

# 전압 측정 장치를 사용한 고압 인버터의 재기동 방법

최승철, 홍찬욱, 유안노

LS산전 연구소

Restarting strategy of medium-voltage inverter with voltage sensor

LSIS R&D Center

## Abstract

산업계에서 많이 사용되는 고압 전동기는 일반적으로 관성이 크므로, 인버터 입력 전원의 고장 또는 정전 사고 후 복전 시, 전동기를 멈추고 재기동 하기까지 오랜 시간이 걸린다. 이러한 재기동 시간을 줄이기 위해, 고압 전동기를 멈추지 않고, 자유 회전 상태에서 재기동이 가능한 플라잉 스타트(flying start) 기능이 요구된다. 본 논문에서는 전압 측정 장치를 사용한 플라잉 스타트 방법을 제안한다. 제안한 방법은 전압 측정 장치를 통해 측정된 전동기의 잔류 전압 정보를 사용하여 전압의 크기, 주파수, 위상을 보상한다. 자사의 고압 인버터를 사용하여 실험을 통해 그 유효성을 검증하였다.

## 1. 서론

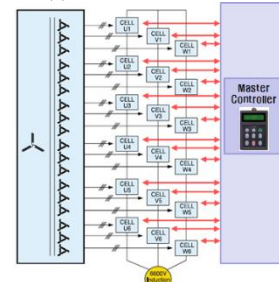
산업용 고압 인버터(medium voltage inverter)는 주로 3.3kV에서 10kV까지의 입출력 전압과 수 백 kW부터 수 MW의 출력 전력(output power) 범위를 가지며 팬(fan), 펌프(pump), 컴프레서(compressor), 컨베이어(conveyor)와 같은 응용 분야에 주로 사용된다. 고압 전동기 분야는 약 97%가 정 속도(fixed speed) 운전을 하고, 나머지 3%가 가변 운전(variable speed)을 하며, 운전 방식으로 구현이 쉽고, 강인한 제어 특성을 갖는 V/f 운전이 많이 사용된다.

고압 인버터의 회로 구성(topology) 방법으로는 다단(multi-level)의 출력 전압을 갖는 멀티 레벨 인버터(multi-level inverter)가 주로 사용되고 있으며, 대표적인 고압 인버터의 구조로는 NPC(Neutral Point Clamped) 인버터, 플라잉 캐패시터(Flying Capacitor : FC) 인버터, 직렬형 H-브릿지(Cascaded H-Bridge : CHB) 인버터가 있다.

현재 산업계에서는 멀티 레벨 고압 인버터로 직렬형 H-브릿지 인버터가 많이 사용되고 있다. 직렬형 H-브릿지 인버터는 단위 전력 셀(unit power cell)의 출력 전압을 직렬 연결하는 방식으로, 인버터를 구성하는 전력 셀의 개수에 따라 다양한 출력 전압과 용량이 결정된다. 직렬형 H-브릿지 인버터는 출력 전압 합성 시, 낮은 dv/dt와 우수한 전 고조파 왜율(THD)의 장점이 있으며, 각 셀마다 독립된 직류 전원을 사용하여, 유지 보수가 용이하고, 저압 인버터의 기술을 이용하여 고압 인버터를 운용할 수 있다는 장점으로 인하여 산업계에서 많이 사용되는 고압 인버터이다. 그림 1은 LS산전의 직렬형 H-브릿지 인버터의 사진과 구성도를 나타낸다.



(a) LSMV 고압인버터



(b) 직렬형 H-브릿지 인버터 구성도

그림 1. LSMV 고압 인버터 사진과 구성도

고압 전동기는 주로 유도 전동기(induction machine)가 사용되며, 대용량 시스템의 특성 상 기계 관성(inertia)이 크기 때문에 입력 전원의 고장 또는 정전 사고 후 복전 시, 재기동(restarting)을 위해 전동기가 멈추기까지 오랜 시간이 걸린다. 이러한 재기동 시간을 줄이기 위해, 전동기가 자유 회전 중인 상태에서 재기동이 가능한 플라잉 스타트(flying start) 기능이 필요하다.<sup>[1]</sup> 대용량 시스템에서의 빠른 재기동 성능은 사용자의 경제적 이득과 직접 관련이 있기 때문에 산업계에서는 이에 대한 지속적인 성능 개선 요구가 있어 왔다.

본 논문에서는 고압 대용량의 유도 전동기 재기동 시간을 줄이면서 안정적인 재기동 성능을 확보하기 위해 인버터 출력 단 전압 측정 장치를 사용한 재기동 방법을 제안한다. 통상의 고압 인버터는 안전 상의 이유로 인버터 출력 단의 전압을 측정하는 장치를 포함하는 경우가 많다. 제안된 방법은 입력 전원 고장 발생으로 인한 전동기 자유 회전 중, 잔류 전압(residual voltage)을 측정하고, 측정된 전압을 사용하여 재기동을 위한 적절한 출력 전압을 합성한다. 제안된 방법은 자사의 고압 인버터의 단위 전력 셀을 이용한 실험을 통하여 그 유효성을 검증하였다.

## 2. 전압 측정 장치를 사용한 재기동 방법

산업용 고압 인버터는 일반적으로 출력 전력 계산 및 동기 절체 운전을 위해 분압 저항으로 구성된 인버터 출력 전압 측정 장치를 사용한다. 전압 측정 장치는 그림

2와 같이 전동기 입력 단에 위치하여 인버터의 정상 운전 시, 인버터 출력 전압을 측정하고 인버터 고장 발생 시에는 인버터의 과전류, 과전압 보호를 위해서 인버터 출력이 멈추고, 전동기는 관성에 의해 자유 회전하게 된다.<sup>[2]</sup> 자유 회전 운전 동안 측정되는 전동기 입력 단 전압은 전동기의 잔류 전압이다. 이 잔류 전압의 주파수는 회전자 속도와 동일하고, 시정수와 회전자 속도가 클수록 잔류 전압의 크기가 상대적으로 천천히 감소한다.

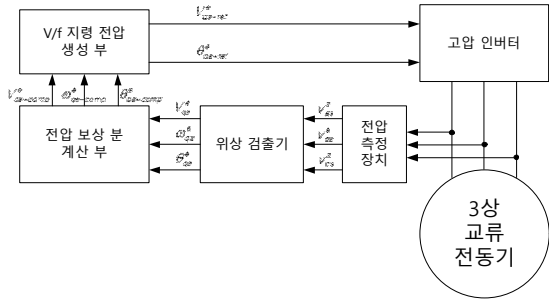
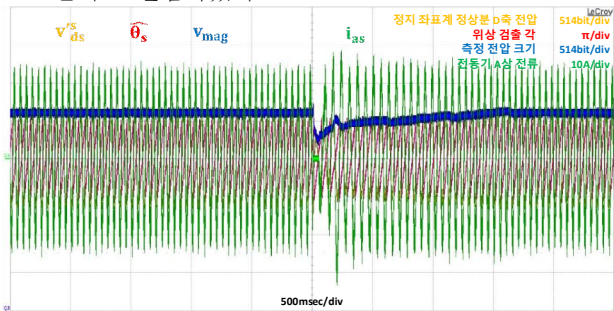


그림 2. 플라이 스타트 구성도

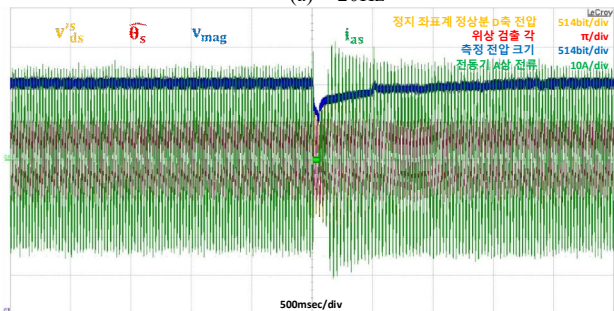
위상 각 추정기는 자유 회전 동안 측정된 전동기 잔류 전압의 크기(magnitude), 주파수(frequency), 위상(phase)을 추정한다. 전동기 자유 회전 중, 잔류 전압과 동일한 전압을 전동기에 인가하게 되면, 고정자 임피던스에 의한 전압 강하, 샘플링(sampling) 및 PWM 전압 합성, 부하에 따른 속도 변동으로 인하여 큰 돌입 전류(inrush current)가 발생하게 된다. 따라서 측정된 잔류 전압의 크기, 주파수, 위상을 각각 보상하여 수정된 지령 전압을 계산한다. 계산된 지령 전압은 복전 후, 재기동 운전에서 사용되며, 재기동 후에는 기존의 V/f 운전 주파수에 해당하는 전압까지 전압 크기를 증가시키고, 기존의 V/f 운전으로 절환하여, 고장 이전의 운전 점으로 운전한다.

### 3. 실험 결과

제안한 방법의 유효성을 검증하기 위해 자사의 고압 인버터를 사용하여 실험을 수행하였다. 실험은 전동기 정격의 일정 토크 부하 조건에서 20Hz부터 60Hz까지 20Hz 단위로 실험하였다.



(a) 20Hz



(b) 40Hz

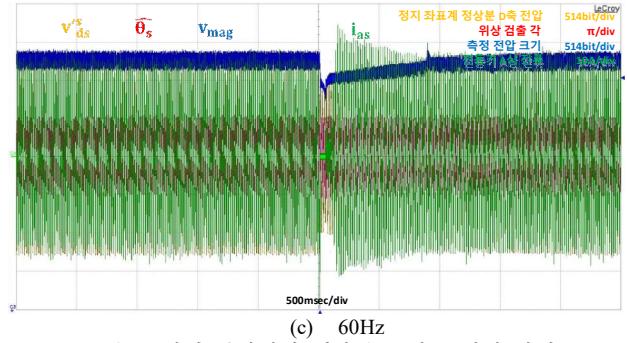


그림 3. 정격 부하에서 플라이 스타트 실험 파형

그림 3은 V/f 운전 중에 플라이 스타트를 실험한 결과이다. 잔류 전압의 크기는 자유 회전 시간이 길수록 작아지는데, 정격 부하 실험이 가능하도록 자유 회전 시간은 50msec로 설정하였다. 인버터 정상 운전 중, 임의의 시간에 인버터 출력을 멈춤으로써, 인버터 출력 전압과 전류는 모두 0으로 수렴한다. 전동기는 50msec 동안 자유 운전을 하고, 부하 상황에 따라서 잔류 전압의 크기가 감소한다. 인버터 출력이 관계없이 자유 운전 중에 잔류 전압을 측정하여, 전압의 크기와 위상을 계산하므로, 임의의 시간에 재기동이 가능하다. 자유 운전 후, 재기동 시에는 전압 위상의 왜곡 없이 잔류 전압과 동기 되어 인버터 전압이 전동기에 인가되고, 큰 돌입 전류가 발생하지 않음을 알 수 있다. 이때, 출력 전압의 크기와 주파수는 보상 방법에 의해 잔류 전압과 다르다. 전압 인가 후에 기존의 V/f 운전 절환을 위하여 인버터 출력 전압을 증가시키는데, 이 운전 구간에서 전동기 전류가 정상상태의 전류보다 약간 커지는 현상이 발생한다. 이러한 현상은 잔류 전압 감소에 따라 토크를 발생시키기 위한 전류가 증가하기 때문에 발생한다. 재기동에 사용되는 인버터의 출력 전압은 기본적으로 잔류 전압의 크기에 의해 결정되므로, 재기동 시작 시점의 잔류 전압이 크면 클수록 발생하는 전류의 크기는 감소한다. 출력 전압이 해당 주파수의 V/f 전압만큼 증가한 후에는 전류가 다시 감소하여, 고장 이전의 운전 점으로 회복함을 확인할 수 있다.

운전 주파수에 관계없이 정격 부하까지 전동기 회전 중에 재기동이 가능한 플라이 스타트 운전이 가능하며, 인버터의 허용 가능 전류 이내에 돌입 전류가 발생하도록 한 안전한 재기동 동작을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서 고압 인버터의 재기동을 위한 플라이 스타트 방법을 제안하였다. 제안한 플라이 스타트는 기존의 고압 인버터의 인버터 출력 전압 측정 장치로부터 측정된 잔류 전압을 바탕으로 전동기 잔류 전압의 크기, 주파수, 위상을 추정하고, 안전한 재기동 운전을 위해 인버터 및 전동기 특성을 고려한 전압 보상을 통하여 재기동을 위한 적절한 출력 전압을 합성하였다. 제안한 방법은 재기동 시 허용 가능 범위 내의 돌입 전류가 발생하며, 안정적인 재기동이 가능함을 실험을 통해 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] Bun Wu, "High-Power Converters and AC Drives", Wiley, 2006.
- [2] Rockwell : PowerFlex 7000 Medium voltage AC Drive, Technical Data, 2014.