

### 다이나믹 UPS의 모드별 동작특성 분석

이기수, 김중원, 변우열, 노의철, 김인동, 전태원\*, 김홍근\*\*  
부경대학교, \*울산대학교, \*\*경북대학교

### Analysis of Operating Mode Characteristics of Dynamic UPS

K.S. Lee, J.W. Kim, W.Y. Byeon, E.C. Nho, I.D. Kim, T.W. Chun\*, H.G. Kim\*\*  
Pukyong National University, \*University of Ulsan, \*\*Kyungpook National University

**Abstract** - This paper deals with the operation of a flywheel energy storage UPS. The operating principle of the UPS is analysed in each mode including charging, voltage compensation, discharging, and voltage unbalance compensation. The usefulness of the operation is proved through simulations.

#### 1. 서 론

최근들어 장시간 정전이 발생하는 경우는 거의 없어졌지만 예기치 못한 사고로 인한 Sag, Swell, 전압불평형, 순간정전, 주파수 변동, 고조파 등 외란의 발생은 의외로 빈번히 발생하고 있는 실정이다. 이러한 전력품질 외란은 기기의 오동작과 파손을 야기하며 막대한 물질, 인적 손실을 불러 올 수 있어 그 대책에 대한 필요성이 매우 절실하다[1,3,4].

현재 UPS에서 사용되고 있는 대표적인 에너지 저장 장치인 배터리는 효율이 낮고, 유해 가스를 발생하여 환경에 영향을 미치며, 수명이 짧아 주기적으로 교체해야 하는 등 유지보수 비용이 높은 편이다. 또한 충전된 상태를 모니터링하기가 힘들며 온도에 상당히 민감하고 시스템이 차지하는 부피가 매우 크다는 단점도 있다. 반면 플라이휠 에너지 저장 시스템은 수명이 반영구적이므로 반복 사용하더라도 유지 보수의 필요성이 거의 없으며 유해 가스가 발생하지 않으므로 환경 친화적인 장점을 가지고 있다[2]. 또한 설치 공간도 배터리에 비해 30~40% 정도 밖에 안되어 도심지의 IDC(Internet Data Center), 은행, 서비스 센터 등에 적용이 확대되고 있다.

플라이휠 에너지 저장 시스템 외에도 초전도 에너지 저장(SMES) 시스템, Ultra Capacitor를 이용한 시스템, 수소저장 시스템 등이 연구되고 있으나 현재 상용화 측면에서 보면 플라이휠 방식이 경제적인 것으로 보고되고 있다. 이러한 에너지 저장 시스템은 최근 들어 공급 전원에 이상이 감지된 후 예비 발전기가 기동하여 부하에 전력을 공급 가능하게 될 때까지의 수~수십 초간의 에너지 공급 공백을 없애기 위한 단기간 에너지 저장 장치로서 각광을 받고 있다.

본 논문에서는 플라이휠을 이용한 다이나믹 UPS의 입력전압이 불평형인 경우를 포함하는 전압 외란에 대하여 전압을 보상하는 동작 원리와 제어 방법을 분석하고 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 분석하고자 한다.

#### 2. 다이나믹 UPS의 구성

본 논문에서 제안한 플라이휠을 이용한 다이나믹 UPS는 그림 1과 같이 SSTS(Solid State Transfer Switch, S1-S5), 전압 보상용 직렬 변압기(Serial Transformer), 필터, PWM CONV/INV, PWM INV/CONV, Flywheel M/G로 구성된다. 정전 시간이 길어지는 경우 사용할 디젤 엔진 발전기와 이를 연결

시키기 위한 SSTS(S5)가 포함되어 있다. 그리고 직렬 변압기는 전압 보상 모드에서만 사용되므로 그 외의 모드에서 바이패스 하기 위해 SSTS(S3)가 설치되어 있다.

#### 3. 모드별 동작 특성

플라이휠을 이용한 다이나믹 UPS는 크게 충전 모드, 전압 보상 모드, UPS 모드 등 세 개의 동작 모드를 가지고 있다.

먼저 충전 모드는 입력되는 전원 전압이 정상일 경우에 작동하는 모드로 소스 전원에서부터 플라이휠에 에너지를 저장하는 동작이 이루어진다.

전압 보상 모드에서는 전원 전압에 Sag 또는 Swell등이 발생하였을 때 플라이휠에 저장된 에너지를 전압 보상용 직렬 변압기를 통해 보상해 준다.

전원 전압이 50% 이하로 내려가게 되면 UPS 모드로 동작하여 전원 측의 SSTS를 차단해 전력의 역류를 막고 플라이휠의 에너지로 부하에 전원을 공급하게 된다.

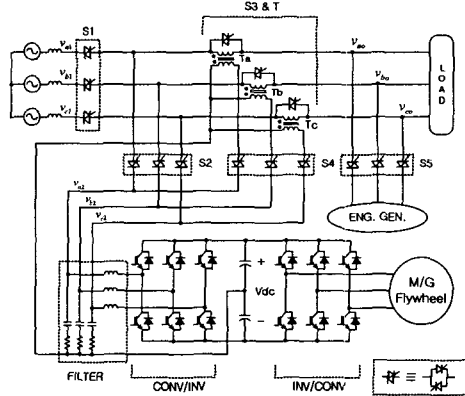


그림 1 다이나믹 UPS의 주회로도  
Fig. 1 Main circuit diagram of the dynamic UPS

#### 3.1 PLL

입력 전원 전압에 Sag, Swell, 전압불평형, 위상 지연 등의 문제가 발생하였을 때, 부하단에 인가해 주어야 할 기준 전압과의 차이를 UPS에서 보상해주게 된다. 이때 부하단에 인가할 기준 전압을 PLL(Phase Locked Loop)을 통해 만들어 내었다. 그림 2는 본 연구에서 사용한 PLL의 블록 다이어그램이다.

세 상의 전압을 입력받아 이를 d-p 점진 좌표계로 변환하고 이를 다시 d-p 회전 좌표계로 변환한 다음 이중 d-축 좌표를 일정하게 유지하여 기준 전압의 위상각을 제어하게 된다. 좌표 변환을 위한 수식은 각각 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} U_{qs} \\ U_{ds} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{as} \\ (U_{cs} - U_{bs})/\sqrt{3} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} U_{qe} \\ U_{de} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta^*) & -\sin(\theta^*) \\ \sin(\theta^*) & \cos(\theta^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{qs} \\ U_{ds} \end{bmatrix} \quad (2)$$

이를 통해 전압 전압의 위상 변이 뿐만 아니라 UPS 동작 후 정상적인 전압 전압이 재인가 될 때에도 즉시 위상을 일치시켜주게 된다.

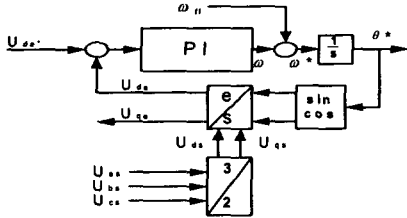


그림 2 PLL 블록 다이어그램

Fig. 2 Block diagram of the PLL  
각 모드별로 동작을 상세히 분석하면 다음과 같다.

### 3.2 충전 모드

입력 전원에 아무런 문제가 없을 때에는 전원을 그대로 부하에 인가한다. 그리고 다이내믹 UPS는 충전 모드로 동작하여 교류 입력 전원을 CONV/INV로 직류로 변환하여 DC 링크 전압을 일정하게 유지하고, 인버터로 플라이휠이 일정한 속도로 회전하도록 한다.

그림 3은 충전 모드에서 a상에 대한 제어 블록 다이어그램이다. DC 링크 단의 전압 V<sub>dc</sub>와 지령치인 V<sub>dc\*</sub>의 차이를 전압제어기에서 제어하고, 이것을 다시 전류제어를 통해 상전류를 제어한다. 그 결과 DC 링크의 전압은 일정하게 유지되고 전압 측에서 흐르는 전류는 전압과 동상이 되어 역률은 1로 제어된다.

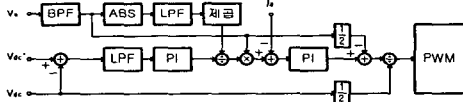


그림 3 충전 모드 제어기 블록 다이어그램  
Fig. 3 Block diagram of the controller for the charging mode

### 3.3 전압 보상 모드

입력 전원에 Sag나 Swell, 또는 전압불평형 등의 문제가 발생하면 이를 보상하기 위해 다이내믹 UPS는 전압 보상 모드로 동작한다. 이 경우에는 플라이휠에 저장된 에너지를 컨버터를 통해 DC 링크 전압을 일정하게 유지하고, 인버터로 보상해야할 전압을 직렬 변압기를 통해 인가한다.

그림 4는 전압 보상 모드에서 a상에 대한 제어 블록 다이어그램이다. 부하에 인가되는 전압과 기준 전압과의 차이만큼 변압기의 2차 측에 인가해 준다. 이때 n1과 n2는 변압기의 1차 측과 2차 측의 권선 비를 의미한다.

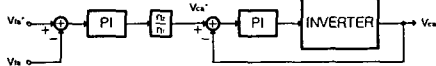


그림 4 전압 보상 모드 제어기 블록 다이어그램  
Fig. 4 Block diagram of the controller for the voltage compensation mode

### 3.4 UPS 모드

전원측 전압강하가 50%를 초과하면 다이내믹 UPS는 UPS 모드로 동작한다. 이때 전원부와 연결된 SSTS(S1)을 차단하여 전력의 역류를 방지한다.

그림 5는 UPS 모드에서 a상에 대한 제어 블록 다이어그램이다. UPS 모드에서는 변압기를 거치지 않고 부하 단과 직접 연결이 되어 인버터의 출력이 필터를 거친 후 부하에 인가되게 된다.

만약 정전 시간이 길어지면 플라이휠에 저장된 에너지가 모두 소모되기 전에 외부에 장착된 엔진 제네레이터를 동작시키고 S5를 ON하여 전원을 공급한다. 이때 다이내믹 UPS는 충전 모드로 동작하여 플라이휠에서 소모된 에너지를 다시 저장한다.



그림 5 UPS 모드 제어기 블록 다이어그램  
Fig. 5 Block diagram of the controller for the UPS mode

## 4. 시뮬레이션 결과

그림 6은 다이내믹 UPS의 시뮬레이션에 사용된 회로 도이고 표 1은 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다.

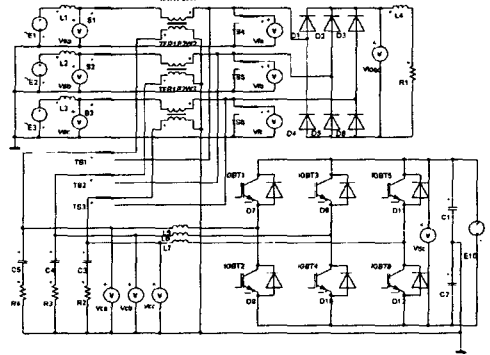


그림 6 다이내믹 UPS 시뮬레이션 회로도

Fig. 6 Simulation circuit for the Dynamic UPS

표 1 시뮬레이션 파라미터

Table 1 Simulation parameters

Parameters	Value
Source voltage	220V, 60Hz
Load(L, RL)	5mH, 4Ω
DC link voltage	400V
Switching frequency	5kHz
Filter(Cf, Lf, Rf)	280uF,0.5mH,0.5Ω

각 모드에 대한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

### 4.1 충전 모드

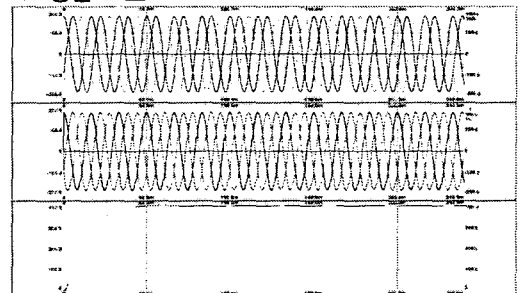


그림 7 충전 모드 시뮬레이션 결과

Fig. 7 Simulation result in charging mode

그림 7은 충전 모드에서의 시뮬레이션 결과이다. 입력 전원 전압과 부하 전압이 일치하고 DC 링크 전압이 400V로 충전된 뒤 일정하게 유지되고 있다.

#### 4.2 전압 보상 모드

그림 8은 전압 보상 모드에서의 시뮬레이션 결과이다. 입력 전원 전압에 임의로 50ms 에서 20% Sag를 발생 시켰고 100ms 에서 40% Sag를 발생시킨 뒤 150ms 에서 다시 정상 전원으로 복구하였다.

Vca, Vcb, Vcc는 컨버터에서 직렬 변압기 2차측에서 보상하여주는 전압이다. 그림 8에서 보이는 바와 같이 입력 전원 전압에 Sag가 발생하더라도 부하 단에는 정상적인 전압이 인가되고 있음을 알 수 있다.

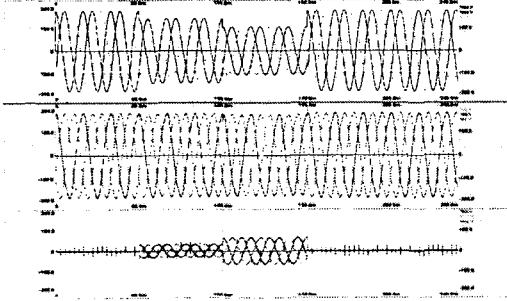


그림 8 전압 보상 모드 시뮬레이션 결과  
Fig. 8 Simulation result in voltage compensation mode

#### 4.3 UPS 모드

그림 9는 UPS mode에서의 시뮬레이션 결과이다. 입력 전원 전압을 임의로 50ms 와 150ms 에서 차단하고 100ms 와 200ms 에서 다시 인가해 주었다.

그림 9에서 보이는 바와 같이 입력 전원 전압이 차단 되더라도 다이내믹 UPS에서 정상 전원을 만들어 부하에 인가해 주고 있음을 알 수 있다.

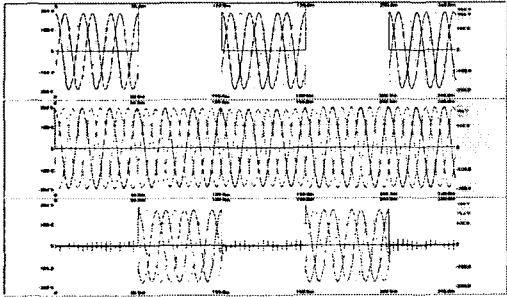


그림 9 UPS 모드 시뮬레이션 결과  
Fig. 9 Simulation result in UPS mode

#### 4.4 전압불평형

그림 10은 입력 전원에 전압불평형이 일어났을 경우의 시뮬레이션 결과이다. 이 시뮬레이션을 위해서 50ms 에서 100ms 까지 a상 전압은 그대로 두고 b상과 c상 전압을 60%로 줄였다. 그리고 150ms 에서 200ms 까지 마찬가지로 a상 전압은 그대로 두고 b상과 c상 전압을 60%로 줄인 뒤 7차 고조파를 추가하고 b상과 c상을 각각 -15와 +15로 위상변조 하였다. 전압불평형이 일어나더라도 각 상이 독립적으로 제어되어 부하에는 항상 정상적인 전압을 공급하여줄 수 있음을 알 수 있다.

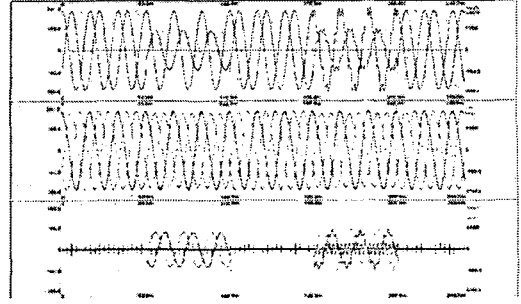


그림 10 전압불평형시 시뮬레이션  
Fig. 10 Simulation result in voltage unbalance

### 5. 결론

본 논문에서는 플라이휠 저장에너지를 이용한 다이내믹 UPS의 동작에 대해 분석하였다. UPS에서 대표적인 에너지 저장장치로 사용되는 배터리 대신 수명이 반영구적이고 크기가 작으며, 환경 친화적인 플라이휠을 사용하여 다이내믹 UPS를 구성하였다. 정상시에는 플라이휠에 에너지를 저장하여 두었다가 Sag, Swell, 전압불평형 등이 발생하였을 때 이를 보상하여 전력 품질을 향상시키고, 부하에 안정된 전압을 공급하며, 순간정전, 전압불평형, 단락 등의 사고가 발생했을 때 부하를 보호할 수 있음을 확인하였다. 각 모드별 시뮬레이션을 통해서 다이내믹 UPS의 올바른 동작 특성을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 플라이휠 저장에너지를 이용한 다이내믹 UPS의 타당성을 시뮬레이션으로 검증하였고, 차후 실험을 통하여 효용성을 입증할 예정이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행된 과제(02-중-02)임

#### [참고 문헌]

- [1] Sergio Augusto Oliveira da Silva, Pedro F. Donoso-Garcia, Porfirio C. Cortizo, Paulo F. Seixas, "A comparative analysis of control algorithms for three-phase line interactive UPS systems with series-parallel active power-line conditioning using SRF method," IEEE-PESC 2000, Vol. 2, pp. 1023-1028, 2000
- [2] Robert S. Weissbach, George G. Karady, Richard G. Farmer, "A combined uninterruptible power supply and dynamic voltage compensator using a flywheel energy storage system," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, pp. 265-270, 2001
- [3] Sergio Augusto Oliveira da Silva, Pedro F. Donoso-Garcia, Porfirio C. Cortizo, Paulo F. Seixas, "A three-phase line-interactive UPS system implementation with series-parallel active power-line conditioning capabilities," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 38, pp. 1581-1590, 2002
- [4] Vikram Kaura, Vladimir Blasko, "Operation of a phase locked loop system under distorted utility conditions," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 33, pp. 58-63, 1997