

## 가변속 드라이브 적용을 위해 고려해야 할 사항

김종겸  
원주전문대 전기과

이은웅, 이동주  
충남대학교 전기공학과

임재일  
한국수자원공사

### Considerations for application of Adjustable Speed Drive(ASD)

Jong-Gyeum Kim  
Dept. of Electrical Engineering  
Wonju National Junior Colleague

Eun-Woong Lee, Dong-Ju Lee  
Dept. of Electrical Engineering  
Chungnam National University

Jae-Il Im  
KOWACO

#### Abstract

Industry today utilizes adjustable-speed drives for a variety of application. This paper will present general guidelines to optimize selecting the drive or drive system for the needs of the application and introduce the user to the many items that must be covered by such industry standards in order to assure successful applications on ADS.

#### 1. 서론

1980년대부터 신호와 전력전자기술의 발전으로 다양한 전력변환장치의 개발과 함께 정속도 특성을 갖는 유도전동기에 이들 기술을 이용해서 속도조절이 요구되는 부하의 운전에 사용할 수 있으면서 구동시스템의 운영효율을 높일 수 있는 장치의 개발 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>1)</sup> 특히 반도체 전력스위칭장치와 마이크로프로세서 제어시스템으로 이루어지는 인버터는 유도전동기의 속도 제이에 널리 사용되고 있다.

그런데 부하 조건에 맞는 유도전동기의 가변속구동을 위한 주파수제어는 손실증감은 물론 효율 및 역률의 변화를 일으키기 때문에 적절한 가변속 제어가 고려되어야 하며 만약 적절한 고려가 이루어지지 않을 경우 구동시스템의 고장원인이 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 전동기와 구동장치 제작자와 속도제어용 유도전동기를 사용하는 사용자가 가변속 드라이브와 전동기와 결합으로 발생할 수 있는 문제점을 설명하고 전동기와 속도운전장치를 제작하는 제작자와 이 구동시스템을 사용하는 사용자가 서로 협의하여야 할 내용을 제시하고자 한다.

#### 2. 가변속 드라이브 종류

가변속 드라이브는 일반적으로 전력변환장치, 전동기와 기계적인 변속장치 또는 기어등으로 구성된다. 전력변환 장치는 일정한 전원주파수를 가진 교류를 직류로 변환한 다음, 교류전동기 축회전을 제어하기 위한 가변주파수로 역변환하는 시스템이다.

##### (1) 전압원 인버터(VSI)

그림 1 은 전압원 인버터 구성 회로도도 상조질 브릿지, 보조정류회로 그리고 인버터 브릿지등으로 구성된다. 상조질 브릿지에서 발생하는 가변전압은 인버터에서 가변주파수 교류로 변환되기 전에 직류링크 리액터와 캐패시터를 통해 이과된다. 전압원 인버터에서의 고조파 전압

은 인버터의 낮은 출력 임피던스에 의해 결정되며, 고조파 전류는 전동기의 누설인덕턴스에 의해 결정되고, 고조파 전류는 전동기의 누설인덕턴스에 역비례하므로 큰 누설리액턴스를 가지도록 전동기를 설계할 경우 전동기 고조파 전류와 일률 감소시킬 수 있다.

##### (2) 전류원 인버터(CSI)

전류원 인버터 구성은 전압원 인버터에서 출력측 캐패시턴스 단자가 없는 형태이다. 가변전압은 전압원 인버터와 같고, 직류링크 리액터는 인버터 부분에 가변주파수 전류가 발생하도록 하는 필터 역할을 한다. 전압원 인버터에서와 마찬가지로 고조파 전류는 인버터 출력에 의해 결정되지만, 고조파 전압은 전동기 누설 리액턴스에 비례하여 결정되기 때문에 제어성능면에서 시정수를 고려한다면 누설리액턴스는 작게 해야 한다.

##### (3) PWM 구동방식

그림 2 에 나타낸 PWM 인버터는 트랜지스터와 MOS-FET 파워 스위칭장치의 향상으로 유도전동기에 대한 인버터 구동방식으로 가장 널리 사용되고 있다. 전압원이나 전류원 형태 모두 다 이용할 수 있는 이 구동방식은 가변전압 가변주파수를 만들기 위해 고정된 정류부와 인버터부분으로 구성되며 가변전압 가변주파수 출력을 얻기 위한 다양한 기법이 사용되고 있다.

고조파 전류의 크기를 줄이기 위해 출력단에서 리액터를 설치하여 이과기능을 보유했을 수 있다.

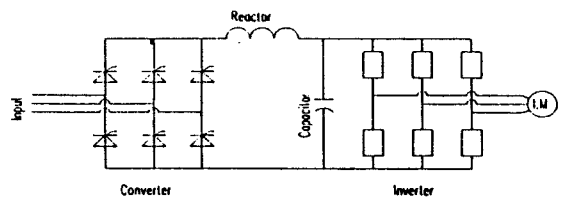


그림 1. 전압원 인버터의 구성도

전압원 인버터로 구동되는 전동기의 고조파 주파수에서 임피던스는 고조파 전류를 가능한 높게 줄일 수 있도록 하는 것이 바람직하지만, 전류원 인버터의 경우에 낮은 값의 임피던스가 바람직하여 하나의 전동기로서 두가지 특성을 다 만족시키지 못한다. 따라서 전동기의 용량을 기준으로 약 150마력이하에서는 전압원 인버터를 그 이상의 용량에서는 전류원 인버터를 사용하는 것이 바람직하다.<sup>1)</sup>

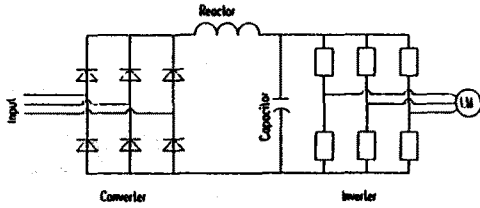


그림 2 PWM 인버터 구성도

### 3. 전기적인 고려사항

#### (1) 속도-토크특성

유도전동기의 교류 정속도용으로 NEMA 규정의 적용은 가변속 운전에서의 요구조건을 명시하는 데 부족한 면이 있지만, 인버터 설비에 의해 유도전동기를 운전하는 경우 그림 3 과 같이 NEMA에 규정된 속도-토크 특성을 고려할 필요가 있다.

그림 4 에서 특성 A 는 특성 B 보다 약간 높은 최대 토크와 낮은 슬립을 가진다. 이는 낮은 리액턴스와 낮은 회전자 저항을 의미한다. 이 형태의 전동기는 실제 B 보다 VSI에 대한 장점이 없지만, 낮은 누설 리액턴스가 더 적은 고조파와 더 낮은 손실에 귀결되기 때문에 CSI 에서 많은 장점이 된다.

특성 C 전동기는 높은 기동 토크와 낮은 기동전류를 가지므로 특성 B 전동기 보다 낮은 최대 토크와 높은 슬립을 가진다. 일반적으로 이 전동기는 회전자권선 심구효과를 향상하기 위해 이중 농형 회전자 권선과 함께 설계된다. 기동시에 높은 회전자 저항과 정격속도에서 낮은 회전자 저항을 설명한다. 고조파와 관련된 높은 회전자 주파수는 가변주파수 컨트롤러의 두 가지 형태와 함께 높은 회전자 저항과 높은 고조파 손실로 연결되므로 이중 농형 구조는 가변 주파수 동작에는 매우 바람직하지 못하다.

특성 D 전동기는 높은 기동토크와 높은 슬립을 가진다. 이는 높은 회전자 저항을 사용하여 이루어지는데, 이 회전자 저항은 두가지 형태에서 큰 고조파 손실로 이어지기 때문에 가변주파수 설비에서는 바람직하지 못하다. 약간 줄어든 속도에서의 전동기 열 방산 능력은 정격 전부하 토크에서 전력손실보다 낮아 전동기의 출력이 줄어든다.

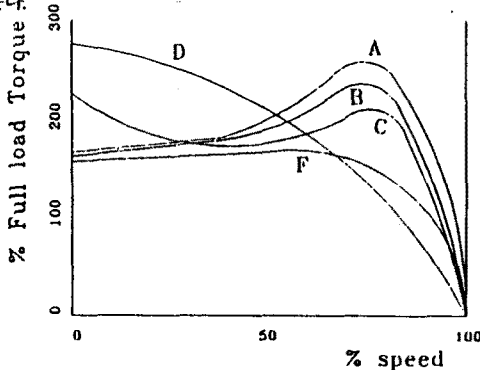


그림 3 NEMA 속도-토크 특성

특성 F 전동기는 최근 제시된 규격으로 고효율 전동기 용로 사용되도록 효율을 높이는 설계에 중점을 둔 관계로 역률에서는 다소 떨어지는 면이 있다. 기존설계규격에서 제시되지 않는 돌입전류의 제한 유무로서 판단하는데 사용자들이 종종 특성 A와 혼동하는 경우가 있다.

#### (2) 고조파<sup>12)</sup>

기본주파수의 정수배가 되는 주파수를 가지면서 주기적인 파형의 정현적인 성분으로 정의되는 고조파는 산업 전기설비에서 정류기, 가변주파수 교류 드라이브 및 UPS 등과 같은 전력전자 설비에서 주로 발생하며, 전동기의 구조상으로 발생할 수 있다. 가변주파수 컨트롤러로 유도전동기를 운전하는 경우 컨트롤러의 출력측에 발생하는 고조파 성분은 정현파로 운전하는 경우에 비해 추가적인 손실을 발생시킨다.

#### (3) 서비스 팩터<sup>13)</sup>

정격전원이 인가된 때 명시된 조건하에서 견낼 수 있는 배수를 말하는 것으로서 전동기와 가변속 드라이브의 결합시 혼란과 잘못된 적용을 막기 위해서는 많은 정보가 필요하다.

#### (4) 온도상승<sup>14)</sup>

어느 부하-속도점에서 온도변화요인은 개별 전동기의 설계치수, 냉각방식, 전동기에 인가된 전압 및 인버터 특성 등에 달려 있다. 교류전원에서 정속도 특성을 갖는 유도전동기는 정현파 전원에서 정격부하로 연속 운전하는 경우에 일정한 온도유지한다는 기준을 두고 온도상승이 정해지지만, 가변속 설비에 사용하는 유도전동기는 특별한 속도와 부하에서 연속이 아니고 어느 시간에서 최대온도에 도달할 수 있기 때문에 이를 견딜 수 있도록 설계하여야 한다.

#### (5) 속도범위<sup>15)</sup>

전동기가 정토크 설비에서 광범위한 속도에 걸쳐 제어될 필요가 있을 때, 전동기의 사이즈 및 가격은 기저속도(bottom speed) 요구사항에 의해 결정되며, 가변 토크의 경우에는 최고 속도 조건이 전동기 사이즈를 결정한다. 그러나 사용자가 일반적으로 규정된 범위를 벗어난 운전을 요구할 때 전동기는 속도 범위를 벗어난 조건으로 운전을 요구할 때 전동기는 최대 주위온도에서와 최악의 속도 범위에서도 연속적으로 운전될 수 있도록 제작자는 설계해야 한다.

#### (6) 토크<sup>16)</sup>

인버터 구동 유도전동기의 정격을 결정하는데 전동기의 토크 특성을 아는 것은 매우 중요하다. 그래서 인버터 구동시의 기동토크, 연속운전토크 및 단시간 최대토크 등을 명확히 할 필요성이 있다.

#### (7) 효율<sup>17)</sup>

유도전동기에 발생하는 손실로서는 철심의 자화에서 생기는 철손과 권선에 흐르는 전류에 의한 동손 및 회전자의 회전에 의한 기계손으로 나누어지지만, 인버터로 구동하는 경우 고조파의 영향으로 동손이 주로 증가하며 그 중에서도 도체의 표피효과가 큰 2차동손의 증가가 현저하다.

(8) 역률<sup>11)</sup>

ASD와 진동기 기함에 따른 역률은 교류를 직류전원으로 변환하는 정류부에서 결정된다. ASD/진동기 결합을 조사하면서 설비회사가 알고 있는 역률은 진동기에 의해 영향을 받지 않는다. ASD의 출력은 진동기에서 낮은 역률이 ASD의 높은 암페어수 출력을 요구하므로 진동기 역률에 의해 영향을 받는다.

(9) 과부하 용량<sup>12)</sup>

영구적인 손상이나 중대한 동작 악화가 일어나는 범위를 넘어 설정된 시간동안 진동기가 손상을 받지않고 견딜수 있는 최대 전력 또는 토크 레벨로서 ASD전원으로 구동하는 교류 유도진동기는 정격부하의 150% 순간적인 과부하를 견딜 수 있도록 정한다.

(10) 써지전압<sup>13)</sup>

가변전압,가변주파수 전원장치의 전압파형은 스텝함수로서 정전파 전압과는 다른 결과를 가진다. 이들이 캐이블을 통해 진동기 내부에 전달될 경우, 전압의 짧은 상승 시간은 피크전압의 전부가 처음에 코일의 첫 번째 턴에 인가되고 첫 번째 턴과 인접턴 사이에 몇배의 더 큰 전압 스트레스를 작용한다.

(11) 토크리플<sup>14)</sup>

토크 리플은 일반적으로 평균 토크와 피크 토크 크기의 비로서 한바퀴 축회전 토크의 변화로 정의된다. 이는 사용되어지는 제이의 형태와 진동기의 설계에 따른 구동력의 결과이고 제이기법의 형태와 진동기의 설계의 작용의 결과이지만 제이의 고도화로 인미터에 의한 토크 리플은 점차 줄일 수 있지만 진동기 자체의 구조상 발생하는 토크 리플은 코일 피치, 슬롯 개구폭 등을 포함한 치수, 슬롯조합 등을 검토해서 발생요인을 제거시키는 것이 바람직하다.

(12) 전기적 노이즈<sup>15)</sup>

정류 노칭에 의해 발생한 높은 주파수의 고조파, 인미터의 고조파 스위칭에 의해 발생한 고조파, 싸이리스티에 의해 유도되는 파도전압(  $L \times di/dt$  ), 부적합한 신호집지, 드라이브 가까이에 있는 무전기뿐만 아니라 대지와와의 절연에 대한 정전기 방전등이 드라이브의 기능장애의 원인이 된다.

(13) 접지<sup>16)</sup>

드라이브 시스템의 접지는 전력시스템 접지와 신호/상미 접지의 두가지 방법이 있다. 접지 고장이 드라이브 자체 내부에서 발생한다고 생각할 경우, 확고하게 접지된 시스템에서 이용가능한 상당히 큰 접지고장 전류는 갑작스러운 고장을 일으킨다.

이같은 경우에는 1차와 2차 권선사이 주요 절연차뿐만 아니라 고조파와 정류 노칭을 제거시키주는 절연변압기를 연결하는 새로운 드라이브 접지시스템을 구축하면 된다.

(14) 정류노칭

정류는 한세트의 싸이리스티와 다이오드가 턴오프, 턴온하는 과정으로 싸이리스티가 사용될 때 정류노칭이 발생한다.

(15) 축전압과 축전류<sup>17)</sup>

고장자와 회전자에서 자계회로의 불규칙성은 프레임과 축을 연결하는 자로가 형성되어 전압이 유도된다. 이 전압에 의한 전류는 프레임, 지지 베어링축으로 형성되는 통로를 통해 흐르게 된다. 이 전류의 크기는 통로의 저항과 유도된 전압의 크기에 의해 결정된다.

(16) 불충분한 진동기 토크 특성<sup>18)</sup>

가변속 드라이브 장치로 동작하는 유도진동기는 진동기의 탱자으로 줄어드는 속도와 전원의 고조파로 인해 추가되는 손실로 출력이 저하한다. 이와같은 출력저하는 부하의 속도-토크 특성에서 고유한 것으로 진동기를 보다 견고하게 운전하고자 할 때는 치수를 크게 할 필요가 있다.

4. 기타 고려사항

판매자의 선택은 드라이브의 기술적인 특성과 마찬가지로 설치의 성공만큼 중요한 일이다. 이것은 많은 사용자가 유지보수됨을 축소하여 일반적인 점검과 계획된 장비의 유수보수등도 판매자에 위임하거나 풀 서비스(full-service)설계 패키지에 대해서도 판매자에 의존하는 사용자가 증가하는 추세 때문에 더욱 중요하다.

5. 결론

교류 진동기의 가변속 드라이브 사용이 증가함에 따른 구동설비의 요구사항을 충족하기 위해서는 용도가 제한되는 비표준 진동기의 사용이 바람직하다. 이들 진동기에 대한 새로운 지침과 사양에 따른 요구사항을 만족하기 위해서는 진동기 제작자와 사용자 및 드라이브 장치 제작자가 함께 고려하여 총체적인 시스템의 신뢰도를 높일 수 있는 사항들을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] Roger H. Daughterty et al., "Need for industry standards for ac induction motors intended for use with adjustable-frequency controllers" IEEE Trans on IAS, Vol.27, No.6, pp.1175-1185, 1991

[2] Austin H. Bonnett, "Regulatory impact on the application of ac induction motors", IEEE Trans on magnetics, Vol.2, No.2, pp.4-15, 1996

[3] Lester B. Manz, "The motor designer's viewpoint of an adjustable speed drive specification" IEEE Trans on magnetics, Vol.1, No.1, pp.16-21, 1995

[4] Dennis P. Connors et al., "Considering in applying induction motor with solid-state adjustable frequency controllers" IEEE Trans on IAS, Vol.20, No.1, pp.113-121, 1984

[5] 日本電氣學會 技術情報書, "インバータ 駆動誘導電動機の最適化" No.504, 1994

[6] Thomas F. Lowery and David W. Petro, "Application considerations for PWM inverter-fed low-voltage induction motors", IEEE Trans on IAS, Vol.30, No.2, pp.286-293, 1994

[7] C. James Erickson, "Motor design features for adjustable-frequency drives" IEEE Trans on IAS, Vol.24, No.2, pp.192-198, 1988

[8] David J. Sheppard, "Torsional vibration resulting from adjustable-frequency ac drives" IEEE Trans on IAS, Vol.24, pp.812-817, 1988