

Characteristics Analysis According to Switching of Switched Reluctance Generator

吳 載 錫* · 吳 周 桓** · 權 丙 一†
(Jae-Seok Oh · Ju-Hwan Oh · Byung-Il Kwon)

Abstract - A switched reluctance generator(SRG) has simple magnetic structure, and needs simple power electronic driving circuit. But, a SRG are no windings or permanent magnets on the rotor, and there are concentrated windings placed around each salient pole on the stator. Because of the characteristics of time-sharing excitation, the control of SRG is very flexible. And there are several parameters for controlling SRG, such as switch turn-on angle, switch turn-off angle, and exciting voltage and controlling mode, all these will affect the generation greatly. A SRG has positive torque at increasing inductance region and negative torque at decreasing inductance region.

In this paper, we studied characteristics about the switch turn-on and off angles according to switch method for constant output voltage of the fixed speed SRG. It is the acoustic noise and torque ripple characteristics. Characteristics for a switch angle and method are presented by experiment using a 50W SRG with 12/8 poles.

Key Words : SRG, turn-on, turn-off voltage, exciting voltage, generation

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 발전기(Switched Reluctance Generator, SRG)는, 이중 돌극(Double salient pole)을 갖는 자기적 구조에 고정자에만 집중권 또는 분포권이 권선된 간단한 기계-전기에너지 변환기로서, 적당한 펄스 계자전원을 인가하여 회생작용을 하는 가변 전류-전압특성의 에너지 발전기이다. 또한 최근 전력용 스위칭 반도체의 높은 스위칭 주파수와 대용량화 개발로 SRG 발전 시스템은 더욱더 관심이 집중되고 있다[1][2]. 하지만 SRG는 고정자 및 회전자 구조내에 어떠한 계자성분도 존재하지 않기 때문에 계자분 전류가 반드시 필요하다[3][4]. 또한 계자특성에 따른 가변변수가 많아 안정한 발전 동작특성을 갖기 어려운 점이 있다. 또한 SRG는 계자분 전류크기와 스위칭각(On-Off)에 따라 큰 Break 토오크리플, 진동, 소음이 발생하는 문제점을 지니고 있다. 그리고 SRG는 발전시 유효전력과 무효전력이 발생하는데 무효전력의 발생이 적을수록 발전 효율이 좋아진다.

기존의 연구에서는 발전시 무효전력 발생을 최소화하기 위해 고속회전운전과 스위칭은 단펄스로 Off각만을 변화시켜 왔다[5-6]. 하지만 이와 같은 스위칭 방법은 저속영역이나 가변속 영역에서는 부하에 대한 건실성이 낮아지는 단점

을 안고 있으며, Break 토오크로 발생될 우려가 크다. 따라서 SRG의 계자분 전류를 인가하는 스위칭방법과 스위칭각(On-Off)에 따라 SRG의 출력전압과 Break 토오크리플 그리고 소음 등 변화가 심하므로 이들의 장단점을 비교할 필요가 있다.

본 연구에서는 일정한 SRG회전속도에서 부하에 대한 출력전압의 건실성을 높이고 Break 토오크리플과 소음을 줄이기 위한 방법으로, 간단히 계자분 전류를 인가하는 스위칭방법과 스위칭각(On-Off)변화를 통하여 그 특성을 실험적으로 비교 분석한다. 계자분 전류를 인가하는 스위칭 방법은 하드초핑 스위칭방법과 소프트초핑 스위칭방법을 이용하였고, 각각 스위칭방법에서 스위칭각(On-Off)은 동일하게 변화를 주었다. 실험은 단순히 PI 전압 제어기를 이용하였다. 그리고 스위칭각(On-Off)은 소프트초핑 스위칭방법과 하드초핑 스위칭방법 모두 동일하게 설정하여 그 특성을 해석 하였다.

2. SRG 계자방식

SRG의 발생에너지는 계자분 전류의 크기와 회전속도 그리고 인덕턴스 변화율에 관계되므로 발생에너지를 제어하기 위해서는 계자분 전류 크기와 스위칭각(On-Off)을 제어해야 한다. 이 스위칭각(On-Off)과 스위칭방법은 SRG의 전류-전압 특성, Break 토오크리플 및 소음에 밀접한 관계가 있다. Break 토오크는 회전하고 있는 SRG에 계자분 전류를 인가하는 동시에 발생하는 회전방향과 반대방향의 토오크를 말한다. 그러므로 SRG 구동시 계자분 전류를 인가하는 스위칭방법과 계자구간인 스위칭각(On-Off)변화에 따른 출력전압과 Break 토오크리플 그리고 소음 등 발전특성을 검토해

* 正 會 員 : (주)LG전자디지털어플라이언스 연구소
 ** 正 會 員 : 漢陽大學校, (주)인텍FA 기술연구소
 † 교신저자, 正 會 員 : 漢陽大學校 전자컴퓨터공학부 교수
 E-mail : bikwon@hanyang.ac.kr
 接受日字 : 2007年 12月 16日
 最終完了 : 2008年 6月 25日

야 한다.

2.1 스위칭 구간별 입출력 특성[7]

SRG는 초기 계자분 전류를 확립시키기 위해 그림 1(a)와 같이 회전자극과 고정자극이 정렬되는 각 θ_a 이전 즉 θ_{on} 에서부터 스위치를 On 시킨다. 많은 계자전류는 많은 발전 전류를 흐르게 하지만 이 구간에서는 인덕턴스 프로파일이 양(+)인 구간이므로 역기전력 방향이 전류의 방향과 다르다. 그리고 계자전류 인가시 소음과 진동이 발생한다. 따라서 인덕턴스의 변화율이 거의 0에 가까운 곳에서만 On 시켜주는 것이 좋다. 이때 상전압은 인가전압 v 가 되고 전류는 스위치를 통하여 발전기로 흘러 계자작용을 한다. 그림 1(b)는 인덕턴스 프로파일의 기울기가 음(-)인 구간 즉, $\theta_a \sim \theta_{off}$ 구간은 역기전력으로 인해 전류의 기울기가 급격히 크게 된다. 인덕턴스의 변화율이 음이므로 속도기전력 방향과 전류방향이 같아 계자분전류의 크기는 큰 폭으로 상승한다. 따라서 이 구간에서 큰 자속이 생성된다. 그림 1(a)와 그림 1(b)에서 계자전류로 인해 발생된 큰 자속은 그림 1(c)와 같이 스위치를 Off시켜 자속을 감소시킨다. 여기서 θ_{1u} 와 θ_{2u} 는 인덕턴스 최소구간이다. 발생된 기전력에 의한 회생 전류를 다이오드를 통해 흐르게 한다. 기전력은 DC-Link capacitor와 같은 에너지충전장치에 충전된다. 그림 1(d)는 그림 1(c)와 같이 스위치가 Off되어 있어 계속 다이오드를 통해 전류가 계속 흐르는 구간이다. 따라서 이 전류는 속도 기전력이 아닌 권선에 저장되어 있는 기전력에 의하여 DC-Link capacitor에 충전된다.

SRG 한 상에 대한 전압 상태 방정식은 식 (1)과 같다.

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} + e \tag{1}$$

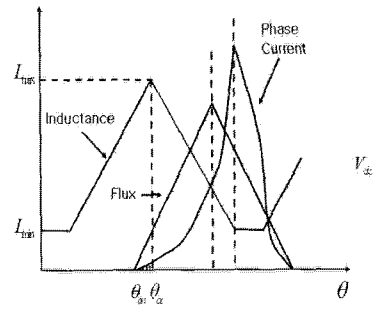
여기서, v 는 공급 전압, i 는 상전류, R 은 상 저항, L 은 상인덕턴스, θ 는 회전자 위치를 나타낸다. e (back-EMF) 즉, 회생에너지는 식 (2)로 정의된다.

$$e = w i \frac{dL}{d\theta} \tag{2}$$

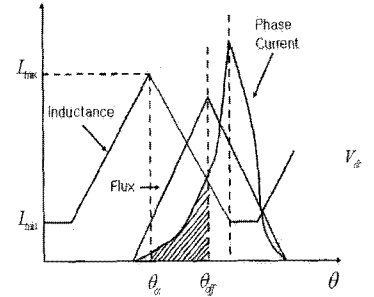
여기서 w 는 회전자 속도, 즉 $w = \frac{d\theta}{dt}$ 이다. 회생에너지는 $\frac{dL}{dt}$ 의 기울기가 0보다 작을 때 즉, 그림 1(b)~(d) 구간에서 회생에너지 전류가 급격히 증가하게 된다. SRG의 발생 토오크는 회전자 위치에 따른 인덕턴스 변화에 비례하기 때문에 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \tag{3}$$

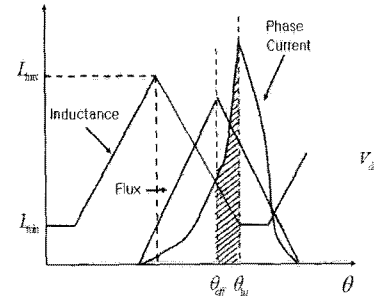
여기서, 전류(i)가 평활하다고 가정하였을 경우, SRG 구동시 발생하는 Break 토오크는 전 회전영역에서 일정한 Break 토오크를 발생시킬 것이다. 즉, SRG의 일정한 Break 토오크발생과 Break 토오크 리플은 계자분 전류 스위칭각 θ_{on} 과 전류제어를 위한 스위칭방법(소프트쇼핑-하드쇼핑)에 따라서 결정된다.



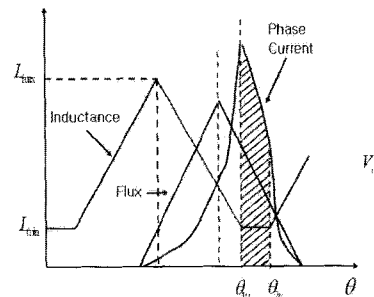
(a) θ_{on} 에서 θ_a 까지의 구간



(b) θ_a 에서 θ_{off} 까지의 구간



(c) θ_{off} 에서 θ_{1u} 까지의 구간



(d) θ_{1u} 에서 θ_{2u} 까지의 구간

그림 1 스위칭 구간별 입출력 특성

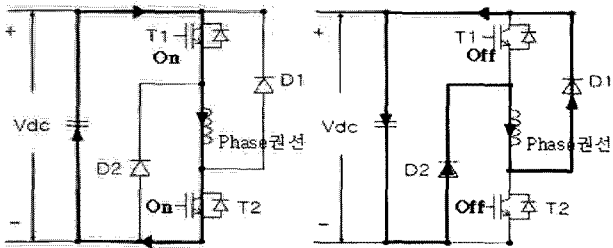
Fig. 1 characteristics according to switching mode

2.2 SRG 스위칭방법

저속 혹은 경부하에서는 발전시의 부하조건에 따라 전류의 크기를 제한하고 스위칭방법을 다르게 해야 한다. 이를 위하여 하드쇼핑 스위칭방법과 소프트쇼핑 스위칭방법에 대해 특성을 비교 하였다.

하드쇼핑 스위칭방법의 경우 그림 2(a)와 같이 두개의 스위치 T_1 과 T_2 가 그림 1(a)와 그림 1(b)에서와 같이 θ_{on} 에서 θ_{off} 까지 on 되어 SRG에 계자분 전류를 생성한다. 이때 스위치 On-Off시 SRG 상전압은 $+v, -v$ 로 교번하기 때문에 이때 발생하는 회생에너지를 순시적으로 DC-Link capacitor에 충전할 수 있다. 하지만 계자분 전류의 리플이 크게 발생함으로 이때 발생하는 토오크 리플도 크게 되는 단점이 있다.

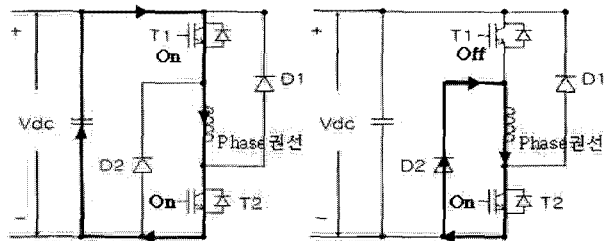
소프트쇼핑 스위칭방법의 경우 그림 3(a)와 같이 두 개의 스위치 T_1 과 T_2 를 on하고, 그림 3(b)와 같이 T_1 만 off하여 SRG에 계자분 전류가 계속 흐를 수 있도록 환류구간을 갖는다. 이 동작은 순시적으로 DC-Link capacitor나 battery에 충전할 수 없다. 하지만 연속적인 전류를 얻을 수 있기 때문에 토오크리플과 소음을 줄일 수 있다.



(a) T_1, T_2 동시에 on (b) T_1, T_2 동시에 off

그림 2 하드쇼핑시 스위칭방법과 전류

Fig. 2 Hard Chopping by switching method and current



(a) T_1, T_2 동시에 on (b) T_1 은 off T_2 는 on

그림 3 소프트쇼핑시 스위칭방법과 전류

Fig. 3 Soft Chopping switching method and current

2.3 스위칭 방법에 따른 회생 에너지 특성

SRG의 발전동작시 공급되는 계자전류와 회생되는 전류의 차는 총 발전 전류가 된다. 식(4)는 한 주기동안의 총 발전 전류의 평균값을 나타낸다.

$$I_{o, total} = \frac{N_s}{2} \frac{1}{T} \int_0^T i_n dt$$

$$= \frac{N_s}{2} \frac{1}{2\pi/N_r} \int_0^{2\pi/N_r} i_n dt$$

$$= \frac{N_s N_r}{4\pi} I_o \quad (4)$$

여기서 $I_o = I_{out} - I_e$, I_o 는 총 발전전류, I_{out} 은 회생되는 전류, I_e 는 각상의 계자분 전류, N_r 은 회전자의 극수, N_s 는 고정자의 극수, i_n 은 상전류이다.

식(4)로부터 발전기에 부하를 인가한 경우 DC-Link 캐패시터에 충전된 전류는 부하로 공급되므로 부하전류 I_L 와 발전전류 I_o 의 관계는 식(5)와 같다.

$$V_{DC}(t) = V_{DC}(t_o) + \frac{1}{C} \int_{t_o}^t i dt \quad (5)$$

$$= V_{DC}(t_o) + \frac{1}{C} \int_{t_o}^t \left[\frac{N_s N_r}{4\pi} I_o - I_L \right] dt$$

식(4)의 발전전류 I_o 는 식(6)과 같다.

$$I_o = I_{out} - I_e = \int_{\theta_{off}}^{\theta_{on}} i d\theta - \int_{\theta_{on}}^{\theta_{off}} i d\theta \quad (6)$$

3. 실험적 특성해석

3.1 시스템구성

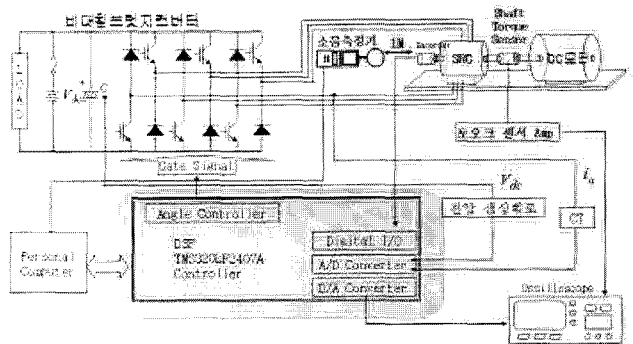


그림 4 SRG 시스템 구성도

Fig. 4 SRG System Diagram

SRG의 스위칭 방법 및 스위칭각 변화에 따른 SRG의 정전압, Break 토오크, 소음 특성 해석을 위해 SRG와 비대칭 브릿지 컨버터, SRG 회전용 전동기로 DC 모터를 사용하였다. 전체적인 시스템 구성은 그림 4와 같이 구성하였다. SRG 구성시스템을 위한 프로세서는 TI(Texas Instrument)사의 TMS320LF2407A를 사용하였다.

TMS320LF2407A는 최대 40MIPS의 연산 처리속도를 가지고 있으며 한 명령어를 수행하는데 최대 25[nsec]이다. 8개의 16-bit PWM 발생기와 최대 40개까지의 활용이 가능한 범용 IO핀들(GPIO)와 최대 4개의 16-bit 범용 목적의 타이머를 지니고 있다.

PWM 1~6은 IGBT 신호를 담당하고, QEP1, QEP2를 써서 Encoder의 펄스 수를 받아들여 회전자의 위치 및 속도를 측정한다. 또한 시스템의 보호를 위하여 PDPINTx/Pin을 이용하여 과전류, 과전압시 시스템을 보호하였다.

엔코더와 1[m] 떨어진 지점에 소음 측정기를 고정하여 측정하였다. 소음 측정기는 TES사의 1353 모델을 이용하였고, 완벽한 소음 차폐시설이 갖추어지지 않았으나 실험

시작 전의 소음을 측정한 후 그 값과 실험 후의 값을 비교하여 그 차이를 측정하였다. 정지 상태에서의 소음 즉, 암소음은 42[dB]이다.

3.2 SRG 사양 및 부하조건

실제 실험을 통하여 특성을 고찰 하였다. 실험에 사용한 SRG의 사양은 표 1과 같다.

표 1 SRG 모델 사양

Table 1 Specification of SRG model

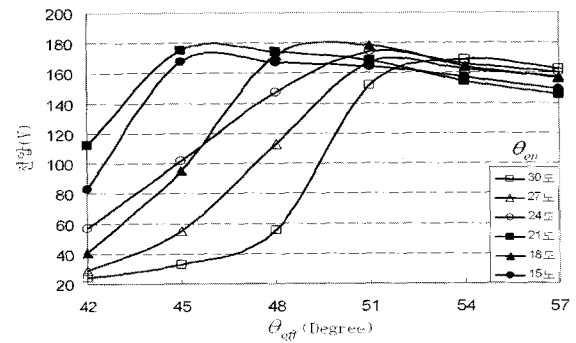
| | | | |
|---------|----------|----------|----------|
| 고정자 극수 | 6 | 고정자 극호 | 30[deg] |
| 회전자 극수 | 4 | 회전자 극호 | 30[deg] |
| 상수 | 3상 | 고정자 요크 폭 | 16[mm] |
| 상권선 저항 | 72.5[Ω] | 회전자 요크 폭 | 10[mm] |
| 최소 인덕턴스 | 0.025[H] | 최대 인덕턴스 | 0.295[H] |
| 정격출력 | 50[W] | 정격 토크 | 0.34[Nm] |

본 실험에서 SRG의 회전을 위해 정격출력 200[W]인 DC 전동기를 사용하였다. SRG와 전동기 사이에는 토크 측정을 위해 Torque meter를 이용하였고, 각각의 연결부에는 진동 및 비틀림을 고려하여 플렉시블(Flexible) 커블링을 연결하였다. 모든 특성시험에서는 1000[Ω]/100[W] 부하저항을 이용하였다. 스위칭방법, 스위칭각 변화에 따른 정전압, 토오크리플 그리고 소음에 대한 특성을 고찰하기 위해 타여자 방식[7]을 이용하였고, 그때 타여자 초기전압은 40[V]이다.

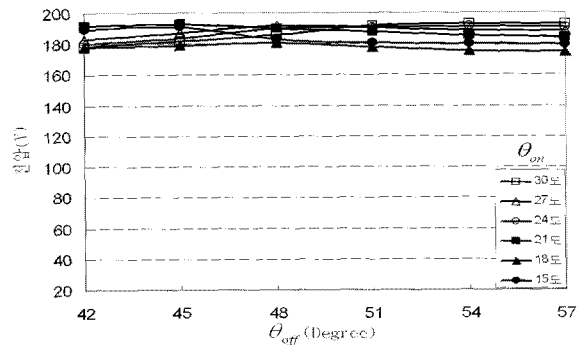
그리고 회생에너지 충전 요소로는 DC-Link단에 5600[uF]/400[V]급 전해 capacitor를 이용하였다. 충전 기준 전압은 200[V]로 설정하였다. SRG의 회전속도는 1100[rpm]이다. 실험에서 회전자극과 고정자극이 서로 정렬된 위치 즉 그림 1에서 θ_{on} 을 0°로 하였을 때 θ_{off} 를 15°~30°까지 3°씩 변화를 주었고, Off θ_{off} 는 30°~60°로 3°씩 변화를 주었다. 각각 하드쇼핑과 소프트쇼핑 스위칭방법을 적용하여 정전압, 토오크리플 그리고 소음의 특성을 실험하였다.

그림 5는 하드쇼핑 스위칭방법과 소프트쇼핑 스위칭방법에 대해 각각 capacitor에 충전되는 정전압을 측정된 결과이다. 소프트쇼핑 방식에서 평균 충전된 전압은 약 192[V]이었으며, 하드쇼핑 스위칭방법은 θ_{on} 구간에 따라 충전된 전압의 폭이 클 수 있다. θ_{on} 과 θ_{off} 구간에 대해서 비교해 보면 하드쇼핑 스위칭방법의 경우, θ_{on} 은 27°~30°, θ_{off} 는 54°~57°의 경우에 안정적이다. 소프트쇼핑의 경우, θ_{on} 은 27°~30°, θ_{off} 는 54°~57°의 경우에 안정적이다.

그림 6은 하드쇼핑 스위칭방법과 소프트쇼핑 스위칭방법으로 인한 평균 토오크 리플 특성이다. 그림 6(a)와 그림 6(b)의 평균 토오크 리플은 스위칭 방식에서는 소프트쇼핑 방식이 하드쇼핑 스위칭방법에 비해 전체적으로 토오크 리



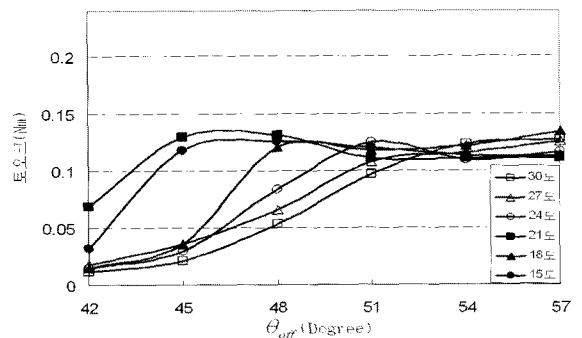
(a) 하드쇼핑 스위칭방법에 의한 전압



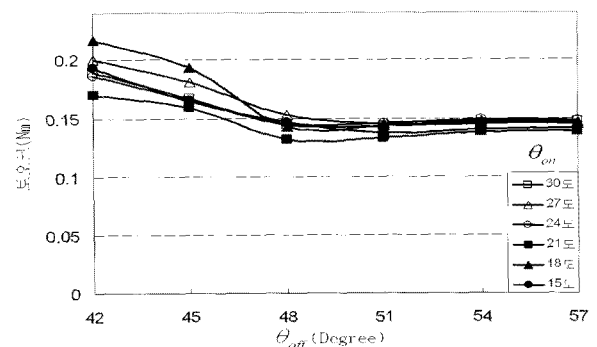
(b) 소프트쇼핑 스위칭방법에 의한 전압

그림 5 스위칭 방법에 따른 충전전압

Fig. 5 Charging voltage according to switching mode



(a) 하드쇼핑에 의한 평균 토오크 리플



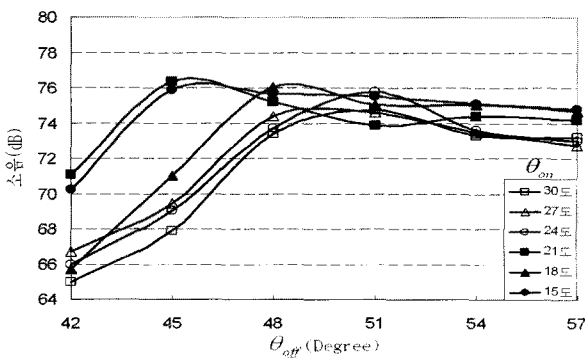
(b) 소프트쇼핑에 의한 평균 토오크 리플

그림 6 스위칭 방법에 따른 평균 토오크 리플

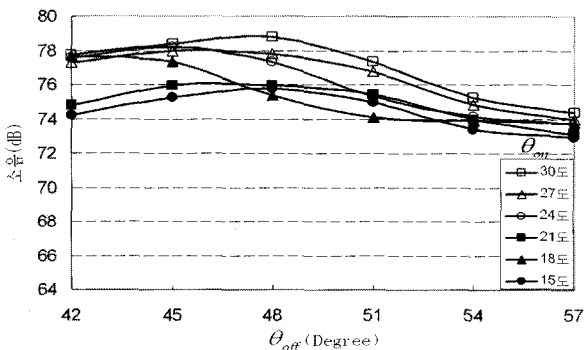
Fig. 6 Average torque ripple according to switching mode

플의 변화율이 적다. θ_{on} 과 θ_{off} 구간에 대해서 하드초핑의 경우 θ_{on} 구간은 $15^\circ \sim 18^\circ$, θ_{off} 구간은 $54^\circ \sim 57^\circ$ 경우에 토오크 리플은 약 $0.12[Nm]$ 이다. 소프트초핑의 경우 θ_{on} 구간은 $18^\circ \sim 21^\circ$, θ_{off} 구간은 $54^\circ \sim 57^\circ$ 의 경우에 토오크 리플은 약 $0.14[Nm]$ 이다.

그림 7은 하드초핑 스위칭방법과 소프트스위칭방법으로 실험하였을 때 각각의 전체소음(암소음+발생소음)을 측정할 결과이다. 소음값을 고찰해 보면 소프트초핑 스위칭방법이 하드초핑 스위칭방법에 비해 소음값의 변화가 적다. 이것은 기계적인 진동, 풍음 그리고 스위칭으로 인한 가진원을 모두 포함한다. 앞서 설명한 바와 같이 스위칭으로 인한 소음은 소프트초핑 스위칭인 경우가 적다. θ_{on} 과 θ_{off} 구간에 대해서 비교해 보면 하드초핑 스위칭방법의 경우 θ_{on} 구간은 $15^\circ \sim 21^\circ$, θ_{off} 구간은 $48^\circ \sim 51^\circ$ 의 경우에 소음값의 변화가 적다. 소프트초핑 스위칭방법의 경우 θ_{on} 구간은 $21^\circ \sim 27^\circ$, θ_{off} 구간은 $54^\circ \sim 57^\circ$ 의 경우에 소음값의 변화가 적다.



(a) 하드초핑 스위칭방법에 의한 소음특성



(b) 소프트초핑 스위칭방법에 의한 소음특성

그림 7 스위칭 방법에 따른 소음특성
Fig. 7 Noise according to switching mode

3. 결론

본 논문은 일정한 SRG회전속도에서 부하에 대한 출력전압의 전실성을 높이고 Break 토오크리플과 소음을 줄이기 위해서, 간단히 계자분 전류를 인가하는 스위칭방법과 스위

칭각(On-Off)변화만을 통하여 이들 특성을 실험적으로 비교 분석하였다. 계자분 전류를 인가하는 스위칭방법으로는 하드초핑 스위칭방법과 소프트초핑 스위칭방법을 이용하였고, 각각 스위칭방법에서 스위칭각(On-Off)은 동일하게 변화를 주었다. 소프트초핑 스위칭방법에 의한 계자방식에서 On-Off 스위칭각 변화에서도 부하에 대한 정전압 및 평균 Break 토오크리플에는 큰영향을 주지 않았다. 또한 소음특성도 스위칭각(On-Off) 전영역에서도 변화율이 적었다. 한편 하드초핑 스위칭방법에 의한 계자방식에서 On-Off 스위칭각 변화는 부하에 대한 정전압과 평균 Break 토오크리플 그리고 소음특성에 많은 영향을 주었다. 하드초핑 스위칭방법에 의한 계자방식은 순시적으로 충전전압을 높일 수 있지만 발전 전영역에서는 적절한 스위칭각의 설정이 어렵다. 또한 자기포화 등의 영향으로 전류제어가 어려워지므로 전압제어가 쉽지 않다. Break 토오크리플이 크게 발생하여 저속 회전속도영역에서는 Break 모드로 발생될 우려가 있다. 그리고 스위칭각(On-Off)의 변화에 따른 소음특성은 스위칭 Off각이 적을수록 소프트스위칭 방식보다 약 10[dB]정도 낮아졌다.

소프트초핑 스위칭방법에 의한 계자방식은 정격속도 이하의 영역에서도 일정한 Break 토오크리플을 유지할 수 있고, 계자분 전류를 일정하게 흘릴 수 있다. 또한 전류제어와 전압제어를 위한 변수인 속도만으로 그 크기를 조절 할 수 있으므로 제어회로 구성이 쉽다. 만약 발전시 SRG에서 발생하는 평균 Break 토크보다 SRG를 회전시켜주는 회전토오크가 클 경우 저속영역에서는 하드초핑 스위칭방법에 의한 계자방식이 순시적으로 높은 출력을 발생시킬 수 있다.

SRG의 발전량을 더욱더 크게 하고, 상용화하기 위해서는 본 연구에서 고찰한 바와 같이 발전회전속도에 따라 소프트초핑 스위칭방법과 하드초핑 스위칭방법 그리고 On-Off 스위칭각변화를 실시간으로 제어할 수 있는 알고리즘개발과 전력변환시스템의 개발이 필요하다.

참고 문헌

- [1] R. Arumugam, D. A. Lowther, R. Krishnan and J. F. Lindsay, "Magnetic Field Analysis of a SRM using a Two Dimensional Finite Element", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-21, No.5, pp 1883-1885, 1985
- [2] H. Moghbelli, G. E. Adams and R. G. Hoff, "Performance of 10-HP SRM and Comparison with Induction Motor", IEEE Trans. on IA, Vol.27, No.3, pp.531-538, 1991.
- [3] T.J.E Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford, 1933.
- [4] Yasuharu Ohdachi, Yoshihiro Kawase, Yutaka Mirura and Yoji Hayashi, " Optimum Design of SRM using Dynamic Finite Element Analysis", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 33, No.2, pp. 2033-2036, 1997
- [5] Iqbal Husain, M. Ehsani, "Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Motor Drives

by PWM Current Control," IEEE Trans. on PE, Vol.11, No.1, pp.91-98,1996.

- [6] Funda Sahin, H. Bulent Ertan, Kemal Leblebicioglu, "Optimum Geometry for Torque Ripple Minimization of Switched Reluctance Motors." IEEE Trans. on EC, Vol. 15, No. 1, March 2000.
- [7] 김영조, 오승보, 김영석 "순시자속을 이용한 위치센서 없는 SRG의 운전", KIFE, Vol. 7, No. 5 February. 2002

저 자 소 개



오 재 석 (吳 載 錫)

1978년 3월 9일생. 2004년 한양대학교 전자컴퓨터공학부 졸업. 2006년 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(석사). 2006년~현재 LG전자디지털어플라이언스 연구소 주임연구원

Tel : 010-5650-7284

Fax : 02-6915-1068

E-mail : totowayo@lge.com



오 주 환 (吳 周 桓)

1979년 5월 16일생. 2002년 호남대학교전기과 졸업. 2005년 한양대학교 대학원전자전기제어계측공학과졸업(석사). 2005~현재 동 대학원 전자전기제어측공학과박사과정. 2006년~현재 인택FA(주)부설 연구소 전력전자 Power management part 주임연구원

Tel : 031-786-6350

Fax : 031-786-6398

E-mail : ohjuhwan@hanyang.ac.kr



권 병 일 (權 丙 一)

1955년 5월 12일생. 1981년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 동경대 대학원 졸업(박사). 1991년~현재 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 교수.

Tel : 031-400-5165

Fax : 031-406-5073

E-mail : bikwon@hanyang.ac.kr