

# 스윗치드 리럭탄스 전동기의 초핑여자 및 스윗칭여자특성

권영안  
부산대학교

## CHOPPING AND SWITCHING EXCITATION OF A SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

Y A Kwon  
Pusan National University

Abstract - The switched reluctance motor is excited and controlled by two kinds of excitation: chopped excitation and switched excitation. The former produces additional inverter losses, and causes drive control to be complicated. The limit of chopping frequency reduces a range of operating speed and torque. This paper examines chopped excitation and switched excitation in a nonlinear switched reluctance motor. The result indicates switched excitation can be satisfactorily applied to the full operating range, and furthermore indicates the improved efficiency.

### 1. 서론

스윗치드 리럭탄스 전동기는 회전자 및 고정자가 모두 돌극형으로서 회전자의 위치에 따라 리럭탄스의 크기가 크게 변화되며 이의 정확한 크기는 속도에 따른 전류도중시점 및 소호시점과 함께 토오크와 효율등에 영향을 크게 미치는 요인으로 매우 중요하다. 그리고 스윗치드 리럭탄스 전동기는 에너지 이용비율등 여러가지 장점으로 철심의 자기포화 영역까지 확장운전하게 된다. 따라서 스윗치드 리럭탄스 전동기는 다른 전동기와는 달리 비선형에서 시스템에 대한 이해를 바탕으로 특성과 성능을 파악해야 한다. 스윗치드 리럭탄스 전동기의 여자방식으로는 초핑여자방식과 스윗칭여자방식이 있다. 종래에 스윗치드 리럭탄스 전동기의 일정토오크 운전영역에서는 초핑여자가 이용되고 일정출력 운전영역에서는 스윗칭여자가 이용되었으며 그 효율성에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 본 연구에서는 효율면에서 비선형 스윗치드 리럭탄스 전동기 및 구동회로를 분석하여 초핑여자방식 및 스윗칭여자방식에 관한 운전특성을 해석하고 성능을 평가한다.

### 2. 수학적 모델

본 연구에서 설정한 스윗치드 리럭탄스 전동기는 삼상, 6/4극, 이중권선형 전동기이다. 이중권선형은 소호용 권선을 추

가함으로써 전력소자수가 감소된 인버터에 의해 각상의 전류를 독립적으로 제어할 수 있는 장점을 지닌다. 본 연구에서 설정한 전동기의 비선형 자기포화특성은 그림 1과 같다. 고정자권선의 쇄고자속은 철심의 포화특성으로 권선전류 및 회전자위치의 함수가 된다. 여기에서 고정자와 회전자가 일치하는 각도는 기계각으로 0°, 90°, 180° 등이며 특성곡선은 45° 대칭이 된다. 이러한 비선형 스윗치드 리럭탄스 전동기에서 전압-전류 및 토오크 관계식은 다음과 같다.

$$u = r i + \frac{d\lambda}{dt} \quad (1)$$

$$T = \frac{\partial W}{\partial \theta} \quad (2)$$

$$= \frac{\partial}{\partial \theta} \int_0^i \lambda(i', \theta) di'$$

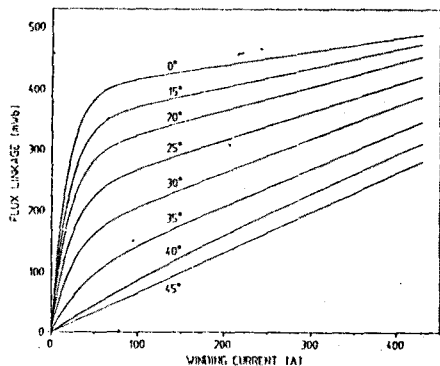


그림 1. 전류-자속 포화곡선

그림 2는 본 연구에서 고려되는 GTO 인버터 구동회로이다. 본 연구의 목적인 효율면에서 초핑여자방식 및 스윗칭여자방식의 특성 및 성능을 평가하기 위해서는 구동시스템 전체에서 발생하는 손실을 분석하여야 한다. 그림 2에서 발생하는

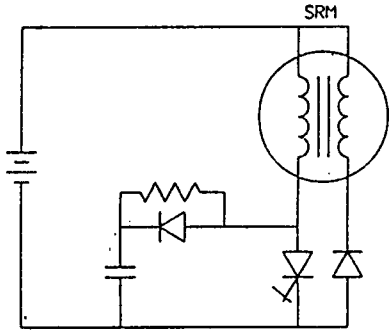


그림 2. 구동회로

손실로서는 스너버손실, 스윗칭손실, 도통손실 및 전동기손실등으로 분류될 수 있다. 스너버손실은 스너브 커패시터 방전에 의한 손실로서 GTO도동시, 이차권선 도동시 및 권선전류의 원상태 복귀시에 발생하게 되며 각각의 손실은 다음과 같다.

$$P_{s1} = \frac{1}{2} C_s V_o^2 f_s \quad (3)$$

$$P_{s2} = R_s I_f C_s I_a^2 f_s \left( \frac{s_1 s_2}{s_1 - s_2} \right)^2 \left\{ \frac{1}{2 s_1} (e^{2s_1 t} - 1) - \frac{2}{s_1 + s_2} (e^{(s_1 + s_2)t} - 1) + \frac{1}{2 s_2} (e^{2s_2 t} - 1) \right\} \quad (4)$$

$$\text{단, } s_{1,2} = -\frac{R_s}{2 L_f} \pm \sqrt{\left( \frac{R_s}{2 L_f} \right)^2 - \frac{1}{L_f C_s}}$$

$$P_{s3} = \frac{R_s C_s V_s^2 f_s}{4 I_m \beta^2} \left( 2 e^{2\alpha t} \sin \beta t (a \sin \beta t - \beta \cos \beta t) + \frac{\beta^2}{a} (e^{2\alpha t} - 1) \right) \quad (5)$$

$$\text{단, } a = \frac{-R_s}{2 I_m}, \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{L_m C_s} - \left( \frac{R_s}{2 I_m} \right)^2}$$

스윗칭손실은 소호시에 GTO에서 발생하는 손실로서 다음과 같다.

$$P_{sw} = \left( \frac{2 C_s V_s^2}{I_o} + \pi V_s \sqrt{L_f C_s} + L_f I_o \right) I' f_s \quad (6)$$

$$\text{단, } I' = -2.7232 + 0.1594 I_o + 0.000381 I_o^2$$

도통손실은 전력소자에서 도통전압강하에 의해 발생하는 손실로서 다음과 같다.

$$P_c = f_s \left( \int V_G i_1 dt + \int V_D i_2 dt \right) \quad (7)$$

전동기손실은 권선저항에 의해 발생하는 손실로서 다음과 같다.

$$P_m = f_s \left( \int R_1 i_2^2 dt + \int R_2 i_2^2 dt \right) \quad (8)$$

### 3. 초핑여자 및 스윗칭여자

스윗치드 리액탄스 전동기의 여자방식으로서 초핑여자방식과 스윗칭여자방식이 있다. 초핑여자방식은 소정의 권선전류를 유지하는 여자방식으로서 원하는 출력을 발생하기 위하여 제어변수로서 점호각, 소호각, 전류레벨 및 히스테리시스폭 등을 제어하게된다. 스윗칭여자방식은 한번의 점호 및 소호로 이루어지는 여자방식으로서 본 연구에서는 원하는 출력을 발생하기 위하여 점호각, 소호각 및 인가전압등을 제어한다. 그림 3은 초핑여자방식에서 회전속도 1000RPM, 토크 120Nm, 인가전압 250V, 점호각 48.6°, 소호각 73.3°, 전류레벨 275A, 히스테리시스폭 140A인 경우로서 회전자 위치에 따른 권선전류의 순시파형을 나타낸다. 그림 4는 이 경우에 전류 및 쇄교자속의 궤적을 나타낸다. 그림 5와 6은 같은 회전속도 및 토크에서 인가전압 100V, 점호각 41.4°, 소호각

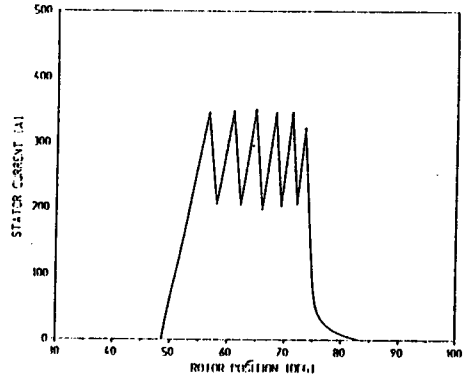


그림 3. 초핑여자에서 권선전류

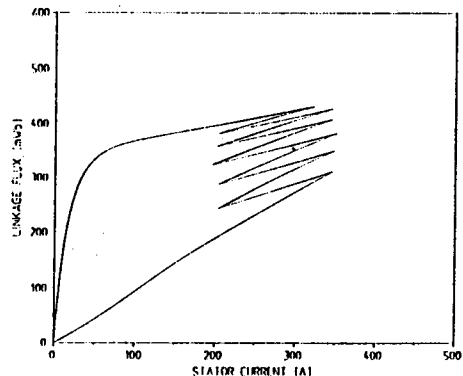


그림 4. 초핑여자에서 전류-자속 궤적

72.4°인 경우로서 권선전류의 순시파형 및 전류-속도자속 궤적을 나타낸다. 효율면에서 각각의 여자방식을 비교하면 전자의 경우에 60.4%를 나타내고 후자의 경우에 68%를 나타낸다. 이 결과는 종래에 일정출력영역에서 사용되었던 스윗칭 여자 방식이 인가전압의 가변에 의해 보다 높은 효율로서 모든 영역에서 운전될수 있음을 잘 나타낸다. [1], [2] 그림 7은 스윗칭 여자방식에서 각각의 회전속도 및 토크에서 최적전압을 인가하였을 경우에 전체운전영역에서 효율을 나타낸다.

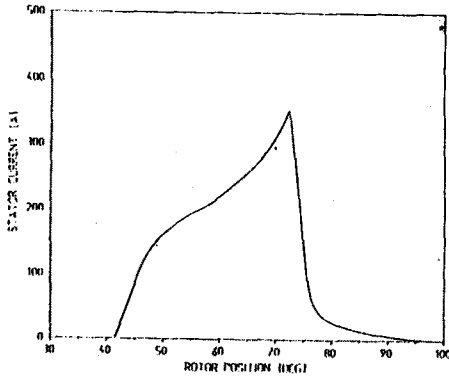


그림 5. 스윗칭여자에서 권선전류

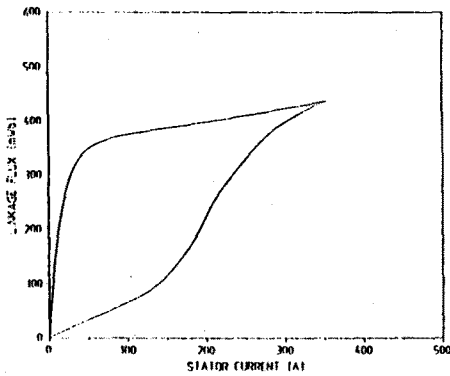


그림 6. 스윗칭여자에서 전류-자속 궤적

#### 4. 결론

스윗칭 리럭턴스 전동기는 넓은 운전영역에서 효율이 높은 전동기이다. 그러나 초핑여자방식에서 발생하는 인버터 손실은 상대적으로 효율을 감소하게 된다. 또한 초핑여자방식은 제어가 복잡하고 초핑주파수의 한계에 의해 운전영역이 감소하게 된다. 본 연구에서는 효율면에서 초핑여자방식과 스윗칭여자방식을 상호 비교하였으며, 결과에서 나타난 바와 같이 스윗칭여자방식이 전체운전영역에서 이용될수 있으며 더욱이 효율이 개선되었음을 보이고 있다.

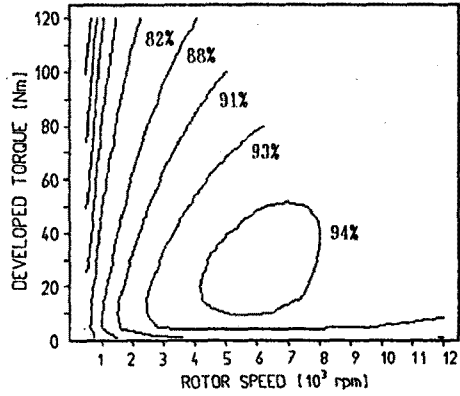


그림 7. 스윗칭여자에서 전체효율

#### 5. 참고문헌

- [1] Y.A.Kwon and K.Reichert, "Choppingless operation of a nonlinear switched reluctance motor", Proc evolution and modern aspects of synchronous machines, pp465-468, 1991
- [2] Y.A.Kwon, "Optimal operation of a switched reluctance motor", Proc IPEC, pp451-454, 1993

#### [사용기호]

- $V_o$  : GTO 점호시 커패시터전압
- $I_o$  : GTO 소호시 권선전류
- $R_s$  : 스너버저항 (170)
- $C_s$  : 스너버 커패시턴스 (2 $\mu$ F)
- $f_s$  : 스윗칭 주파수
- $V_g$  : 인가전압
- $R_1$  : 1차권선저항 (0.0690)
- $R_2$  : 2차권선저항 (0.0690)
- $I_f$  : 누설인덕턴스 (10 $\mu$ H)
- $l_m$  : 지화인덕턴스
- $V_G$  : GTO 전압강하 (1.6V)
- $V_D$  : 순환 다이오드 전압강하 (1.5V)
- $i_1$  : 1차권선전류
- $i_2$  : 2차권선전류