

SRM 컨버터에서 자기동조 방식에 의한 턴오프 각의 결정

張 都 鉉, 文 鎮 榮

Determination of Optimal Turn-off Angle
for SRM Converter Using Self-Tuning Method

Do-Hyun Jang Jin-Young Moon

요 약

본 논문에서는 위상각 제어에서 주어진 턴온 각에서 최대의 토크를 유지하기 위한 적절한 턴오프 각을 자기동조방식(self-tuning method)에 의해 결정하는 방식을 제안하였다. 엔코더에 의해 샘플링 시간(sampling time)동안 구해진 펄스 수는 바로 이전의 샘플링시간 동안 구해진 펄스 수와 비교하여 턴오프 각을 앞으로 또는 뒤로 이동한다. 이러한 과정을 되풀이함으로써 최대 토크를 발생하는 턴오프 각을 결정하게 된다. 실제 회로에서는 윈 칩 마이크로프로세서에 의해 처리되었으며 실험을 통해 턴온 각이 변하더라도 자기동조방식에 의해 턴오프 각을 조정하면 빠른 속도가 유지됨을 보여 주었다.

ABSTRACT

In this paper, determination method of turn-off angle in the SRM drives is proposed to maintain the high torque at any turn-on angle, which is realized by using self-tuning control method. During the sampling time, a number of pulses from encoder are checked by using one-chip microprocessor, and compared with pre-checked a number of pulses. After calculating difference between two data, the turn-off angle moves forward or backward direction by the self-tuning method. As repeating such process, the optimal turn-off angle is determined and the maximum torque is maintained. Though experiments, it is observed that motor speed is almost maintained if turn-off angle is adjusted automatically by self-tuning method when turn-on angle is changed.

Key Words: switched reluctance motor, turn-off angle, self-tuning method

1. 서 론

최근 반도체 산업의 눈부신 발전과 각종 전력전자 기술의 발달로 고정자와 회전자 사이의 릴럭턴스 토크를 동력으로 하는 전동기의 가변속 구동에 대한 관심이 증가하는 추세이다. 특히, 전동기 구조가 간단하고 제작이 용이하며, 광범위한 속도 제어가 가능한 스위치드 릴럭턴스 전동기(switched reluctance motor: 이하, SRM이라고 칭함)에 대한 관심이 다양한 분야에서 고조되고 있다.

SRM은 비교적 간단한 제어장치에 의해 직권형 직류전동기와 비슷한 속도-토크 특성을 얻을 수 있다. 또한, 유도전동기에 비해 기계적으로 견고하고 자기적으로 간단하며 기동

토크가 큰 장점이 있다^[1]. 효율 면에서 표준전동기에 비해 7~8% 정도 높고, 제조비가 상대적으로 낮아 경제적인 측면에서 유리하다.

일반적으로 속도를 제어하는 방식으로는 직류 초퍼의 통류율(duty ratio)을 조정하여 입력 전압을 조정하는 방법과 위치 센서(position sensor) 또는 엔코더(encoder)등으로 턴온/오프 각을 조정하는 방법 등이 있다. 통류율이 고정되었다고 가정할 때 속도를 제어하거나 부하가 변화될 때 일정 속도를 유지하기 위해서는 상 스위치의 턴온 각 또는 턴오프 각을 조정할 필요가 있다^[2,3]. 그러나 전동기 철심에서는 자기포화 현상이 발생하므로 이를 감안하여 턴온/오프 각을 제어하여야 한다.

속도 또는 부하 토크를 변환시키기 위한 전형적인 방식은 참고문헌 [2]에서 [6]까지 볼 수 있다. 문헌[3]에서는 옴도 인터럽터로 위치를 감지하는 SRM를 마이크로 컴퓨터를 이용하여 최적의 턴온 각(optimal turn-on angle)을 다양하게 제어하는 방식을 제시하였으나 드웰각(dwel angle)이 고정되므로 최적 효율을 유지할 수 없다. 문헌[4]에서는 턴온 각에 대한 최적의 턴오프 각(optimal turn-off angle)을 해석적으로 유도하였다. 이 방식은 철심의 자기포화를 무시하였고 인덕턴스 프로파일의 구간화 하여 프로파일의 유연성을 제거하였다. 따라서 실제로 존재하는 최적 턴오프 각과 계산치는 큰 오차가 발생할 수 있다. 문헌[5]에서는 각 속도에 대한 최적의 턴온/턴오프 각을 다룬 것으로, 이러한 최적의 드웰 각은 수식으로 유도된다. 각 속도에 대해 턴온/턴오프 각이 몇 개의 구역으로 설정되어 있어 유연성이 결여되어 있다. 또한 속도 제어 변수로 중요한 부하 토크를 일정하다고 가정하였으므로 실제로 적용하기가 어렵다. 문헌[6]에서는 자기동조에 의해 속도 제어하는 방식을 다룬 것으로 기본 속도(base speed)까지 제어가 가능하다.

본 논문에서는 위상각 제어에서 턴온 각이 변화할 때 최대의 토크를 유지하기 위한 적절한 턴오프 각을 자기동조방식(self-tuning method)에 의해 결정하는 방식을 제안하였다. 턴온 각이 변하더라도 최대의 토크를 유지하기 위한 적절한 턴오프 각(optimal turn-off angle)을 윈-칩 마이크로프로세서에 의해 실시간으로 제어하며, 실험에 의해 제안 방식의 타당성을 확인하였다.

2. SRM의 동특성 방정식

2.1 SRM에서 발생하는 토크

SRM에서 발생하는 토크를 코-에너지 W' 로 표시하면,

$$T(\theta, i) = \frac{\partial W'(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (1)$$

여기서, $T(\theta, i)$ 는 순시 토크, θ 는 고정자에 대한 회전자 각 변위이며, i 는 고정자에서 흐르는 순시 전류의 값이다. 자기포화를 무시할 경우 SRM의 순시 토크는 식(2)과 같이 고정자에 대한 회전자의 상대적인 위치에 따른 인덕턴스 변화와 전류의 크기에 직접 연관된다.

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \quad (2)$$

여기서 $L(\theta, i)$ 는 고정자에 대한 회전자의 변위의 인덕턴스이다. 위의 식에서 보는 바와 같이 SRM의 발생 토크는 전류

의 제곱과 인덕턴스 기울기에 비례하며 역 토크(negative torque)가 발생하지 않도록 하기 위해서는 인덕턴스 증가 영역에서 전류를 흘려야 한다.

토크의 발생 방향은 상전류의 방향에 영향을 받지 않고 인덕턴스 기울기에 의해 결정되므로 상당 한 개의 스위치만으로 구동이 가능하며, 토크는 전류의 제곱에 비례하므로 기동 특성이 우수하다.

2.2 전압 방정식

SRM을 그림 1과 같은 비대칭 브리지 컨버터(asymmetrical bridge converter, or classic converter)로 운전한다고 가정할 때 2개의 모드로 나눌 수 있다.

Mode I (자화구간) : 각 상의 두 스위치가 $\omega t = \theta_m$ 에서 턴온할 때 직류전원이 고정자 권선에 인가되며, 자화 구간 동안의 전압방정식은 다음과 같다.

$$V_{dc} = i_a R_a + \omega_m L_a(\theta) \frac{di_a}{d\theta} + e_m \quad (3)$$

$$e_m = \omega_m i_a(\theta) \frac{dL_a}{d\theta} \quad (4)$$

여기서, ω_m 은 전동기의 각속도이며, R_a 와 L_a 는 각각 권선 저항 및 인덕턴스이며, e_m 은 회전자 SRM에서 발생하는 역기전력(Back e.m.f.)이다. 식(3)의 방정식을 풀면 자화 구간 동안의 상전류 i_a 를 구할 수 있다.

$$i_a(\theta) = \frac{V_{dc} - e_m}{R_a} \left[1 - \exp\left(\frac{-\theta}{\omega_m \tau_1}\right) \right] \quad (5)$$

$$\text{여기서 } \tau_1 = \frac{L_a(\theta)}{R_a} \quad (6)$$

Mode II (회생구간) : 상 스위치가 $\omega t = \theta_{off}$ 에서 턴 오프된 후 상 권선에 축적된 에너지는 전원으로 되돌려진다. 회생구간의 전압방정식은 다음과 같다.

$$-V_{dc} = i_r R_a + \omega_m L_a(\theta) \frac{di_r}{d\theta} + e_m \quad (7)$$

식(7)의 방정식을 풀면 회생 구간의 상전류 i_r 를 구할 수 있다.

$$i_r(\theta) = I_1 - \frac{V_{dc} + e_m}{R_{r1}} \left[1 - \exp\left(\frac{-\theta}{\omega_m \tau_1}\right) \right] \quad (8)$$

상 스위치를 턴 온/오프할 때 흐르는 전류는 방정식 (5) 및 (8)와 같이 여러 변수들에 의해 결정되므로 가변 속도 또는

가변 토크에 대한 적절한 턴 오프각을 정하기는 어렵다.

2.3 어드밴스 각도(advance angle)

턴 온 시점에서 인덕턴스 프로파일의 시작점 θ_0 까지의 인덕턴스의 기울기 $dL(\theta)/d\theta$ 를 영(zero)라고 가정할 때 역기전력 e_m 은 영이 된다. 턴 온 각 θ_{on} 에서 θ_{off} 사이의 어드밴스 각 θ_{ad} 사이에서 흐르는 전류는 방정식에서 유도한 바와 같이 턴 온 각, 입력 전압, 인덕턴스, 권선 저항 등에 의해 결정된다. 즉, 고정 토크($T=0.5 i^* dL/d\theta$)를 얻기 위한 전류는 여러 변수 및 자기 회로의 비선형성에 의해 결정되므로 정확한 턴 온 각을 정하기는 어렵다.

그러나 권선 저항 R_a 와 자기회로의 비선형을 무시할 때 θ_{ad} 의 영역에서 식(3)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$V_{dc} = \omega_m L_{min} \frac{di_a}{d\theta} \tag{9}$$

여기서, L_{min} 은 최소의 인덕턴스이다. 식(9)로부터 $\theta_{on} = 0^\circ$ 인 점에서의 전류의 크기 I_f 는,

$$I_f = \frac{V_{dc}}{\omega_m L_{min}} \theta_{ad} \tag{10}$$

와 같다. 식(10)에서 V_{dc} , ω_m 이 고정되었다면 I_f 는 θ_{ad} , V_{dc} 에 비례하며, ω_m 에 반비례한다. 따라서, 스위치가 인덕턴스 시작점 θ_0 보다 θ_{ad} 앞서는 $\omega_m = \theta_{on}$ 에서 턴 온할 때 θ_{ad} 는 전류확립의 제어변수로 작용하며, 초기치 전류 I_f 는 토크 제어변수로 작용한다.⁷⁾

2.4 토크 발생영역

토크 발생영역에서는 릴럭턴스 저항이 감소하고 극(pole)간의 인덕턴스가 증가한다. 이때 발생영역에서 나타나는 인덕턴스의 크기는 $\theta_{on} = 0^\circ$ 에서의 전류 I_f 에 따라 반비례하며,

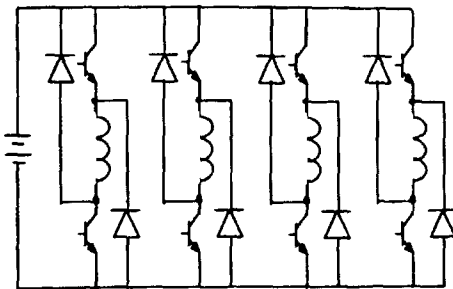


그림 1 비대칭 브리지 컨버터 토폴로지
Fig.1 Topology for asymmetrical bridge converter.

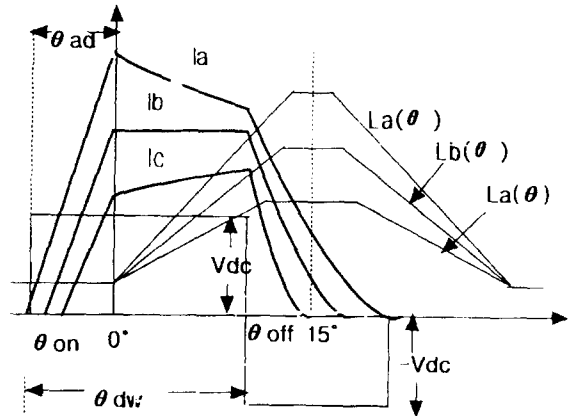


그림 2 인덕턴스 프로파일, 전류, 및 전압
Fig.2 Inductance profile, current and voltage.

인덕턴스 프로파일의 기울기($dL/d\theta$)도 완만해진다. 토크 발생 영역에서 흐르는 상전류 $i(\theta)$ 는 인덕턴스 L 이 증가함으로서 그림2과 같이 완만해진다. 또한 스위치가 θ_{on} 에서 턴 온되고 드웰 각 (dwell angle) $\theta_{dwr} = (\theta_{off} - \theta_{on})$ 을 지나 θ_{off} 에서 턴 오프 될 때 전압원이 권선에서 인가되지 않으므로 순시 토크도 변화된다.

따라서 SRM의 토크 발생 영역에서 토크는 턴 온 각 θ_{on} , 턴 오프 각 θ_{off} (또는 드웰 각), SRM에 입력되는 입력전압의 크기를 변수로 하여 제어할 수 있다. 예를 들어, 고정 입력전압, 일정 부하에서 빠른 속도가 요구될 때 턴 온 각을 앞으로 이동해야 하며 이에 따라 턴 오프 각도 이동하거나 고정시켜야 한다.

3. 일반적인 상 스위치의 턴 온/오프 각의 결정 방식⁷⁾

SRM 컨버터에서 입력전압을 고정시킬 경우 전동기 토크는 상 스위치의 턴 온/오프 각으로 제어하게 된다. 일반적으로 턴 온 각 또는 턴 오프 각을 결정하는 방식은 그림 3과 같이 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 즉, 드웰 각을 일정하게 하고 턴 온 각으로 제어하는 방식과 턴 오프 각을 고정하고 턴 온 각으로 제어하는 방식으로 나눌 수 있다.

그림 3(a)는 일정 드웰각 제어 방식으로서 가변 속도 또는 부하 변동에 대해 θ_{dwr} 를 일정하게 유지하면서 턴 온/오프 각을 조정한다. 속도를 증가시키거나 부하가 증가되더라도 일정 속도로 유지하기 위해 턴 온 각을 앞으로 이동할 경우 역토크의 영향은 크지 않다. 그러나 정격 출력의 한계가 크므로 과부하시 불안정하게 구동된다.

가변 속도 또는 부하 변동에 대해 턴 오프 각을 고정시키고

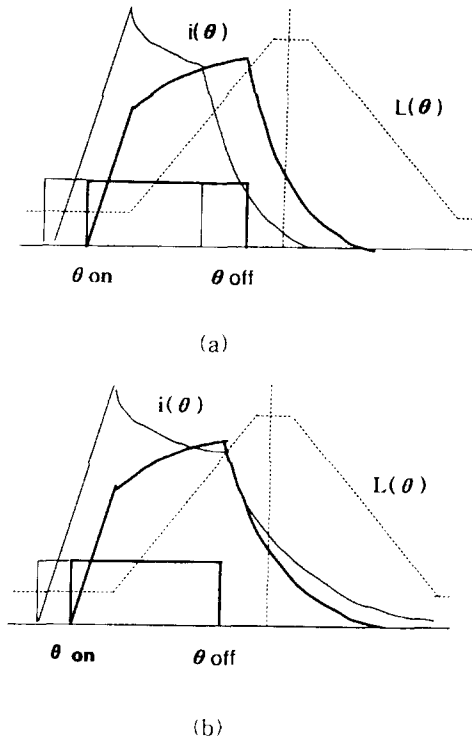


그림 3 일반적인 턴오프 각의 결정 (a)고정된 드웰 각(Deg.) (b) 고정된 턴오프 각
 Fig.3 Ordinary determination of turn-off angle (a) fixed dwell angle (b) fixed turn-off angle.

턴온/오프 각을 조정한다. 정격 출력까지는 효율의 변동이 적으나 전동기 토크를 증가시키기 위해 턴온 각을 크게 앞으로 이동할 경우 인덕턴스 감소지역에서도 전류가 흐르게 되어 역토크가 발생하며, 이에 따라 효율이 감소하게 된다^[9].

따라서 턴온 각의 위치와 상전류에 대해 고정 드웰각 제어 방식 또는 고정 턴오프각 방식에 의해 결정되는 턴오프 각이 아닌, 적절한 지점에서 턴오프해야 할 필요가 있다. 그러나 일정 턴온 각에서 고효율, 최대 토크를 유지하기 위한 턴오프 각을 결정하는 것은 자기포화 현상을 고려해 볼 때 거의 불가능하다.

부하가 일정하고 턴온 각이 고정되었다고 가정할 때 최대 토크를 유지하기 위한 턴오프 각은 인덕턴스 프로파일중에서 한 시점이라고 할 수 있다. 그림 4는 일정 부하, 고정 턴온 각에서 턴오프 각이 변화될 때 가변 턴오프 각에 대한 총 토크의 크기를 일반화하여 보여주고 있다. 턴오프 각이 인덕턴스 프로파일의 최고치 부근일 때, 전류는 인덕턴스 감소영역에서도 흐르게 되므로 큰 역토크가 발생하며 이로 인하여 총 토크는 크게 감소한다.

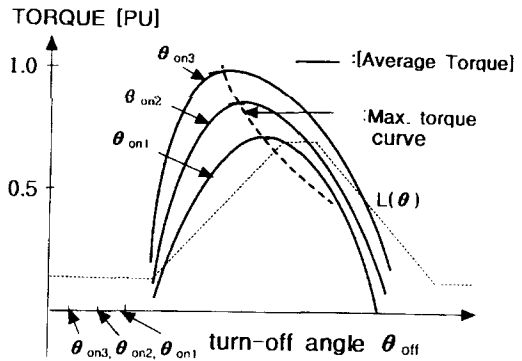


그림 4 일정 부하, 고정 턴온각에서 가변 턴오프각에 대한 총 토크
 Fig. 4 Total torque versus variable turn-off angle at fixed turn-on angle and at constant load.

턴오프 각을 앞으로 이동함에 따라 인덕턴스 감소영역에서 흐르는 전류는 점점 감소한다. 따라서 역토크의 발생도 서서히 줄어들면서 총 토크는 증가한다. 그러나 최고 토크가 나타나는 턴오프 각을 지나 더욱 드웰 각 θ_{dw} 를 줄일 경우 총토크가 줄어드는 현상이 발생한다. 이러한 영역에서는 효율이 증가하는 반면, 토크 리플이 발생하고 불안정 운전영역으로서 과부하에 대해 한계가 나타난다^[7, 9]. 턴온 각이 다를 경우 최대 토크가 나타나는 턴오프 각은 일정한 θ_{dw} 를 유지하지는 않는다.

최대 토크가 나타나는 턴오프 각은 θ_{dw} 에 따라 다르게 나타난다. 또한, 토크 제어 변수를 입력전압의 통류율, 부하의 크기, 컨버터 토폴로지 등으로 확대할 경우 최대 토크가 나타나는 θ_{dw} 의 크기는 더욱 예측하기 힘들게 된다.

4. 자기 동조방식에 의한 턴오프각의 결정

본 논문에서는 위상각 제어에서 주어진 턴온 각에서 최대의 토크를 구하기 위한 적절한 턴오프 각(optimal turn-off angle)을 자기동조방식(self-tuning method)에 의해 결정하는 방식을 제안하였다.

그림 5는 턴온 시점이 고정되었을 때 턴오프 시점에 따라 나타나는 순시 토크를 보여주고 있다. 그림 5(a)는 최대 토크가 발생하는 턴오프 시점 보다 앞선 시점에서 턴오프를 할 때 나타나는 순시 토크를 보여 준 것으로 역 토크가 발생되지는 않아 효율이 높은 반면 총 토크가 크지 않아 부하 변동에 불안정하다^[9]. 반면, 그림 5(b)와 같이 인덕턴스 프로파일의 최고점 근처에 턴오프를 할 때 나타나는 순시 토크를 보여 준 것으로 정 토크는 큰 반면 역 토크가 크게 발생되어 총 토크는 감소된다. 그림 5(c)는 최대 토크를 발생시키는 적절한 턴

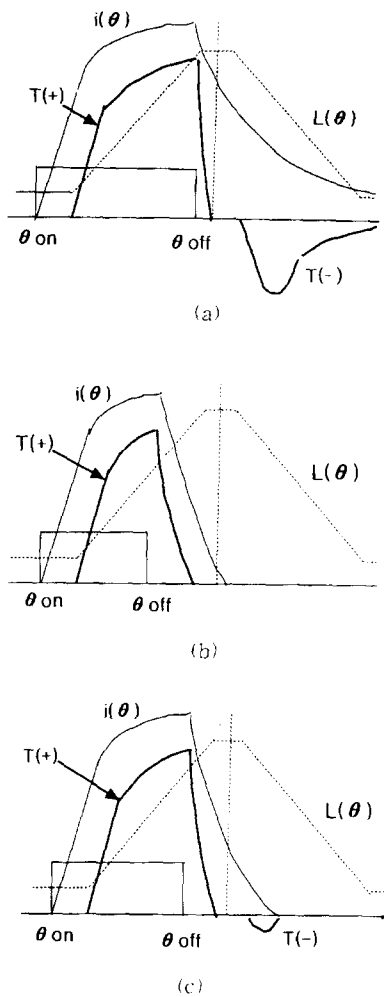


그림 5 고정 턴온각에 대한 가변 턴오프각에서 나타나는 순시 토크.
 (a) 좁은 드웰 각 (b) 넓은 드웰 각 (c) 적정 드웰 각
 Fig.5 Instantaneous torque of SRM with the fixed turn-on angle and variable turn-off angle. (a) narrow dwell angle (b) wide dwell angle (c) optimal dwell angle

오프 시점에서 턴오프를 할 때 나타나는 순시 토크를 보여 준 것으로 미소한 역 토크가 발생하나 정 토크가 크므로 총 토크의 값은 최대가 된다.

그림 6은 부하가 변화할 때 또는 속도를 변화시킬 때 최적 턴오프각 θ_{off} 을 자기동조방식으로 결정하는 방식을 설명하였다. 현재 상 스위치가 임의의 θ_{off} 의 지점에서 턴오프한다고 가정하자. θ_{n-1} 에서 θ_n 까지의 샘플링 시간(sampling time)동안, 엔코더에 의해 구해진 펄스 수 $T(n-1)$ 는 레지스터에 저장된다. 다음의 θ_n 에서 θ_{n+1} 까지의 샘플링 시간 동안 구해진 펄스 수 $T(n)$ 는 바로 이전의 샘플링 시간 동안의 펄스 수 $T(n-1)$ 와 비교하여 턴오프 시점을 앞으로 또는 뒤로 이동한다. 이러

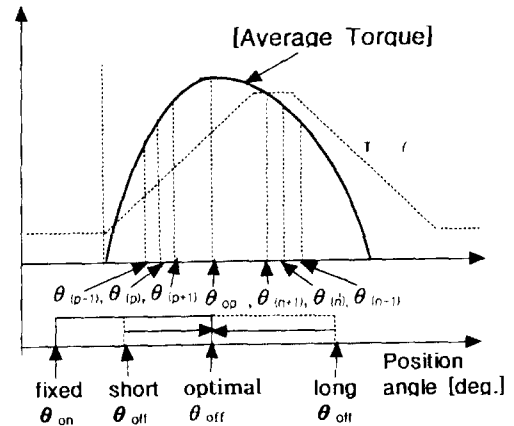


그림 6 자기동조방식에 의한 턴오프 각의 설정
 Fig.6 Determination of turn-off angle by using self-tuning method.

한 과정을 되풀이함으로써 최대 토크, 고효율을 유지하는 최적 턴오프 각 θ_{opt} 을 결정하게 된다.

그림 7은 실제 회로에서 턴온 각이 고정되고 부하가 일정하다고 가정하였을 때 자기동조방식에 의해 턴오프 각을 조정하는 서브루틴(subroutine)의 흐름도(flowchart)이다. 여기서 고정 턴온 각을 각각 θ_{on} 이라고 가정하고, 적절 턴오프 각 θ_{off} 의 초기치를 4상 SRM에서 최대 인덕턴스 프로파일의 위치 15° 라고 가정하였다. 여기서, 15° 는 4상 SRM에서 고정자극이 ONE STEP 변화시 회전자가 변화되는 각도이다.

현재의 샘플링 시간에서 구해진 펄스 수 $T(n)$ 과 바로 이전의 펄스 수 $T(n-1)$ 라고 할 때 차이값 $Dif(n)$ 는

$$Dif(n) = T(n) - T(n-1) \quad (11)$$

이다. $Dif(n)$ 가 주어진 허용 한계치 m 이내에서 존재할 때, 즉

$$-m < Dif(n) < m \quad (12)$$

일 경우 현 시점이 최대 토크가 형성되는 턴오프 각이므로 최적 턴오프 각 θ_{opt} 로 결정된다. 그러나, $Dif(n) > m$ 일 경우 현 시점의 턴오프 각에서 루프를 반복하여 θ_{off} 를 각도 편차 $-\Delta\theta$ 만큼 감소하여 앞으로 이동한다.

$$\theta_{off}(n+1) = \theta_{off}(n) - \Delta\theta \quad (13)$$

θ_{opt} 을 중심으로 하여 왼쪽 영역에서는 $Dif(m) < -m$ 일 경우, 현시점의 턴오프 각에서 루프를 반복하여 θ_{off} 를 각도 편차 $+\Delta\theta$ 만큼 증가하며 따라서 θ_{off} 는 뒤로 이동한다.

5. 실험 결과

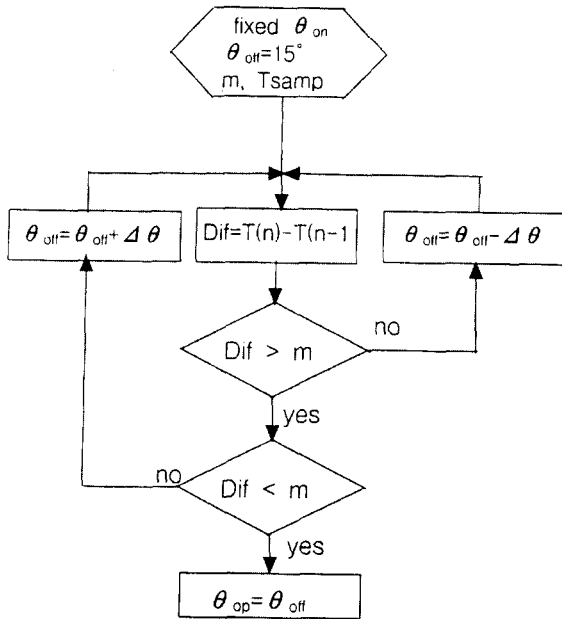


그림 7 최적 턴오프각 결정을 위한 서브루틴의 흐름도
Fig. 7 Flowchart of subroutine for determination of optimal turn-off angle.

$$\theta_{off}(n+1) = \theta_{off}(n) + \Delta\theta \quad (14)$$

즉, 속도가 일정할 경우 θ_{off} 는 변화가 되지 않으나, 부하가 가해질 경우, 또는 입력 속도가 변화될 경우에 변화하는 가변 턴오프 각에 대해 θ_{off} 는 자기동조방식에 의해 자동적으로 최적의 턴오프 각을 결정하여 운전하게 된다.

본 제안 방식은 일정 속도에서 부하 토크에 따라 순간적으로 속도가 가변할 때, 또는 속도제어를 위해 턴오프 각을 이동할 때 자기동조 방식에 의해 최대 토크를 유지하기 위한 최적 턴오프 각을 구하는 방식을 제안하였다. 턴오프 각이 고정되고 턴오프 각은 자기동조방식에 의해 자동적으로 조정되므로 고정 입력전압에서 전동기 속도 또는 토크는 단지 턴오프 각으로 제어할 수 있다.

이와 같은 제안방식을 실현하기 위한 시스템은 그림 8과 같다. 전력 컨버터는 비대칭형 브릿지형 토폴로지(또는, Classical converter)이며 IGBT로 구성되어 있다. 전력 컨버터에는 교류 전원으로부터 직류 전원화하는 정류기가 연결되었다. 정류기와 컨버터 사이에서 전류 센서를 설치하여 직류 전류 Id를 감지하며, 이로부터 어드밴스 각도(advanced angle)를 결정한다. 회전자의 축에는 엔코더가 부착되었다. 기준 입력 속도로부터 턴오프 각을 결정하며, 엔코더에서 측정된 위치각 및 속도 데이터로부터 자기 동조하여 턴오프 각을 조정한다.

일정 부하라고 가정하여 SRM을 운전할 때 속도의 완급상태에 의해 기존 방식과 제안방식에 대한 출력을 상대적으로 비교할 수 있다. 그림 9에서는 기존의 일정 드웰 각 방식의 속도 제어 시스템과 제안 방식의 시스템에 의해 나타나는 속도 및 전압 특성을 비교하였다. 그림 9(a)는 기존의 방식으로서 턴오프 각을 -4° , 턴오프 각을 7° 로 고정시킬 때 나타나는 속도 및 전압 파형이며, 그림 10(b)는 그림9(a)와 같은 조건하에서 제안방식을 운전할 때 턴오프 각이 자기동조방식에 의해 조정되어 속도가 기존방식보다는 더 빨라짐을 보여주고 있다. 이는 제안 방식이 기존 방식보다 상대적으로 출력이 증가

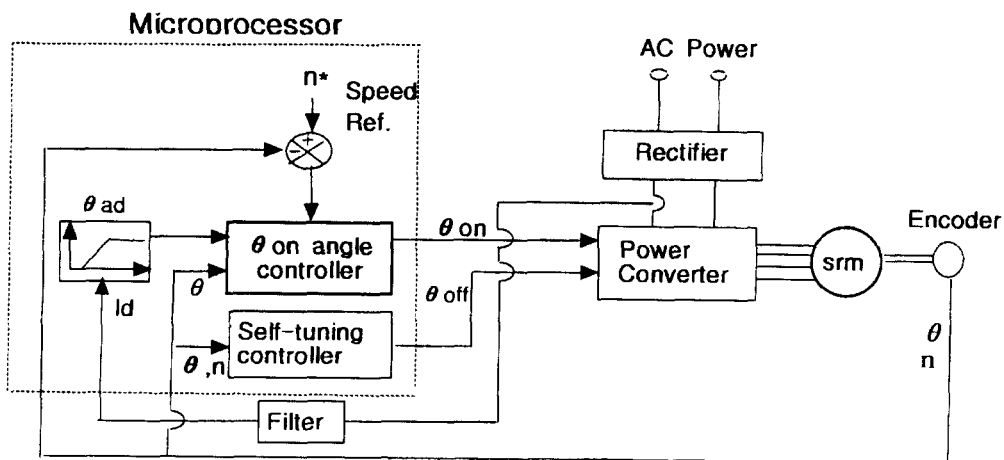


그림 8 자기동조방식 개념을 도입한 속도제어 시스템
Fig. 8 Speed control system of SRM drive by using self-tuning method.

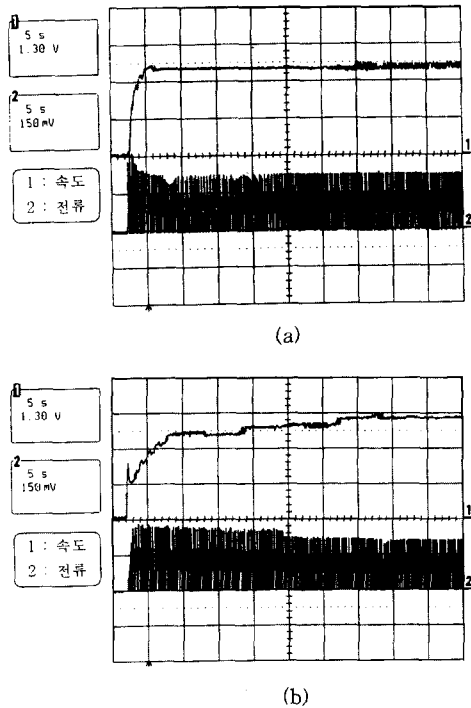


그림 9 고정 턴온각으로 운전할 때 나타나는 속도, 및 전압 파형
 (a) 기존방식(일정 드웰각) (b) 제안 방식
 Fig. 9 Speed and voltage waveform at fixed turn-on angle.
 (a) conventional system (b) proposed system

했음을 나타내고 있다. 그러나, 속도가 안정화되기 위해서는 기존방식보다 긴 시간이 요구된다. 이것은 자기동조제어기에서 턴오프 각을 조절을 하기 위해 실행하는 실시간 제어에서 요구되는 지연시간으로 추측된다. 따라서, 제안 방식은 SRM을 서보 시스템에 적용하기보다는 출력 용량을 최대화하기 위한 방식으로 적용하는 것이 적합하리라 생각된다.

6. 결 론

SRM의 운전시 턴온 각에 대해 최대 토크 및 고효율을 유지하기 위한 턴오프 각은 자기포화 현상, 컨버터 토폴로지, 부하 토크등 여러 변수에 의해 적절한 지점을 구하기 어렵다. 본 논문에서는 SRM의 속도를 제어할 때 고정 턴온 각에 대해 최대 토크를 유지하기 위한 최적의 턴오프 각을 자기동조 방식에 의해 결정하는 방식을 제안하였다.

실험으로부터 SRM을 일정 부하에서 턴온/오프 각을 고정하여 운전할 때의 속도보다 자기동조 방식에 의해 턴오프 각이 조절할 때의 운전할 때의 속도가 더욱 빨라짐을 알 수 있었다. 그러나, 속도가 안정화되기 위한 시간이 기존방식보다

더욱 길어지게 된다. 따라서, 제안 방식은 SRM을 서보 시스템에 적용하기보다는 출력 용량을 최대화하기 위한 방식으로 적용하는 것이 적합하리라 생각된다.

앞으로 이 방식은 최적의 턴 오프 각을 구할 뿐 아니라, 기준 속도가 변할 때 또는 부하가 급격히 변동할 때 턴오프 각뿐 아니라 턴온 각, 입력 전류를 자기동조 방식으로 제어하여 전동기 속도를 급히 안정화시키기 위한 소프트웨어를 개발해야 할 필요가 있다.

본 연구는 1997년 학술진흥재단의 자유공모과제 연구비 (1997-001-E007207)에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] T.J.E.Miller, Switched Reluctance Motors and Their Control. Oxford, England: Oxford Press, 1993
- [2] R.C. Becerra, M.Ehsani, and T.J.E. Miller, "Commutation of SR Motors," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.8, no.3, pp.257~263, July 1993
- [3] B.K. Bose, T.J.E. Miller, P.M. Szczesny, and W. H. Bicknell, "Microcomputer control of switched reluctance motor," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.IA-22, no.4, pp.708~715, September 1986
- [4] R. Orthmann, H.P.Schoner, "Turn-off angle control of switched reluctance motors for optimum torque output," Conf. Rec. of European Power Electronics Association, pp.20~25, July 1993
- [5] P.C. Kjaer, P. Nielsen, L.Anderson, and F. Blaabjerg, "A new energy optimizing control strategy for switched reluctance motors," IEEE trans. on Industry Applications, vol.31, no.5, pp.1088~1095, September 1995
- [6] P. Tandon, A.V. Rajrathnam, and M. Ehsani, "Self-tuning control of a switched reluctance motor drive with shaft position sensor," IEEE trans. on Industry Applications, vol.33, no.4, pp.1002~1010, July 1997
- [7] 공관식, 황영문, "SRM의 고율 구동을 위한 가변 스위칭 각도 조정방식에 관한 연구," 대한전기학회 44권 1호, pp.25~33, 1995년 1월
- [8] 오석규, 정태욱, 안진우, 황영문, "전력각 제어개념을

도입한 SRM드라이브의 운전방식에 관한 연구,” 대한 전기학회 48권 1호, pp.79~ 82, 1997년 1월

- [9] J.T.Bass, M.Ehsani, and T.J.E. Miller, "Robust torque control of switched-reluctance motors without a shaft-position sensor," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. IE-33, no.3, pp.212~216, August 1986

〈 저 자 소 개 〉



장도현(張都鉉)

1956년 8월 24일 생. 1980 한양대 전기공학과 졸업. 1982년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1982년 동대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1993년 ~ 1994년 미국 Texas A&M Univ. 객원교수. 현재 호서대 전기공학과 교수. 당 학회 편집위원.



문진영(文鎭榮)

1970년 3월 18일생. 1995 호서대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).