

전류제어 교류서어보 구동장치를 위한 고정자 전압벡터의 새로운 선택방법

이 광 원 아 주 대 학 교
박 승 배 한국과학기술원

A novel means of selecting stator voltage vector for current-controlled ac servo drives

Lee, Kwang Won Ajou University
Park, Song Bai KAIST

ABSTRACT

A new current control scheme is suggested which is suitable for ac servo inverter drives. The scheme uses a simple block diagram to produce the reference stator voltage vector, and the vector nearest to it is chosen for switching. With the same arrangement three kinds of operation modes are possible: (1) constant rate sampling, (2) constant current deviation, (3) adaptive current deviation. In mode (1) current deviation after one period is minimized, while in mode (2) and (3) intervals between switchings are maximized.

1. 서론

최근 교류서어보 전동기의 구동에는 PWM 인버터를 많이 사용한다. 이때 전동기 고정자 권선의 전류가 정현파에 가깝게 하고 빠른 응답특성을 갖게하기 위하여 전류제어 방법을 사용하면 좋은데, 인버터가 스위칭 모우드로 동작하기 때문에 고조파 성분을 작게하는 것과 응답을 빠르게 하는 것은 서로 상반된 문제가 된다.

가장 간단한 전류제어 방법은 전동기 각상의

기준전류와 실제전류의 오차가 일정범위안에 들어오도록 각 상의 스위칭 각을 별도로 제어하는 방법인데 전류의 오차쪽에 비하여 스위칭 주파수가 높아지는 단점이 있다. 이를 개선하기 위하여 전류의 오차가 큰 과도상태에서는 전류오차를 빨리 줄이는 방향으로 스위칭이 되도록 하는 한편 전류의 오차가 일정 범위 안에서 유지되는 정상상태에서는 전류의 변화율을 작게 함으로서 스위칭주파수를 낮추고 고조파 성분을 줄이는 방법이 연구 발표되었다[1]~[3]. 이들 방법 모두 스위치의 상태에 따라 전동기의 고정자 권선에 가하여지는 가능한 전압벡터들 중에서 가장 좋다고 생각되는 전압벡터를 골라 그에 해당하는 스위칭 동작이 이루어지게 하는 것인데 구체적인 방법은 차이가 있다. 먼저 Pfaff[1]의 방법은 전동기의 역기전력이 고려되지 않기 때문에 역기전력에 따라 제어특성이 달라질 수 있으며, 원하는 전압벡터를 정확히 만들기 위하여 3개의 벡터를 시간비율을 다르게 하여 합성하기 때문에 시간비율의 계산과 이를 만들어 주는 것이 불편하다. Holtz[2]의 방법은 정상상태에서 고조파를 줄이는 데는 가장 최적이라고 할 수 있으나 복잡한 계산을 하여야 한다. 이에 비하여 Nabae[3]의 방법은 역기전력의 방향만을 고려하여 간단한 논리로 전압벡터

를 결정할 수 있다는 장점이 있는 반면 역기전력의 크기는 고려하지 않기 때문에 Holtz의 방법처럼 최적벡터를 고를 수는 없다.

이 논문에서는 Holtz의 방법에서처럼 주어진 조건에서 최적벡터를 선택하면서도 계산이 지나치게 복잡하여 지지 않는 새로운 전류제어 방법을 제안하였다. 전류오차 평면에서 그림으로 간단히 계산하는 방법이므로 알고리즘도 복잡하지 않고 주어진 조건에서 전류오차를 최소로 줄일 수 있으며, 일정오차로 동작시키면 스위칭 주파수를 가장 낮출 수 있는 장점이 있다.

2. 제어계통 구성

전동기의 전류와 속도가 궤환되고 PWM 인버터로 전류제어하는 교류전동기의 구동계통은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

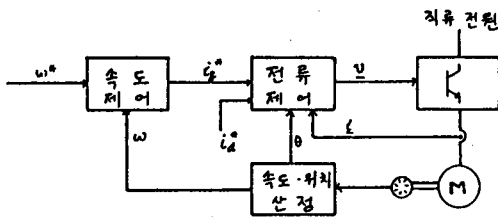


그림 1. 교류 전동기의 구동계통

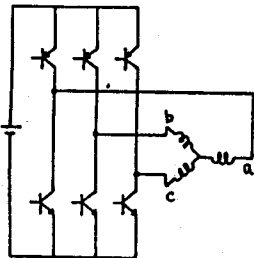


그림 2. PWM 인버터

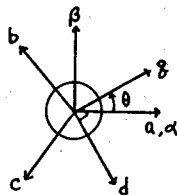


그림 3. 기자력축

그림1에서 전동기의 고정자 권선이 그림2와 같이 3상 Y결선 되어 있고 인버터는 3상 브릿지로 되어 있는 경우를 생각한다.

전동기의 공극 원주상에서 기자력 축의 전기각 관계를 그림 3으로 나타내면, 전압, 전류등을 정규화된 변수로 나타냈을 때 α-β 축 벡터로 표현한 회로 방정식은

$$L \frac{di}{dt} + Ri + e = v(k) \quad (1)$$

$$e = \omega \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}$$

- 단 L : 정규화 누설 inductance[s]
- R : 정규화 저항
- i : 정규화 전류벡터
- e : 정규화 역기전력 벡터
- ω : 정규화 속도
- v : 정규화 고정자 전압벡터

(1)식에서 고정자 전압벡터 v(k)는 스위치의 상태에 따라 그림 4와 같은 값을 가질 수 있다.

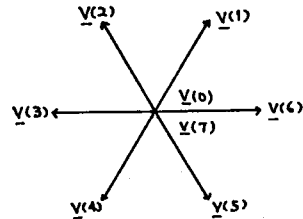


그림 4. 고정자 전압벡터.

전류제어를 위한 기준전류벡터를 i*라 하고

$$\Delta i = i^* - i \quad (2)$$

라 놓으면 (1)식은

$$L \frac{d\Delta i}{dt} = -R\Delta i + L \frac{di^*}{dt} + Ri^* + e - v(k)$$

$$\approx e - v(k) \quad (3)$$

가 된다. (3)의 근사식은 짧은 스위칭 주기 때문에 RΔi가 L(dΔi/dt)에 비하여 무시할 수 있다고 가정하고 i*가 연속적으로 빠르게 변화하지 않는 regulation 문제로 생각하면 얻을 수 있다. (3)식에서 Δi를 발리 0에 가깝게 하는 전압벡터 v(k)를 결정하는 방법으로 그림5와 같은 블록도를 생각하였다.

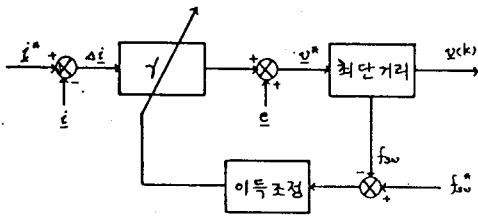


그림 5. 전압벡터 결정 블록도

3. 고정자 전압벡터의 결정방법 및 제어특성

그림 5의 블록도에서 $v(k)$ 를 결정하는 방법은 그때 그때 v^* 에 가장 가까운 거리에 있는 $v(k)$ 를 선택하는 것인데 제어특성을 검토하기 위하여, (1) 일정주기로 Δi 를 샘플링하는 경우, (2) Δi 가 일정한 맥동폭을 갖게 하는 경우, (3) 스위칭 주파수에 따라 Δi 의 맥동폭을 조절하는 경우로 나누어 해석하였다.

(1) 일정주기로 Δi 를 샘플링하는 경우

샘플링 주기를 h 라 할 때 그림 5에서 $\gamma = \frac{1}{h}$ 로 고정한다. 한 샘플링 주기 h 이후의 전류오차 $\Delta i(t+h)$ 는 (3)식으로 부터

$$\Delta i(t+h) = \Delta i(t) + \frac{h}{L}(e - v(k)) \quad (4)$$

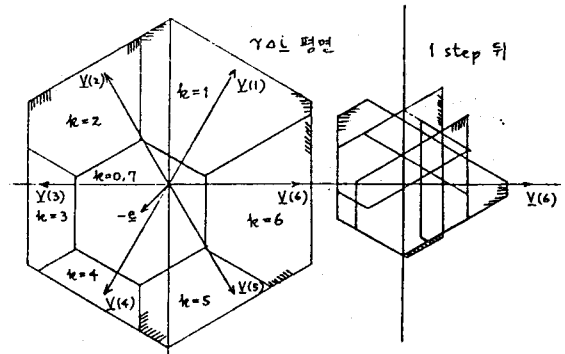
따라서

$$\gamma \Delta i(t+h) = v^*(t) - v(k) \quad (5)$$

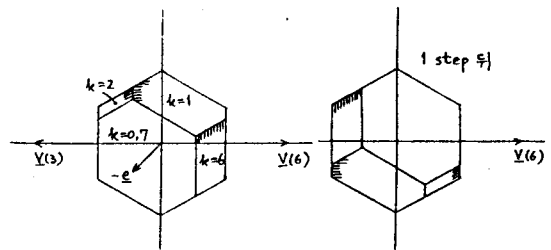
이다. (5)식을 보면 $v(k)$ 를 v^* 에 제일 가까운 것으로 선택함으로써 한 스위칭의 전류오차를 최소로 할 수 있는 것을 알 수 있다. 선택하여야 할 k 의 값과 Δi 의 변화율 $\gamma \Delta i$ 평면에 나타낸 것이 그림 6이다. 그림 6의 (b)를 보면 정상상태에서 오차가 일정한 범위안에 있는 것을 알 수 있다.

(2) Δi 가 일정한 맥동폭을 갖게하는 경우

그림 7의 6각형 경계선에 $\gamma \Delta i$ 가 다다랐을 때 전압벡터를 바꾸어 주면된다. 이 때에도 그림 6에서와 같은 방법으로 k 가 결정된다. 만일 $\gamma \Delta i$ 가 A에 도착했을 때 $k=6$ 으로 선택하면 다음번 스위칭은 A'에서 생기며 A'까지 가는 데



(a) 과도상태



(b) 정상상태

그림 6. 전류오차에 따른 k 값

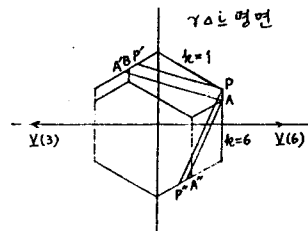


그림 7. 전류오차에 따른 k 값 (일정맥동폭)

소요되는 시간은 $\Delta t = \frac{1}{\gamma}$ 이다. 반면 $k=1$ 로 선택하면 다음번 스위칭은 A'에서 생기고 소요시간은 $\Delta t = \frac{1}{\gamma}$ 로 같다. 그러나 $\gamma \Delta i$ 가 P에 다다른 경우에는 $k=6$ 으로 하면 P'으로 가고 $\Delta t < \frac{1}{\gamma}$ 이며 $k=1$ 로 하면 P'으로 가고 $\Delta t > \frac{1}{\gamma}$ 이므로 A점과 B점 사이에서는 $k=1$ 로 선택하는 것이 다음번 스위칭할 때까지 최장시간이 소요된다. 따라서 스위칭 주파수를 낮추고 고주파 성분들을 작게 할 수 있다.

(3) Δi 의 맥동폭을 조절하는 경우

원하는 스위칭 주파수 f_{sw}^* 와 실제의 주파수 f_{sw} 가 차이가 있는 경우는 그림 5와 같이 이 오차에 따라 γ 만을 조정하고 (2)에서와 같은 방법으로 제어하면 γ 의 값에 따라 Δi 의 맥동폭이 적당한 상태로 조절된다.

참고문헌

- (1) Pfaff, G., et al., " Design and experimental results of a brushless ac servo drive ", IEBE Trans., IA-20(4), 814-821, 1984.
- (2) Holtz, J., Stadtfeid, S., "A predictive controller for the stator current vector of ac machines fed from a switched voltage source", IPEC-Tokyo Conf. Rec., 1983, pp.1665-1675.
- (3) Nabae, A., et al., "A novel control scheme for current- controlled PWM inverters", IEBE Trans., IA-22(4), 697-701, 1986.

4. 결론

교류 전동기를 구동하는 PWM 인버터의 새로운 제어방법을 제안하였다. 이 방법은 간단한 구성으로 최적조건을 갖는 전압벡터를 찾아 내는 것으로 지금까지의 방법보다 계산량을 별로 증가시키지 않으면서도 좋은 특성을 기대할 수있다. 특징을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 간단한 구성으로 최적값을 찾을 수 있다.
- (2) 일정주기 샘플링 모우드로 동작시키면 한 스텝뒤의 오차를 최소로 한다.
- (3) 일정오차폭으로 동작시키면 스위칭간격이 제일 길어 진다.
- (4) 스위칭 주파수에 따른 오차폭의 조절이 간단하다.