

# 순간정전 보상을 갖는 능동 전력 필터

이용덕, 이우철, 이택기, 김득수\*  
국립한경대학교 전기공학과, \*(주)파워트론

## An active power filter with an instantaneous power failure compensation

Yong-Duk Lee, Woo-Cheol Lee, Taek-Ki Lee, Deuk-Soo Kim\*

Dept. of Electrical Engineering Hankyong National Univ., \*POWERTRON ENGINEERING CO.,LTD

### ABSTRACT

This paper proposes a control algorithm for the power supply to maintain the desired output voltage waveform when the instantaneous power failure occurs. The proposed system switches the control mode between the voltage-controlled and the current-controlled modes in the instantaneous power failure. The proposed control method has little steady-state error and good transient response.

The validity of the proposed scheme is investigated through simulation and experimental results.

### 1. 서론

최근에 컴퓨터, 공정자동화(Factory automation)장비 및 통신시스템과 같은 전원환경에 민감한 부하들이 증가하는 추세에 따라, 신뢰성과 안정된 전원의 공급이 중요한 문제로 대두되고 있다. 국내 산업 현장에서의 전력 품질의 신뢰성은 매우 높은 편이지만 순간 전압강하(Sag) 및 순간정전(Instantaneous power failure)은 발생빈도가 높은 것으로 알려져 있다.<sup>[1]</sup> 미국 전력 연구원(EPRI-Electric Power Research Institute)에 의하면 Sag가 미국 생산시설에 대한 고장원인의 92%라고 보고하고 있다. 현재 반도체 공장 자동화 설비와 같은 시스템은 순간적으로 0.2초 이하로 지속되는 Sag에 의해 장비가 trip되게 된다. 이러한 문제에 의해 생산 설비의 가동이 중단되고, 생산과정이 제어되지 않아 불량품 발생 및 수 억원에 이르는 생산손실을 가져오게 된다.<sup>[1]</sup> 이와 같은 반도체 생산 공정에서의 전력 품질의 중요성 때문에 SEMI F47이라는 업계의 표준이 제정되었고, 반도체 생산 공정에 사용되는 모든 장비는 SEMI F47에 따라 설계되어야 한다.

전원 품질 이상은 다양한 원인에 의해서 발생되어지므로 전력을 공급하는 쪽에서는 원인을 알기가 힘들고, 그에 따른 대책을 세우는 것이 쉽지 않다. 이러한 문제의 대안으로서 UPS가 현재로서는 최적의 수단으로 제시되고 있고, 그 수요가 증대하고 있는 추세이다. 하지만 UPS의 경우 불안정한 전력 품질을 보완하기 위해서는 대규모 투자예산이 필요하며 설치 공간 또한 막대한 면적을 차지하게 된다. 또한 이에 따른 부재설비 시설과 관리인원이 필요하며 충전지 및 배터리의 유지보수 비용까지 합하여 비용은 기하급수적으로 증가하게 된다. 이러한 문제점 때문에 SEMI F47에서는 순간정전이나 Sag를 보상

하기 위해 배터리를 사용하지 않거나, 이를 최소화 해야 한다고 명시하고 있다.<sup>[1]</sup> 이 기준을 만족하는 Sag 보상장치는 외국 기업에서 제작이 되고 있는 상태이다. 그러나 현재 제작되었거나 연구되어 있는 제품들은 순간 정전 발생 시 전압강하에 대한 보상 모드로의 전환 과정에서 과도상태가 크고, RMS와 주기만을 보상하고 있다. 하지만 전원 품질에 민감한 부하들은 전압보상모드에서 출력전압의 크기와 주파수가 일정하고 파형이 일그러짐이 없는 정현파를 유지해야 한다.<sup>[2]</sup> 본 논문에서 제안된 방법은 저렴한 비용과 적은 공간으로 주요 자동화 설비를 약 1초 이내의 순간정전 및 순간 전압강하로부터 보호 가능하고, 출력파형은 정현파로 제어되도록 설계되었다.

### 2. 시스템 설계

#### 2.1 시스템 제어

1대의 전력 변환기로 APF(Active power filter)와 UPS(Uninterruptible power supply)의 기능을 구현하기 위해서는 제어모드의 전환이 필요하다. 순간 정전 보상 전원 장치(Instantaneous power failure compensation power supply : IPFC power supply)는 전류 주입을 통해 평상시는 고조파 및 역률 제어를 위한 계통연계(Utility Interactive) 모드로 동작하고, 순간 정전 시에는 전압 강하가 심각한 문제가 되기 때문에 이를 감지하여 UPS모드로 전환하여 독립운전(Stand alone) 모드로 전압을 보상하게 된다. 그림 1의 무순단 스위치(Static transfer switch)는 계통을 연결하거나 분리하는데 사용한다. 정상전압 상태에서의 APF모드는 무순단 스위치가 계통과 연결되어 전류를 제어하게 되고, 순간 정전이 발생하면 UPS모드로 전환되어 무순단 스위치는 계통을 분리하고 전압제어 모드로 전환된다.

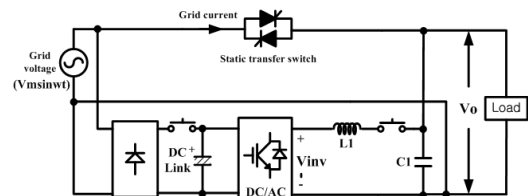


그림 1 순간정전 보상 전원장치  
Fig. 1 IPFC power supply

#### 2.2 제어 방법

APF의 제어는 정전 발생 시 전압 보상을 위해 DC전압을

입력 전압 207V(AC)에서 400Vdc로 제어를 한다. 고조파 제어는 단상 전류 파형을 3상 동기 좌표계에서의 이론을 적용하여 좌표 변환을 하여 고역 통과 필터를 거쳐 검출한다. 이때 단상 전류 파형을 필터 회로를 거쳐 90도 지연시켜 3상 정지 좌표계로 변환하면 기본파는 DC, 고조파는 AC로 나오게 되어 고역 통과 필터로 쉽게 검출 가능하다. 고조파 검출 후 역변환하면 단상 최종 출력을 얻게 된다.<sup>[3]</sup>

전압 보상모드의 제어는 출력전압 제어를 외부루프로 하고 과도응답을 향상시키기 위하여 내부루프로 전류제어를 수행하였다.<sup>[4]</sup> 무순단 스위치 특성상 Sag 발생 상황에서 단위역률(unity power factor)제어를 수행하고 있지 않다면 전원 전류가 완전 OFF될 때까지 Turn off 되지 않는다. 또한 복전 시에 무순단 스위치의 Turn on과 전압의 Peak시점에서 Turn on 시키면 돌입 전류가 발생하게 되고, 시스템은 Trip되게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 정확한 위상시점을 아는 것이 중요하다.

본 논문에서는 동기 좌표계 방식의 PLL(Phase Lock Logic)을 이용하여 문제점을 해결했다. 이 방식은 그림 2에서 보듯이 전압을 90도 지연시켜 제어하는 방식이다. 단 출력 전압도 검출하여 PLL 수행 시 보상하여야 한다. 제어 원리는 3상에서는 축 변환을 통하여 고정좌표계를 회전 좌표계로 변환하여 제어하게 된다. 단상인 경우는 고정 좌표계로 변환 시 입력 전압을 90도 shift된 파형을 필터를 통해 만들게 된다.<sup>[5]</sup>

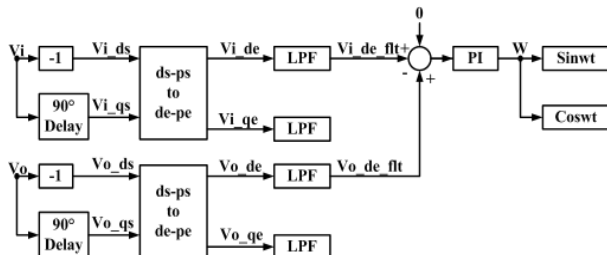


그림 2 순간 정전 보상 전원 장치 블록선도  
Fig. 2 The block diagram of IPFC power supply

### 3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 시스템은 PSIM을 이용하여 검토하고, 타당성을 검증했다. 시뮬레이션은 50% Sag 발생과 순간정전 발생으로 나누어 수행했고, 표 1은 시뮬레이션 및 실험에 사용한 파라미터이다.

표 1 시스템 파라미터  
Table 1 System specification and parameters

Parameter	Value	Unit
Switching Frequency(fs)	11	K[Hz]
Nominal DC Link Voltage	400	Vdc
Output Voltage	207	Vrms
Output Frequency	60	Hz
Output VA	5	KVA
Filter Inductor(L1f)	0.41	mH
Filter Capacitor(C1f)	100	uF

#### 3.1 50% Sag 발생

그림 3은 50% Sag 발생 시 전압 보상을 보여주고 있다. 제어모드는 정전 발생 전에는 계통과 연계하여 APF 모드로 동작

하고 있다. 정전 발생 후 Sag를 인식하면 무순단 스위치의 OFF 시그널을 내보내게 되고, 입력 전류를 판단해서 스위치의 OFF 상태가 확인되면 전압제어로 전환하게 된다. 그림 3을 보면 출력 전압은 모드 전환 시 및 후에도 안정적인 전압 파형을 보여주고 있다.

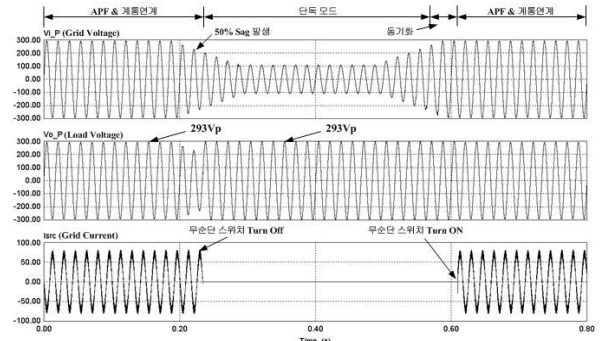


그림 3 50% Sag 발생  
Fig. 3 The occurrence of 50% sag

#### 3.2 순간정전 발생

그림 4는 순간정전 발생 시 전압 보상을 보여주고 있다. 완전한 정전 후에도 파형 및 주파수가 안정적인 것을 볼 수 있다.

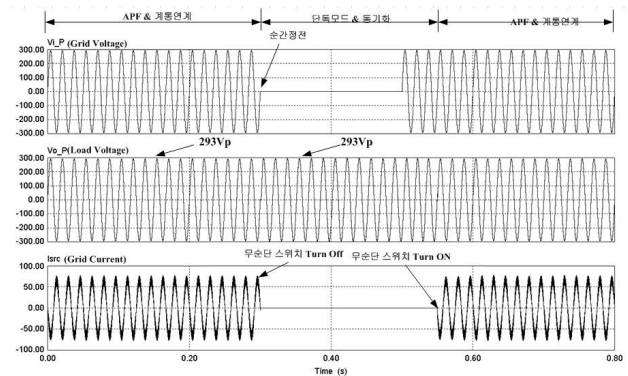


그림 4 순간정전 발생  
Fig. 4 The occurrence of the instantaneous power failure.

### 4. 실험

본 논문에서 제안한 디지털 시스템은 32bit 부동소수점 DSP인 TMS320C32를 이용했고, 스위칭 주파수는 11KHz 이다. 그림 5에서는 단상 5KVA/60Hz로 설계된 순간정전 보상 전원장치를 보여주고 있다.

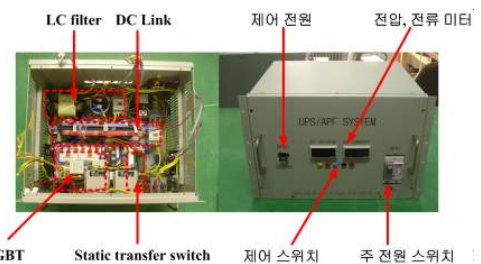


그림 5 순간정전 보상 전원장치  
Fig. 5 IPFC power supply

#### 4.1 50% Sag 발생

그림 6은 Sag 발생 시 전압제어모드로의 전환을 보여주고

있다. 모드 전환 시 약간의 전압 강하는 정전 인식 범위가 -15%이기 때문이다. 그림 6에서 알 수 있듯이 전압크기 및 주파수가 정전 발생 및 후가 일정하고 파형은 정현파를 유지하는 것을 볼 수 있다. 이러한 특성은 전원 품질에 민감한 부하에 적절히 대응할 수 있다. 또한 50% 순간 전압강하 발생 시간인 0.5초를 보상하기 위해서는 최대 30cycle 이상의 전압 보상이 이루어져야 한다. 전압 보상을 확인하기 위해 현재 시스템 설정에서 완전 동기 과정 후 계통연계 모드로 전환이 이루어지는 과정을 여러 번 수행하게 한 결과 30cycle 이상의 전압 보상을 확인했다.

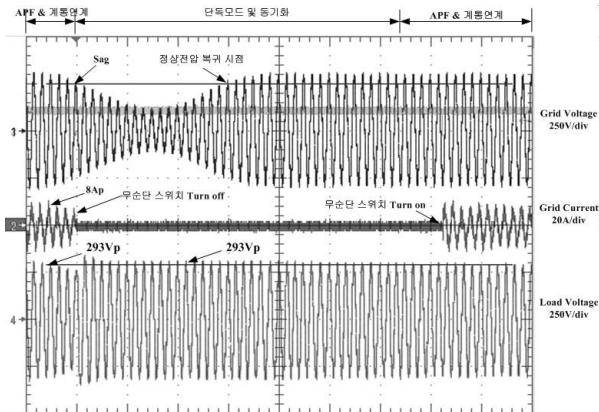


그림 6 50% Sag 발생  
Fig. 6 The occurrence of 50% sag

#### 4.2 순간정전 발생

그림 7는 순간정전 발생 시 전압보상 모드로의 전환을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 전압크기, 파형 및 주파수가 완전한 정전 상태임에도 정전 발생 전후가 일정하다.

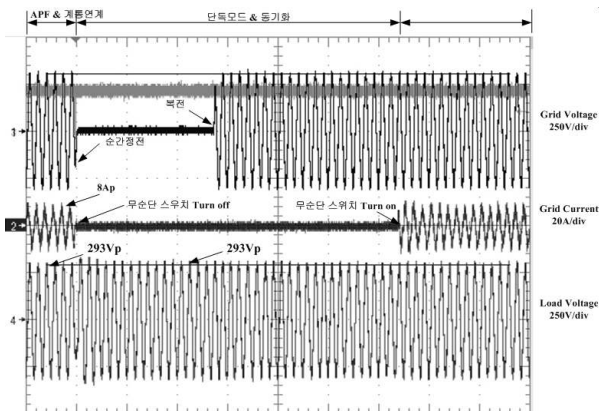


그림 7 순간정전 발생  
Fig. 7 The occurrence of the instantaneous power failure.

#### 4.3 계통연계로의 복전 시 동기화 과정

계통연계로의 복전 시 안정적으로 모드를 전환하기 위해서는 위상과 크기를 동기화 해야 한다. 동기화 과정이 없다면 돌입 전류에 의해서 시스템 에러 또는 trip된다. 그림 8에서 복전이 되면 PLL에 의해 출력전압은 입력전원의 위상을 추종하게 된다. 그 후 동기 확인 절차를 거친 후 전압의 크기가 같을 때 모드 전환을 수행하게 된다. 이러한 과정은 빠른 모드 전환을 보장한다.

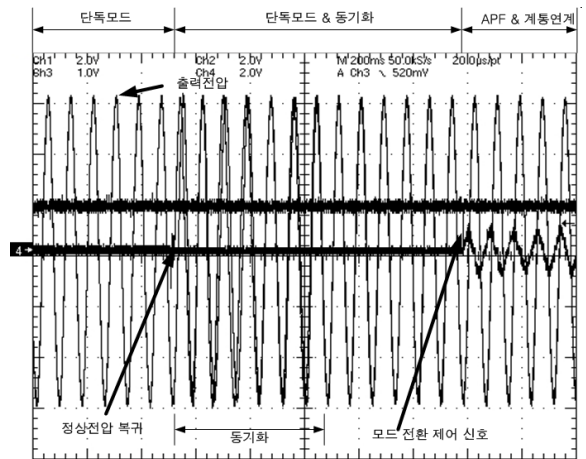


그림 8 동기화 과정  
Fig. 8 The phase synchronization

### 5. 결론

본 논문에서는 순간정전 발생 시 전원장치의 제어모드 전환을 통해 출력 전압의 보상을 제안하였다. 이 연구에서는 무순단 스위치의 특성을 이해하고 제안한 방법에 적용시켜, 빠른 모드 전환 및 양호한 과도 상태를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안한 방법을 이용해서 Sag나 순간정전에 영향을 많이 받는 산업분야에 적용한다면 생산 과정의 보호를 통해 수익성과 생산성을 향상시킬 수 있다.

This study was supported by a fund from the Brain Korea 21 project.

이 논문은 산업자원부 전력산업 연구개발 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

### 참고 문헌

- [1] Power Standards Lab, SEMI F47 CD-ROM
- [2] 김병진, 최재호, "UPS 인버터의 제어기술", 전력전자학회지, 제5권 제4호, 2000, pp18-24
- [4] R. Tirumala, N. Mohan, and A. Walter, "Seamless Transfer of Grid-connected PWM Inverters between Utility-interactive and Stand-alone Modes", in Proc. IEEE APEC Conf., pp. 1081-1086, 2002.
- [3] Xiaoming Yuan, Merk, W. Stemmler, H and Allmeling, J., "Stationary-frame generalized integrators for current control of active power filters with zero steady-state error for current harmonics of concern under unbalanced and distorted operating conditions", Industry Applications, IEEE Transactions, Volume 38, pp523 - 532, 2002
- [4] Ryan, M.J, Brumsickle, W.E, Lorenz, R.D., "Control topology options for single-phase UPS inverters", IEEE Transactions, Vo 33, pp493 - 501, 1997
- [5] 최시영, 김래영, 권형남, 송종환, "DQ 모델을 이용한 단상 계통연계 인버터의 제어", 전력전자 학술대회, pp. 602-605, 2003.