류회로로 통과시키고 SPWM 제어방법을 이용하여 주파수를 동기화한 후 부하에 부족한 만큼의 에너지를 보충한다. 그 후 부하 전압(VP1)의 과도현상을 측정해본다.



〈그림 7〉 플라이휠로 보상된 부하의 과도현상(1)



〈그림 8〉 플라이휠로 보상된 부하의 과도현상(2)

<그림 7>은 보상된 부하의 과도현상을 10초동안 보여 주는 파형이다. 시간이 지날 수록 exponential하게 감소함을 알 수 있고, 10초까지 출력전압의 80%를 보상해 준다. <그림 8>은 1초일 때 지락사고가 발생해서 1.05초에서 플라이휠로 보상된 파형을 나타낸 것이다. 현재 풍력발전기 1대당 정격출력은 36kW이다. 그리고 플라이휠에서 방출되는 에너지는 39kW이다. 따라서 보상회로에서 발생하는 손실을 감안하면 지락된 풍력발전기에 대한 에너지를 보상할 수 있다. 하지만 전력보상시스템이 가동한 시점(1.05초)의 파형을 관찰해보면, 고조파의 영향이 나타남을 알 수 있었다.

3. 결 론

위의 결과를 바탕으로 전력보상시스템에서 플라이휠의 효율성을 검증해 보았다. 즉, 급격한 부하변동에 대한 안정적인 과도응답특성을 얻을 수 있었다. 이를 통해 얻을 수 있는 결과는 다음과 같다.

- 1) 플라이휠에 회전 에너지의 형태로 큰 용량의 전력을 저장할 수 있고, 경제적으로도 저렴한 전력보상시스템의 실현화가 가능하다.
- 2) 적절한 전력보상이 요구되는 설비에 플라이휠을 적용함으로써 풍력 및 태양광 발전과 같은 신재생 에너지를 사용하는 시스템에서 안정된 발전 전력을 얻을 수 있다.
- 3) 전력보상시 발생하는 고조파의 영향은 부하의 에너지 보상을 저해하므로, 고조파의 영향을 줄이기 위한 대책이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] Robert S. Weissbach, George G. Karady, and Richard G. Farmer, "A Combined Uninterruptible Power Supply and Dynamic Voltage Compensator Using a Flywheel Energy Storage System," IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 16, NO. 2, pp. 265-270, APRIL 2001.
- [2] 김윤호, 이경훈, 박경수, "플라이휠 장치를 갖는 유도전동기의 2차 여자를 이용한 계통의 전력보상기법," 한국에너지공학회지(2000), 제9권, 제4호, pp. 342-347, 2000.
- [3] Ludovic Leclercq, Benoit Robyns, and Jean-Michel Grave, Control based on fuzzy logic of a flywheel energy storage system associated with wind and diesel generators, Mathematics and Computers in Simulation 63 (2003) 271-280.
- [4] OSAMU TAKAHASHI, KESAO SATO, KEN GOTO, TAKASHI SHIRASAKI, JUN SANEKATA, MASAHIKO AMANO, and MASAICHI ENDO, "Stabilization of a Large-Capacity, Long-Distance Transmission System by an Adjustable-Speed Flywheel Generator," Electrical Engineering in Japan, Vol. 127, No. 2, pp. 32-41, 1999.