

# 산업용 인버터의 Power Loss Ride-Through

전미립, 김광연, 김정빈, 김경서

LS산전 자동화 제품 연구소

## Power Loss Ride-Through of Industrial Inverter

M. R. Jeon, K. Y. Kim, J. B. Kim, K. S. Kim

LSIS R&D Center LS Industrial Systems Co., Ltd

### Abstract

일반적으로 유도전동기를 구동시키기 위한 범용 인버터는 입력 전원에 정전이 발생하였을 경우 부하에 따라 수msec에서 수백msec 안에 저전압 트립이 발생하여 PWM 출력이 차단된다. 부하의 관성이 큰 경우 전원이 복구 되었을 때, 기존의 속도로 제어되기 위해서는 부하가 완전히 멈춘 후 인버터를 구동시키고, 다시 큰 관성의 부하를 가속하는데 긴 시간이 필요하다.

본 논문은 유도전동기를 V/f 제어방법으로 운전할 경우 정전이 발생했을 때 인버터의 출력을 차단하지 않고 연속적인 제어를 행하는 Ride-Through 방법으로서 부하의 관성 에너지를 인버터 직류단에 회생시키도록 출력 주파수를 제어하는 방법을 제안하고 실험을 통해 이를 검증하였다.

### 1. 서론

최근에 전력 변환 장치를 이용한 가변속 구동 시스템에 있어서 AC 입력부에 정전이 발생하게 되면, 유도전동기를 제어하던 인버터의 직류단 전압이 낮아지게 되고 수백msec 안에 저전압 트립(Low Voltage)이 발생하여 출력이 차단된다. 그러나 전원이 차단 되더라도 부하 시스템의 관성 때문에 전동기의 회전은 얼마간 지속된다.

전동기가 완전히 정지하기 전에 전원이 공급되더라도 인버터는 전동기의 실제 회전속도를 알 수 없기 때문에 정상적인 속도로의 가속이 어렵다.

인버터를 다시 동작시켜 정상적인 제어를 하기 위해서는 전동기가 완전히 정지될 때까지 기다려야 한다. 만약 공조를 위한 팬과 같이 관성이 큰 부하를 갖는 시스템의 경우 전동기가 정지하기 위해서는 오랜 시간이 걸리며, 다시 속도 지령 값으로 가속하는 시간 또한 길어지게 된다. 이 시간이 어떤 공정에서는 매우 큰 손실로 나타날 수 있다.

전동기의 회전 중 인버터를 재 구동시킬 경우 순간적으로 과도한 전류가 발생하기 때문에 전류를 제한시키기 위한 방법이 사용될 수 있다.<sup>[1][2]</sup> 하지만 본 논문에서는 운전 중 부하가 인가되어 있는 상태에서도 정전이 발생하면 전류의 급격한 변화 없이 PWM 출력을 유지하면서 저전압 트립이 발생하지 않도록 전동기 회전 에너지를 DC Link에 환원시키는 방법을 제안하였다. 또한 제어 계인에 따라 특정 주파수에서 직류 전압 및 전류의 진동 문제를 해결하기 위해 전류 헌팅 방지 기법을 적용하였다.

### 2. Power Loss Ride-Through

#### 2.1 제어 시스템 구성

기본적으로 유도 전동기를 구동하기 위한 시스템은 다음 그림 1과 같이 구성된다.

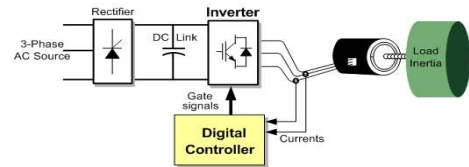


그림 1 유도 전동기 구동 시스템

3상의 전압이 인가되면 이를 정류하여 DC Link를 통해 인버터에 전원을 공급하고, 제어기를 이용하여 전동기에 지령 전압을 인가하게 된다. 이 때 본 연구에서는 전동기에 비해 비교적 관성이 큰 부하를 대상으로 하였다.

#### 2.2 제안한 Ride-Through 알고리즘

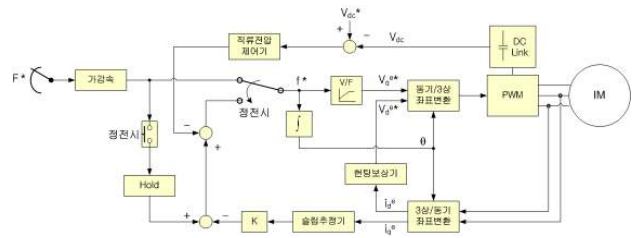


그림 2 Ride-Through 제어 블록

논문에서 사용한 Ride-Through 방식은 기본적으로 정전 시 전원이 공급되지 않게 되어 직류단의 전압이 낮아지게 될 경우 전동기에 슬립이 발생하지 않도록 하여 에너지가 전동기 부하 축에 전달되지 않도록 하는 방식이다. 여기에 전동기 손실 및 제어 전원용 에너지를 확보하기 위해 그에 해당하는 에너지는 전동기를 회생운전 시켜 확보 한다. 부하가 인가되어 슬립주파수가 존재하는 상태에서는 직류단 전압이 급격하게 감소하기 때문에 빠른 제어 응답이 필요하며 통상 PI제어 만으로는 어렵기 때문에 현재의 부하량을 추정하여 빠르게 보상하는 방법이 필요하다. 또한 직류단 전압을 일정하게 유지하도록 전동기 속도를 감소시켜 회생 상태가 되도록 하고 이 때 부하는 속도가 0으로 될 때까지 인버터 및 전동기의 제어를 유지시킬 수 있게 된다. 본 방식은 정전

시 인버터의 PWM 출력을 유지하고 있기 때문에 전원이 복구 되었을 때 속도를 빠르게 회복할 수 있다는 점에서 큰 이점을 갖고 있다.

위에 설명한 것을 구체적으로 나타낸 것이 그림 2이다. 정전 발생 시 직류단의 전압이 낮아지게 되고, Ride-Through 모드로 제어 방식이 전환된다. 정격 속도에서 정전이 되는 순간의 부하량, 즉 슬립 주파수를  $q$ 축 전류를 통해 추정하여 지령 주파수에 감산 시킨다.

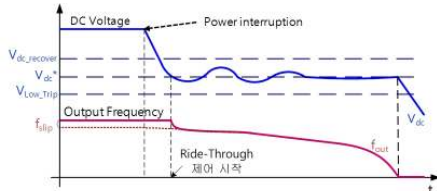


그림 3 Ride-Through 동작

또한 그림 3에서와 같이 직류단의 전압을 일정( $V_{dc}^*$ )하게 유지하도록 전압 PI 제어를 추가한다. 만약 부하가 정지하기 전에 전원이 공급되어 DC Link 전압이 특정 전압( $V_{dc\_recover}$ ) 이상 회복되면 제어 방식이 일반적인 유도 전동기의 속도 제어로 전환되어 정상 목표 주파수로 가속한다.

### 2.3 Ride-Through 동작 안정화

Ride-Through 상태 중 출력 주파수가 감소하다 특정 주파수에서 직류단 전압 및 전류가 진동(Oscillation)하는 현상이 발생한다. 이 때의 주파수는 제어 게인 설정에 따라 다르게 된다. 전류 진동에 의해 전압의 흔들림이 트립 값까지 넘어가게 되어 저전압 트립이 발생하게 된다.

따라서 본 연구에서는 Ride-Through 기법의 안정화를 위해 전류 헌팅 방지 알고리즘을 추가 하였다. 그림 2에서 헌팅 보상기 부분이 헌팅 방지 알고리즘을 블록으로 나타낸 것이다. 전류 진동을 방지하기 위해서 전압의 값을 가변 하였다

## 3. 실험 및 결과



그림 4 Ride-Through 실험 장치

제안한 Ride-Through 알고리즘을 검증하기 위해서 그림 4와 같은 시스템을 구성하여 실험 하였다.

유도 전동기에 Ride-Through 알고리즘이 적용된 인버터를 연결시키고, 다른 유도 전동기를 부하로 연결시켰다. 이 때 부하측 인버터는 큰 관성 특성을 갖도록 하기 위한 관성 시뮬레이터 기능과 팬, 펌프와 같이 회전 속도의 제곱에 비례하는 가변 토크(Variable Torque, VT) 부하 시뮬레이터 기능을 갖도록 구성하였다. 이 때 VT 부하에 대한 T-N커브 특성이 그림 5 (a)에 나타나있다.

그림 5의 (b)와 (c)는 무부하일 때와 부하가 인가되었을 때 Ride-Through 특성을 나타낸 파형이다. 무부하인 (b) 파형과 비교하면, 부하가 인가되어있는 (c)에서는 직류전압이 급격히 감소하기 때문에 이를 보상할 수 있는 빠른 제어 응답 특성을 나타내고 있다.

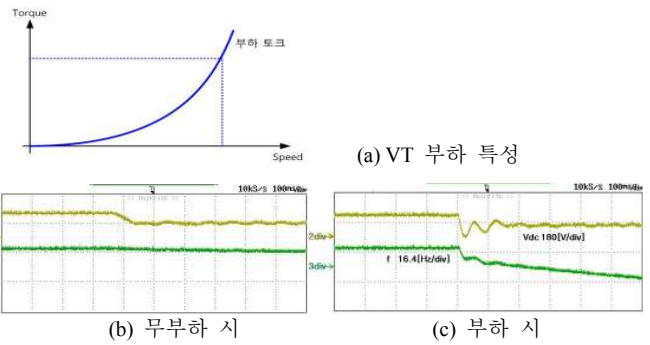


그림 5 부하 특성 및 부하에 따른 Ride-Through 특성

실험 장치를 통해서 전원 공급 차단 시 Ride-Through 알고리즘이 작용했을 때의 동작 특성을 그림 6 (a)에 나타내었다. 약 0.7[sec]와 2[sec]의 전원 차단 후 복전 시 정상 목표 주파수로 복귀됨을 알 수 있다. 또한 전원이 복전되지 않더라도 전동기가 정지할 때까지 5.2[sec]까지 부하의 기계 관성 에너지를 이용하여 직류단 전압이 유지되는 것을 볼 수 있다.

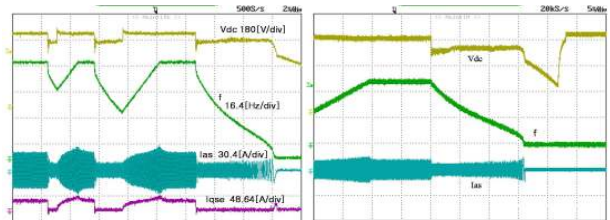


그림 6 슬립 보상 운전

그림 6 (b)는 실제 Ride-Through 알고리즘이 적용된 공조 시스템의 파형을 나타내고 있다. 이 경우 실험 장치의 부하특성 보다 더 큰 관성을 갖고 있으므로 정지 시까지 출력이 16[sec] 정도 유지되는 것을 볼 수 있다.

## 4. 결론

본 논문은 전동기 구동 시스템의 입력 전원 정전 시 인버터의 직류단 전압을 유지하기 위한 Ride-Through 알고리즘을 제안 하였다.

이에 따라 부하가 인가되어 있는 상태에서 정전이 발생했을 때 슬립주파수를 빠르게 보상하고, 직류단 전압을 일정하게 유지시킬 수 있는 성능을 얻을 수 있었다. 또한 출력 주파수의 감소 중 특정 주파수에서 나타나는 전류 진동 현상을 방지하기 위한 알고리즘도 추가 하였다.

제안한 알고리즘을 검증하기 위한 실험을 진행하였으며, Ride-Through 적용에 따른 직류단 전압 유지 특성을 통해 타당성을 입증하였다.

## 참고 문헌

- [1] Joachim Holtz and Wolfgang Lotzkatz, "Controlled AC Drives with Ride-Through Capability at Power Interruption", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, No. 5, pp. 1275-1283, Sept./Oct. 1994.
- [2] Brian J. Seibel, Russel J. Kerkman, and David Leggate, "Inverter Control During Overload and Following Power Interruption", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 28, No. 3, pp. 567-573, May./June. 1992.