

v/f 제어 방식의 인버터에 의한 속도센서 없는 유도 전동기의 재기동 방법

김선자, 김정하
LS산전

A Restarting Method by v/f-controlled Inverter for Induction Motor without a Speed Sensor

Sun-ja Kim, Jeong-ha Kim
LS Industrial Systems

ABSTRACT

본 논문에서는 순시정전 직후 재운전 혹은 외력에 의하여 전동기가 회전하고 있을 때 인버터에 의한 유도 전동기의 재기동 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 전류 제어기의 오차에 포함된 리플 성분을 이용하여 속도 센서 없이 회전 속도를 추정하는 방법에 대해 고찰하며 시뮬레이션 및 유도 전동기를 이용한 실험을 통하여 재기동 알고리즘의 타당성을 입증한다.

1. 서론

팬(Fan)과 같은 부하는 인버터가 운전 정지 중에도 외력으로 인하여 임의의 방향으로 회전하게 되는 경우가 있다. 또한 교류 입력 전원에 순시 정전이 발생하면 전동기는 관성에 의해 프리런하게 되고 인버터는 전동기의 회전 정보를 잃게 된다. 복전 후 재기동 시 속도 센서가 없는 유도 전동기의 V/F 운전에서 전동기 실제 속도와 비례하지 않는 전압을 인가하게 되면 인버터는 과전류 혹은 DC Link 양단에 과도한 회생 전압이 발생하게 되어 인버터는 정지하게 되고 최악의 경우 전동기와 인버터 모두 손상을 입을 수 있다. 따라서 재기동 시 모터의 회전 정보를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 이와 같이 회전 혹은 정지 상태에서도 유도 전동기의 안정적인 재기동 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하고자 한다.

2. 재기동 알고리즘

제안하는 재기동 알고리즘은 전류 제어기를 이용하여 속도 정보를 추정한다. 그림 1과 같이 추정된 속도 정보는 삼각 함수를 이용한 속도 추정기(Speed Estimator)를 통해 제어각과 속도를 추정하여 전체 제어에 이용한다. 전압 조정기를 통해 조정된 전압이 V/F 비에 비례하는 전압 크기가 되면 재기동은 완료되고 정상적인 V/F 제어를 진행하게 된다.

2.1 전류 제어

전류 제어기에서 입력으로 사용되는 직류 성분의 d축 지령 전류(i_{dref})는 0이 되고 q축 지령 전류(i_{qref})는 전동기의 무부하 전류 정도의 크기를 갖는다. 그림 1(a)과 같이 지령 전류와 이를 추종하는 계환 전류(i_{dcb} , i_{qcb})의 오차 전류(i_{err})는 식 (1)과 (2)

로 나타낸다. 그림 1(b)와 같이 오차 전류에 포함된 제어각(θ) 성분은 dq 좌표계를 이용하여 식 (3), (4)로 표현되며 속도 추정의 입력이 된다.

$$i_{derr} = i_{dref} - i_{dcb} \quad (1)$$

$$i_{qerr} = i_{qref} - i_{qcb} \quad (2)$$

$$\sin\theta = \frac{i_{qerr}}{\sqrt{i_{derr}^2 + i_{qerr}^2}} \quad (3)$$

$$\cos\theta = \frac{i_{derr}}{\sqrt{i_{derr}^2 + i_{qerr}^2}} \quad (4)$$

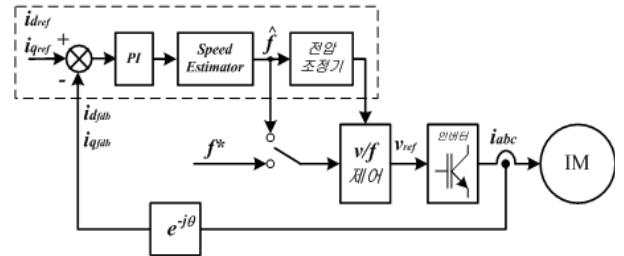
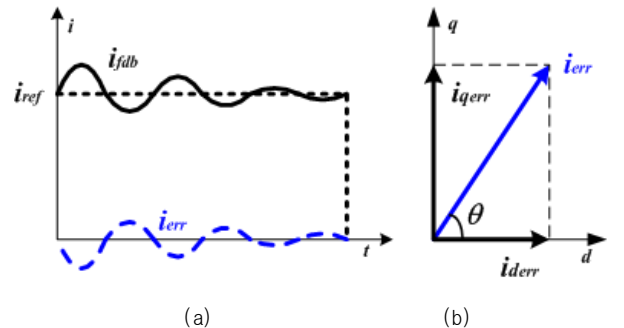


그림 1 재기동 블록 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of restart



(a) (b)
그림 2 오차 전류 해석
Fig. 2 Analysis of error current

2.2 속도 추정기

전류에 포함되어 있는 리플 성분을 실제 V/F 제어에 필요한 주파수 정보로 바꾸기 위해서 그림 3과 같은 삼각 함수 덧

셈 정리를 이용한 속도 추정기를 적용하였다. 실제 제어각(θ)과 추정 제어각($\hat{\theta}$)이 일치하면 오차(ε)는 식 (5)와 같이 0이 되고 적분기를 이용하여 실제 회전 주파수(ω)와 제어각을 추정한다.

$$\varepsilon = \sin(\theta - \hat{\theta}) = \sin\theta\cos\hat{\theta} - \cos\theta\sin\hat{\theta} \quad (5)$$

$$\approx (\theta - \hat{\theta}) \approx \Delta\theta \approx 0$$

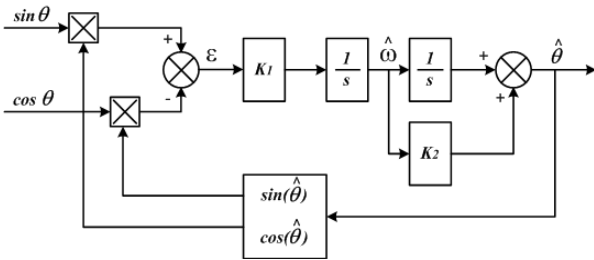


그림 3 속도 추정기의 블럭다이어그램
Fig. 3 Block diagram of speed estimator

2.3 전압 조정기

전압 조정기는 속도 추정기에서 출력된 추정 주파수에 알맞은 전압을 생성하도록 하는 역할을 한다. 전압 조정기에서는 조정된 전압이 추정 주파수의 V/F 비에 비례하는 전압이 되면 속도추정 알고리즘을 끝내고 기존의 V/F 제어로 넘어간다. 전압 조정은 현재 전압 크기에서 정해진 시간 동안 점진적으로 이루어지기 때문에 과도한 동작 전류가 발생하지 않는다. 추정된 주파수는 지령 주파수에 도달하도록 알맞게 가감속을 하게 된다. 이때 가감속 시간은 키패드(Keypad)에서 설정하는 가감속 시간을 따르게 된다.

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션

그림 4는 3.7[kW]급 유도 전동기를 정격 속도인 1800[rpm]으로 운전 중 정전 발생 1초 후 복전하여 재가동하는 MatLab 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 지령 속도를 따라 정상 운전하다가 1초 동안 전류를 끊고 유도 전동기를 프리런 시킨 후 다시 가동하는 유도 전동기의 회전 속도와 상전류 파형을 나타낸다. 속도를 추정하는 동안 팬·펌프 전용 전동기 입력 U상 전류를 살펴보면 정상 운전시의 전류 크기로 동작하고 가속 후 정전 이전의 속도(1800[rpm])로 회복함을 확인 할 수 있다.

3.2 실험

실험을 위하여 자사 인버터와 7.5[kW] 유도 전동기를 사용하였다. 인버터는 7.5[kW] 용량으로 PWM 스위칭 주파수는 재가동이 수행되는 동안은 3[kHz]로 고정하였다. 실험은 그림 5의 전체 흐름도와 같이 정상적인 V/F 제어 운전을 하다가 정전을 일으켜 동일하게 4초 동안 프리런 시킨 후 인버터를 복전시켜 재가동을 수행하였다. 재가동이 이루어지는 전체 수행 시간은 1.5초이며, 재가동이 완료되면 추정된 주파수는 V/F 제어에 인계되고 키패드(Keypad)에서 설정된 가감속 시간에 따라 가감속 수행 후 지령 주파수 도달하여 정상적인 운전을 수행한다. 실험 파형들은 각각 지령 주파수, 실제 주파수, 상전류를

나타낸다. 그림 6의 점선으로 된 원을 살펴보면 운전 주파수와 운전 방향에 상관없이 동작 전류가 정상 운전 시의 전류 크기로 안정적으로 동작하며 회전 주파수를 추정하여 지령 주파수로 운전함을 알 수 있다.

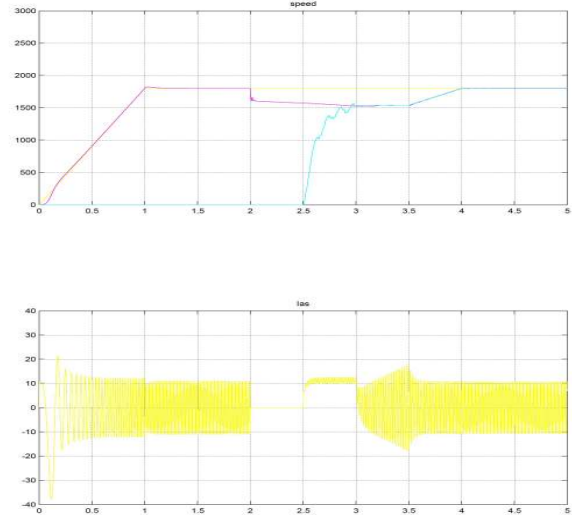


그림 4 시뮬레이션 파형
(상: 속도[500rpm/div], 하: U상전류[10A/div])
Fig. 4 Waveforms of simulation
(Upper: Speed[500rpm/div], lower: Iu[10A/div])

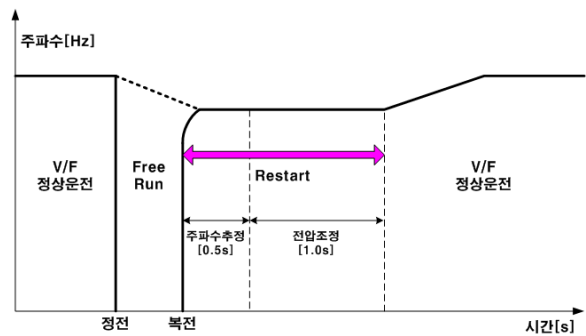
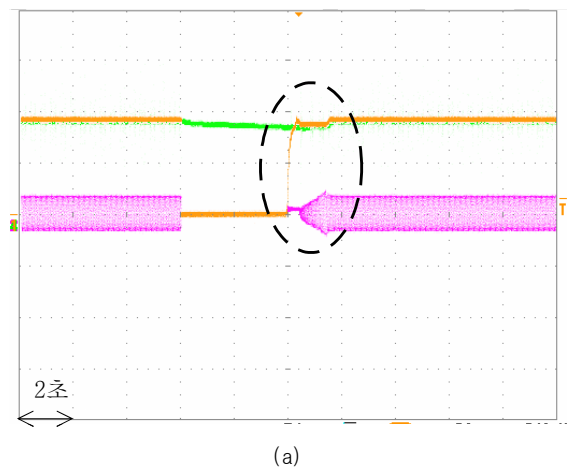
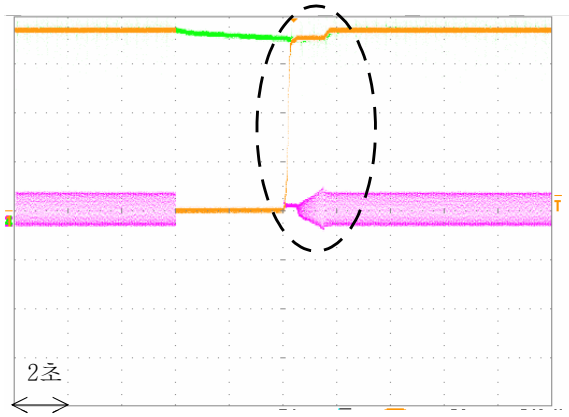
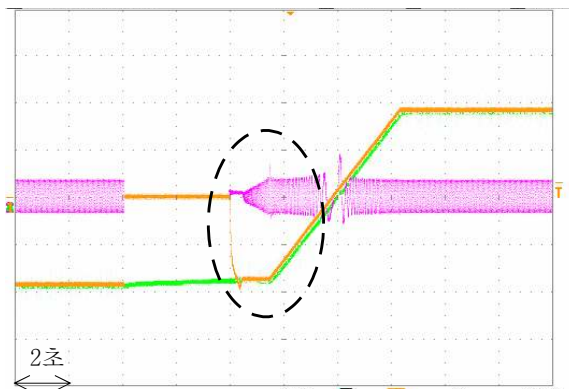


그림 5 재가동의 흐름도
Fig. 5 Time chart of restart algorithm

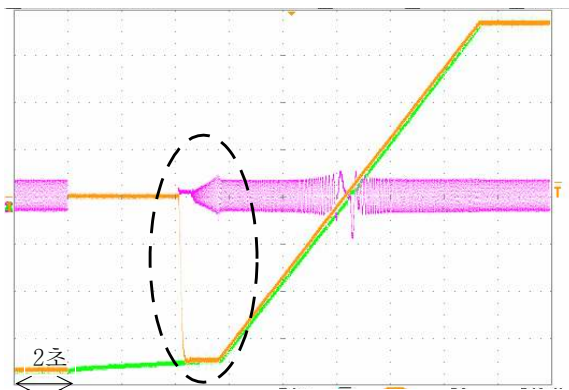




(b)



(c)



(d)

그림 6 실험 파형

- (a) 정회전 30[Hz]
- (b) 정회전 60[Hz]
- (c) 역회전 30[Hz] → 정회전 30[Hz]
- (d) 역회전 60[Hz] → 정회전 60[Hz]
- (상: 속도[16Hz/div], 하: 상전류[25A/div])

Fig. 6 Experimental waveforms
(Upper: Real Speed[16Hz/div], lower: Ias[25A/div])

4. 결론

본 논문에서는 속도 센서가 필요 없는 유도 전동기의 재기동 알고리즘을 제안하며 전류 제어를 이용하여 dq축에 흐르

는 전류 속에 포함된 주파수 성분을 이용하여 회전하는 유도 전동기의 실제 주파수를 추정할 수 있었다. 제안한 재기동 알고리즘을 시뮬레이션과 다양한 실험을 통해 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 유도 전동기에 적용한 결과 안정적인 전류로 동작하고 신속하게 주파수를 찾아 정상 운전을 회복함을 확인하였다. 제안한 재기동은 순시 정전 시나 외력에 의해 회전하는 부하를 재기동 시킬 때 유용하게 사용될 것이다.

참고 문헌

- [1] Junichi Itoh, Shinichi Ishii, "速度センサのない誘導機駆動システムの再起動法", 전기산업응용학술대회, Vol. 76, No. 4, pp. 173-178, 2005, June.
- [2] 김광민, 김선자, 김정하, "자속추정기를 사용한 IPM Sensorless 제어방법", 전력전자학술대회 논문집, pp. 98-100, 2006, June.
- [3] Adel G, Masaaki T, Takaharu T, Nobuyuki M, "Improvement of a stator-Flux-Oriented Speed Sensorless Control of an Induction Motor, Power conversion conference, pp. 415-420, 1993, April.