

역률 보상기능을 갖는 플라이휠 에너지 저장장치

곽철훈, 정석언,
이화전기(주)

Flywheel Energy Storage with Power factor Compensation

C.H Kwak, S.O Jung
E-HWA Technologies Information

ABSTRACT

플라이휠 에너지 저장장치는 회전하는 물체에 에너지를 저장하고 이 에너지를 필요 시 기계적인 에너지를 변환하여 전기적 축전지이다. 플라이휠은 무정전전원장치의 직류측의 단자에서 전원을 받아 충전되며, 무정전전원장치의 입력 AC전압이 차단되어 UPS DC bus전압이 설정 값 이하로 떨어지면 저장 되어 있는 에너지를 전력변환 모듈에 의해 DC로 변환하여 UPS에 공급한다.

또한 전압 Sag, 전압의 불평형, 순간정전 및 고조파에 의한 정전에 대비하여 축전지와 플라이휠 에너지 저장장치를 조합하여 운용할 경우 축전지와 UPS의 DC BUS가 전기적으로 절연이 되어 개별 축전지 구성과 동일한 동작이 되도록 구성으로 축전지의 방전 횟수를 감소함으로써 축전지의 수명도 연장 할 수 있습니다.

1. 서 론

플라이휠은 회전하는 물체에 에너지를 저장하고 이 에너지를 필요 시 전기 에너지로 변형 이용하는 고효율의 에너지 저장장치입니다. 플라이휠 에너지 저장장치는 UPS의 DC bus 단자에서 전원을 받아 충전되며, 상용전원의 고장등으로 UPS의 입력 AC전압이 차단 되어 UPS DC bus전압이 설정 값 이하로 떨어지면 저장 되어있는 에너지를 전력변환 모듈에 의해 DC로 변환하여 UPS에 공급합니다.

플라이휠 에너지 저장장치는 자기베어링 및 내장형 진공시스템을 이용하여 마찰저항 계수가 ZERO, 공기저항 ZERO상태에서 운전되고 초고속 회전력을 보유한 고효율, 고에너지 축적 장치로써 DSP 기술과 양방향 컨버터 기술이 적용됩니다. 플라이휠 에너지 저장장치는 용량 증가를 요할 경우 병렬 구성이 용이 합니다.

플라이휠 에너지 저장 장치는 수명이 반영구적이므로 반복 사용시 유지보수가 용이하고, 설치공간 및 친환경적이 장점을 가지고 있다. 또한 이러한 시스템은 최근에 공급 전원의 순간적 정전시 DC전압의 리플현상을 방지하고, 축전지의 방전 횟수를 획기적으로 줄여 축전지의 불량을 방지함은 물론 축전지 수명을 연장하고 이에 따른 추종하는 기능 및 특성을 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 구성

UPS 시스템은 그림1과 같이 플라이휠 에너지 저장장치의 시스템 블록도 입니다.

UPS연결 모듈 UIM (UPS Interconnection Module)은 플라이휠에 내장되며, 플라이휠과 UPS간 연결 및 차단 스위치로써 비상 시 자동 또는 수동으로 장치를 보호하는 기능이고, 전력변환모듈 PCM (Power Conversion Module)은 UPS의 DC bus로부터 DC 전원을 받거나 보낼 수 있는 양방향성 전력변환부이다. 플라이휠이 방전하는 동안 플라이휠에서 만들어진 AC 전력을 PWM기술을 이용하여 변경한 DC전압을 UPS의 DC bus에 전달한다. 반대로 플라이휠에 충전이 필요할 때 UPS DC Bus에서 DC 전력을 공급 받아motor-generator를 위한 AC 전력으로 바꾸도록 하는 역할을 한다. 또한 주제어모듈 MCM (Main Control Module)은 동기전동기와 능동제어형 자기 베어링부등 플라이휠의 전반적인 조정을 할 수 있도록 전체적인 제어 기능. 플라이휠모듈 The Flywheel Module은 다음과 같은 부분으로 구성되어 있다.

리터턴스형 동기전동기 / 발전기 플라이휠, 축, 전동기/발전기의 회전자로 구성된 회전부 5축 능동제어 자기 베어링부 내장형 진공 펌프부 Capacitor Pack은 방전 시 전압 리플을 억제하는 역할을 한다. Auxiliary Backup Power Module은 시스템의 제어 전원을 공급한다. 정상 운전중 플라이휠에서 제어 전원을 공급한다. 만약 초기기동이나 시스템 제어 전원공급에 이상 발생 시 플라이휠은 Aux Backup Power를 이용 시스템을 구동 혹은 정지 시킨다.

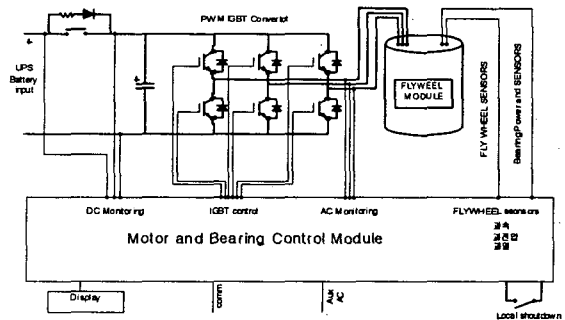


그림 1 시스템 블록도

2.2 동작 모드

OFF Mode는 초기 플라이휠에 제어전원을 인가시, 시스템은 OFF Mode이고 회전자는 자기부상상태로 떠 있는 상태입니다. 모든 Startup조건이 만족한다면 사용자는 수동으로 OFF Mode에서 STARTUP Mode로 만들 수 있습니다. 시스템의 정지시 SHUTDOWN Mode에서 회전 속도가 200rpm 이하로 떨어지면 장비는 자동으로 OFF Mode로 변경됩니다. 시스템의 제어 전원을 차단할 필요가 있을 시에는 OFF Mode에서 보조전원을 제거 하십시오. 플라이휠은 평상시 자기베어링에 의해 회전 부를 부상상태에서 고속회전시키기 때문에 고속 회전중 자기베어링에 전원이 공급되지 않으면 장비에 심각한 손상을 유발시킬 수 있습니다.

STARTUP Mode는 플라이휠이 정상적인 동작을 하기 위한 최소한의 상태까지 모터의 속도를 증가 시킵니다. OFF Mode나 SHUTDOWN Mode에서 UPS의 DC Bus전압이 Vcharge 설정값 보다 크면, 사용자는 STARTUP Mode로 변경이 가능하고, Startup Mode에서 플라이휠의 속도는 25000rpm (State Of Charge = 0%) 까지 증가한다. 이때 SOC값이 0%에 도달하면 자동적으로 CHARGE Mode로 변경된다.

CHARGE Mode는 STARTUP Mode에서 25000rpm (SOC=0%)이 넘어가면 자동적으로 CHARGE Mode로 변경되고, 또한 CHARGE Mode에서 플라이휠은 54000rpm (SOC=100%) 까지 충전됩니다. SOC값이 0%를 넘어가면 플라이휠은 충전량 만큼 UPS의 DC 전원을 공급 한다.

READY Mode는 SOC가 100%되었을 때, 장비는 자동적으로 충전을 멈추고 READY Mode로 전환되고. 이 Mode는 SOC가 99.5%보다 더 높은 충전상태일 때를 의미하고. 정상 작동 중에 FS는 DISCHARGE 또는 SHUTDOWN의 상황이 될 때까지 99.5%와 100%사이에서 READY Mode와 CHARGE Mode를 자동적으로 반복합니다.

DISCHARGE Mode는 CHARGE Mode 또는 READY Mode에서 UPS DC Bus전압이 Vcharge전압보다 낮아지면 DISC 변경됩니다. DISCHARGE Mode에서 플라이휠은 충전량(SOC) 한도 내에서 UPS에 전력을 공급한다. 이때 플라이휠이 방전 전압은 사용자가 설정한 Vreg 값에 따라 변경된다. 만약 SOC가 0%에 도달하기 전에 UPS DC Bus전압이 되돌아 오면 (UPS DC Bus Voltage \geq Vcharge) DISCHARGE Mode에서 CHARGE Mode로 전환될 것입니다. UPS DC bus전압이 SOC가 0%에 도달하기 전에 복귀되지 않으면, SHUTDOWN Mode로 변경됩니다.

SHUTDOWN Mode는 플라이휠은 장비를 정지시키기 위해 모터의 회전 속도를 빠르게 감소한다. 이때 UPS에 전원을 공급하지 않습니다. 플라이휠이 SHUTDOWN Mode가 되는 것은 사용자의 조작에 의한 방법과 방전중 자동으로 되는 두가지 방법이 있습니다.

자동정지 기능은 플라이휠의 SOC가 0%이하로 내려가고 UPS System DC Bus전압이 Vcharge전압보다 아래에 있을 때 발생합니다. 만약 FS가 DISCHARGE Mode를 지난후에 SHUTDOWN Mode로 들어갔을 경우, UPS System DC Bus 전압이 Vcharge전압보다 더 높은 값으로 돌아왔을 때에는 STARTUP Mode로 자동적으로 변경됩니다. 또한 수동정지기능은 OFF Mode를 제외한 어떠한 Mode에서도 플라이휠을 Shutdown시킬 수 있습니다. Shutdown Mode에 있는 동안 UPS System DC Bus전압이 Vchagre전압보다 높은 경우에는

사용자가 FS를 CHARGE Mode (SOC > 0%) 또는 STARTUP Mode (SOC<0%)로 변경 한다.

COAST Mode는 플라이휠에 있는 동안 플라이휠은 충전을 하지 않고 현재 충전된 에너지를 최대한 유지 시키며 대기운전 중인 상태입니다. 플라이휠이 COAST Mode로 들어가는 절차는 다음 두가지 경우가 있습니다.

UPS DC 전압이 낮은 경우 플라이휠이 STARTUP Mode에 있는 동안 UPS DC Bus 전압이 Vcharge 전압보다 낮아진다면 플라이휠은 COAST Mode로 전환한다. 이 경우 UPS DC Bus 전압이 정상 상태로 돌아온다면 플라이휠은 자동적으로 STARTUP Mode로 돌아갑니다. UPS DC Bus전압이 Vchagre 전압보다 높아지지 않은 상태에서 COAST Mode로 5분이 지나면, FS은 자동적으로 SHUTDOWN Mode로 변경됩니다.

3. 실험

그림2는 UPS와 플라이휠 전원 결선 회로이다. 이때 순간 정전 시 back-up 전원용으로 전원의 공급시 UPS의 순간 정전으로 충,방전의 반복적 수행에 의한 battery의 손상을 미연에 방지하고 전압의 Sag 및 고조파에 의한 전력기기들을 외란으로부터 보호 할 있다. 이때 실험 결과는 다음과 같다.

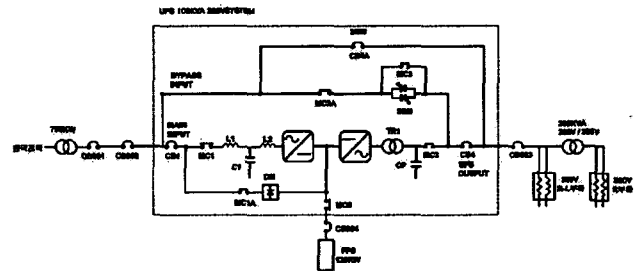


그림 2 UPS와 플라이휠 전원 결선도

시험 조건

UPS	: 100 KVA
Batt.	: 300 A/H
Floating Voltage	: 415 Vdc
Charge Voltage	: 395 V
Regulation Voltage	: 385 V
Vreg Delta	: 0 V
Max Charge Current	: 25 A
Charge Amps/Volt.	: 2.5 A/V

표 1 플라이휠기동 조건

Mode	Rpm	Soc	Time	Remark
Startup	1~25,000	-27.3~0%	6min	10,000rpm에서 진공상태확인
Charge	25,000~54,000	0~100%	10min	
Ready	54,000~53,900	100~99.7%	5min	
Charge	53,900~54,000	99.7~100%	2sec	
Discharge	54,000~25,000	100~0%	43sec	
Shutdown	54,000~25,000	100~0%	24min	
Shutdown	54,000~4,000	100~-22.9%	2hour	FPS OFF구간
Shutdown	54,000~1,034	100~-27.1%	10hour	

이때 시험 조건은 100kVA에서 부하 100% 조건에서 시험 결과입니다.

복전시 Delay time (UPS rectifier+ FPS): 13 sec
 $t1 + t2 + t3 = \text{time delay}$
 $t1$: UPS 복전 인식 시간 : 3sec
 $t2$: UPS 정류부 기동시간 : 5sec
 $t3$: FPS 복전 인식 시간 : 5sec

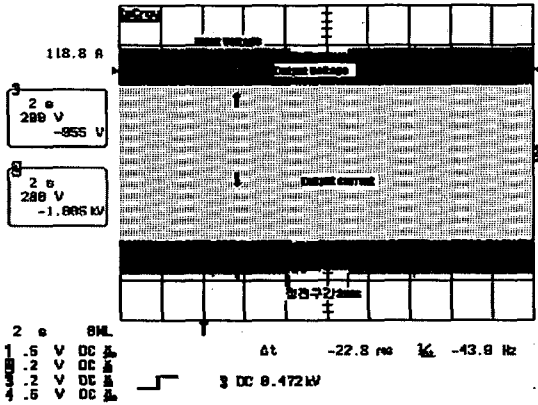


그림 3 정,복전 시험 파형

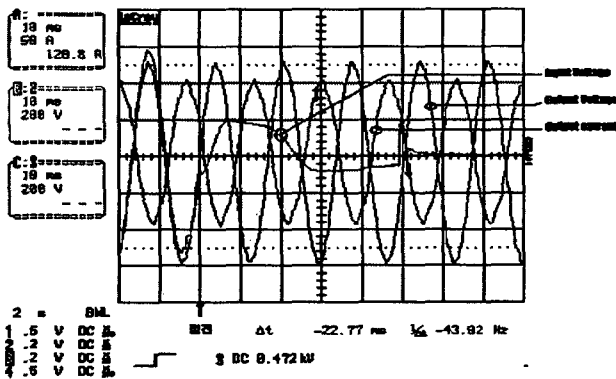


그림 4 정전 시험 파형

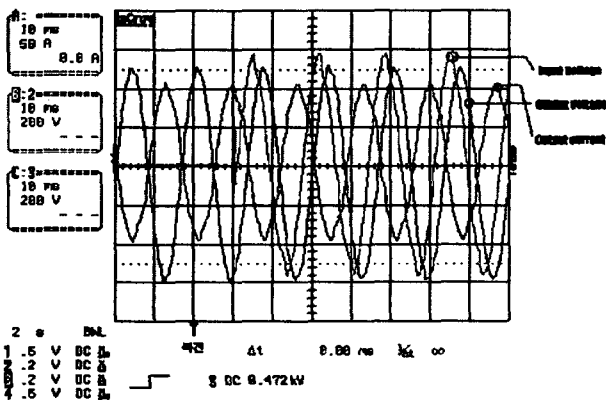


그림 5 복전 시 파형

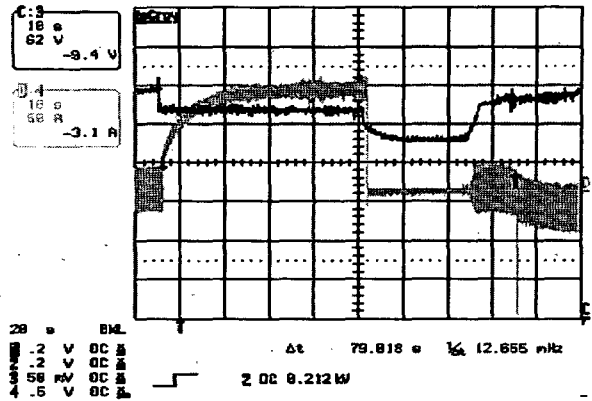


그림 6 배터리 정전시 전압 및 전류파형

4. 결론

본 논문에서 플라이휠 에너지 저장장치를 이용하여 UPS 측의 순간적인 전압 보상 및 Sag, 전압의 불평형등에 의한 전력품질의 향상과 부하측에 안정적인 전원 공급을 통하여 순간 단락사고시 부하를 보호 할 수 있음을 확인 하였다.

Battery와 병렬연결 설치한 경우 FS가 감당하는 범위 내에서는 Battery에 앞서 Sag를 감당할 수 있어 Battery의 수명을 연장할 수 있습니다.

위의 실험을 통하여 성능을 확인 할 수 있었습니다.

참고 문헌

- [1] Sergio Augusto Olivera da Silva, Pedro F. Donoso-Garcia, Porfirio C. Cortizo, F. Seixas, "A comparative analysis of control algorithms for three-phase UPS system with series-parallel active power line conditioning using SRF method," IEEE-PESC 2000, Vol. 2 pp. 1023-1028, 2000.
- [2] R. G. Lawrence, K. L. Craven, G. D. Nichols, "Flywheel UPS." IEEE IA Magazine, pp44-50, may/june, 2003.