

C-dump Converter에 의한 차량용 SRM 구동 시스템의 고성능 제어

金度君*, 尹溶湖**, 李泰遠**, 元忠淵**, 金映烈***

High Performance Control of SRM Drive System for Automobiles by C-dump Converter

D.K. Kim, Y.H. Yoon, T.W. Lee, C.Y. Won, and Y.R. Kim

요 약

현재 차량에 사용되는 전동기는 대부분 직류전동기로, 12V 또는 24V 배터리 전원으로 구동되는 엔진 냉각 팬, 오일 펌프 및 공조시스템 등에 적용되고 있다. 그러나 직류전동기의 경우 효율, 수명, 내구성에 취약한 단점을 지니고 있다. 따라서, 자동차용 전동기로써 구조가 간단하고 내구성이 우수한 SRM(Switched Reluctance Motor)의 관심이 매우 높아지고 있다.

SRM을 차량용으로 사용하기 위해서는 고성능 제어와 12V 전원 구동에 모두 우수한 성능을 갖는 구동 컨버터의 선정이 매우 중요하다. 여러 종류의 구동 컨버터는 각각의 장단점을 갖고 있어, 차량에 적용시 여러 가지 제약 조건이 따른다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 비대칭 컨버터는 제어성능이 우수하지만, 각 상당 스위치가 가장 많이 필요하고, 상당 2개의 스위치에 의한 전압강하가 발생하는 단점을 지니고 있어, 차량의 12V 전원에는 부적절하다. 구조가 간단하고, 스위치 수가 적은 컨버터로 차량의 환경과 여러 요구조건을 충족시킬 수 있는 컨버터로써 Modified C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터를 선정하였다. 제안된 두 컨버터를 시뮬레이션과 실험을 통해 비교 검토하여, 차량용 SRM 구동 컨버터로써 Energy efficient C-dump 컨버터의 우수한 제어성능을 증명하였다.

ABSTRACT

Small electric motors in an automobile perform various tasks such as engine cooling, pumping, HVAC etc. At present, most of them are DC motors supplied by 12V or 24V batteries. However, DC motors suffer from low efficiency, life cycles and reliability. Therefore, there is a growing interest in substituting DC motors for advanced ac motors including switched reluctance motors(SRM). Although there are several other forms SRM converters, they are either unsatisfactory to the control performance or unsuitable for the 12V battery source. Especially, a conventional asymmetric converter of SRM provides the best flexible and effective control to the current waveform of SRM, but it has the most switches and produces conducting voltage drops across two power switches during SRM operation. For automotive applications with a 12V battery source, this circuit is inadequate. For considering the requirement for effective operation and simple structure of converter in the limited internal circumstance of automobiles, the author inclines toward selecting Modified C-dump converter and Energy efficient c-dump converter.

Key Words : Switched Reluctance Motor, Automobile motors, C-dump converter

*학생회원,성균관대 전기전자및컴퓨터공학과 석사과정
 E-mail :lawking_kim@hanmail.net
 **정회원,성균관대 메카트로닉스공학과 박사과정
 ***정회원,성균관대 전기전자및컴퓨터공학부 부교수
 ****정회원,안양대 전기전자공학과 조교수
 접수일자 : 2003. 8.26
 1차심사 : 2003. 9.19
 심사완료일 : 2003.10. 6

1. 서 론

SRM은 다른 전동기에 비해 간단한 구조로, 제작 단가가 저렴하고, 기계적으로 견고하다. 또한, 고온등의 열악한 환경에서도 신뢰성이 높고, 브러시가 없어 유지보수비가 거의 없다.^{[1][2]} 이러한 장점으로 인해 SRM은 산업용으로 다양한 분야에 응용이 가능하며, 특히, 고온과 진동이 심한 자동차 환경에 적합한 전동기로 선진국에서 기존의 직류전동기 또는 BLDC등의 대체 전동기로 활발한 연구가 진행되고 있다^[3].
 본 논문에서는 현재 차량에 사용되는 여러 전동기중에서 차량용 라디에이터 냉각팬의 DC전동기의 대체용으로 사용될 SRM 고성능 제어에 대해 연구하였다.
 실용성을 고려하여, SRM의 여러 컨버터중에서 경제성 있고, 회로가 간단한 Modified C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터를 구동시스템으로 선정하였고, 각 컨버터의 250W급 SRM에 대한 성능특성, 어드밴스각에 따른 동작특성, 부하특성 및 효율등을 비교 하였다^{[4][5]}.

2. C-dump 컨버터

2.1 컨버터 토폴로지 비교

그림 2-1과 그림 2-2는 Modified C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터를 보여준다. 모터의 초평 모드 동안에 복잡한 제어 없이 상전류의 환류가 가능하므로 제어가 간단하다.

그리고, 스위칭 소자의 전압정격은 Modified C-dump 컨버터에서 공급전압의 2배($2V_{dc}$)가 걸리는 것에 비해 1배(V_{dc})가 걸리므로, 다이오드 소자수가 더 많음에도 불구하고, 소자의 정격전압을 낮출 수 있어, 컨버터 파워소자에 드는 비용을 줄일 수 있는 장점을 지닌다.

또한, Modified C-dump 컨버터에서 가능하지 않았던 각 상전류의 중첩을 가능하게 함으로써 토크 발생 영역을 충분히 활용할 수 있다.^{[6][7]}

2.2 Energy efficient C-dump 컨버터의 모드해석

그림 2-3의 모드 (a)에서 Q_1 과 Q_d 를 턴온시켜 A상

을 여자 한다. 상은 덤프커패시터 C_d 의 에너지에 의해 공급되다가(②) 공급전압레벨까지 감소하게 되면 블러킹 다이오드 D_b 가 정방향 바이어스 되어 공급전압의 에너지가 상으로 공급하게 된다(①). 이때의 상전류는 스위치 Q_1 이 온과 오프를 스위칭함으로써 일정한 레벨을 유지하게 된다.

모드 (b)에서 보는 바와 같이 Q_1 이 오프될 때 상전류는 스위치 D_1 과 Q_d 를 통해 환류한다.

모드 (c)에서 Q_1 과 Q_d 모두 오프일 때 상권선의 에너지는 커패시터로 충전하게 된다. 커패시터의 전압은 공급전압 V_{dc} 보다 약간 높게 유지된다.

다이오드 D_c 는 커패시터의 전압이 감소하여 공급전압 V_{dc} 와 등전위가 될 때까지 환류상태를 유지시키며, 다이오드 D_d 는 상의 감자시에 전류가 공급 측으로 흐르는 것을 막아준다. 모드 (d)에서 상 A가 감자되는 동안에 Q_2 를 턴온 함으로써 상 B가 여자 될 수 있음을 보여준다. 이것은 상전류가 중첩이 될 수 있음을 의미한다.

2.3. C_d 의 설계

그림 2-4는 Energy-efficient C-dump 컨버터의 전류(commutation)시의 등가회로를 나타내고 있다.

권선 저항을 무시하고 상 권선에 있는 잔류에너지가

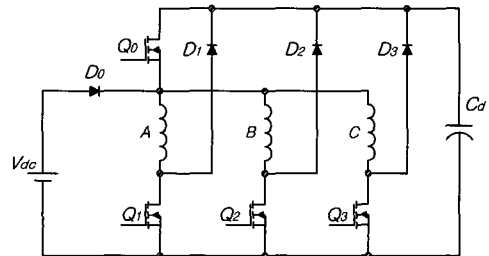


그림 2-1 Modified C-dump 컨버터
 Fig. 2-1 Modified C-dump converter

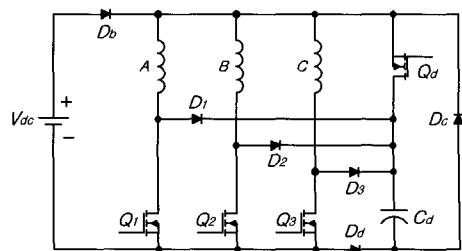


그림 2-2 Energy efficient C-dump 컨버터
 Fig. 2-2 Energy efficient C-dump converter

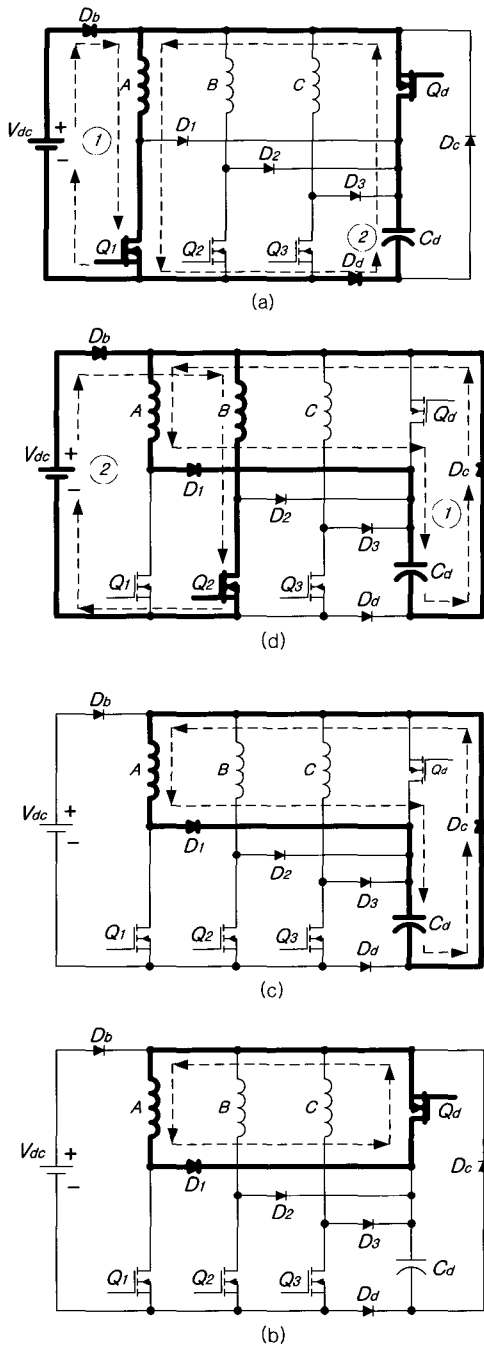


그림 2-3 Energy efficient C-dump 컨버터의 모드
 (a) 전도모드 (b) 환류모드
 (c) 전류모드-I (d) 전류모드-II
 Fig. 2-3 Operation mode Energy efficient C-dump converter
 (a) Conduction mode
 (b) Free-wheeling mode
 (c) Commutation mode-I
 (d) Commutation mode-II

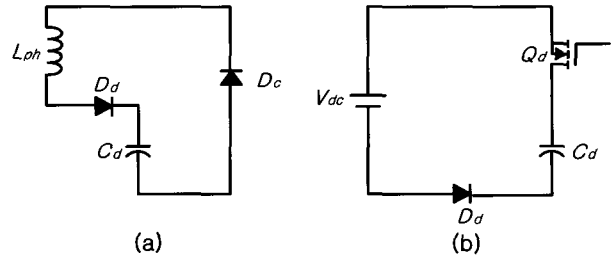


그림 2-4 전류기간동안의 컨버터의 등가회로
 (a) 상권선의 소자(demagnetization) (b) 커패시터 방전
 Fig. 2-4 Equivalent circuit for commutation
 (a) Demagnetization of phase winding
 (b) Discharge of capacitor

커패시터 C_d 에 충전이 되는 단계가 그림2-4(a)를 나타내고 이때의 전압 방정식은 식(2-1)과 같다.

$$\frac{d\lambda_{ph}}{dt} + \frac{i}{C_d} \int i_{ph} dt + V_{ci} = 0 \quad (2-1)$$

식 (2-1)에서 λ_{ph} 는 상권선의 쇠교자속을 나타내고, C_d 는 덤프커패시터의 값, i_{ph} 는 상전류, V_{ci} 는 커패시터의 초기 전압값을 각각 나타내고 있으며 상권선의 포화(saturation)를 무시할 경우 방정식은 식(2-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{ph} \frac{di_{ph}}{dt} + i_{ph} \omega \frac{dL_{ph}}{d\theta} + \frac{1}{C_d} \int i_{ph} dt + V_{ci} = 0 \quad (2-2)$$

정렬위치(aligned position)시에 $\frac{dL_{ph}}{d\theta} = 0$ 이고 전류 또한 0 으로 감소하기 때문에 역기전력성분 $i_{ph} \omega \frac{dL_{ph}}{d\theta}$ 는 급속히 0 으로 감소하게 된다. C_{cd} 에 대한 설계 값은 역기전력성분을 무시하여 얻어질 수 있다.

식 (2-3)는 식 (2-3)에서 역기전력성분 $i_{ph} \omega \frac{dL_{ph}}{d\theta}$ 을 무시할 때의 방정식을 나타내며,

$$i_{ph}(t) = V_{ci} \sqrt{\frac{C_d}{L_{ph}}} \sin\left(\sqrt{\frac{t}{L_{ph} C_d}}\right) + I_o \cos\left(\sqrt{\frac{t}{L_{ph} C_d}}\right) \quad (2-3)$$

상전선의 에너지가 덤프 커패시터로 완전히 충전하는데 소요되는 시간 (T_d)은 식(2-2)와 (2-3)에 의해 구한다.

$$T_d = \sqrt{L_{ph} C_d} \tan^{-1} \left(I_o \frac{\sqrt{\frac{L_{ph}}{C_d}}}{V_{ci}} \right) \quad (2-4)$$

식 (2-4)에서 I_o 는 전류(commutation) 초기($t=0$)시의 상전류 값을 나타내며 덤프 커패시터 양단 전압 값의 변화량은 식(2-5)을 나타내고 있다.

$$\Delta V_c = \frac{1}{C_d} \int_{t=0}^{t=T_d} i_{ph} dt \quad (2-5)$$

식 (2-5)에서 i_{ph} 와 T_d 를 식 (2-6)처럼 간단히 나타내어,

$$\Delta V_c = \sqrt{V_{ci}^2 + I^2 \frac{L_{ph}}{C_d}} - V_{ci} \quad (2-6)$$

식 (2-7)과 같은 덤프 커패시터의 설계 값을 얻을 수 있다.

$$C_d = \frac{I_o^2 L_{ph}}{(\Delta V_c + V_{ci}^2) - V_{ci}^2} \quad (2-7)$$

본 논문에서는 비정렬(Unaligned)상태인 경우,

$$C_d = \frac{I_o^2 \cdot L_1}{(\Delta V_c + V_{ci})^2 - V_{ci}^2} = \frac{16^2 \cdot 1.332mH}{(3+12)^2 - 12^2} \cong 4000\mu F$$

이며,

정렬(aligned)상태인 경우,

$$C_d = \frac{I_o^2 \cdot L_1}{(\Delta V_c + V_{ci})^2 - V_{ci}^2} = \frac{16^2 \cdot 0.241mH}{(3+12)^2 - 12^2} \cong 750\mu F$$

로 C_d 의 값을 구하였다.

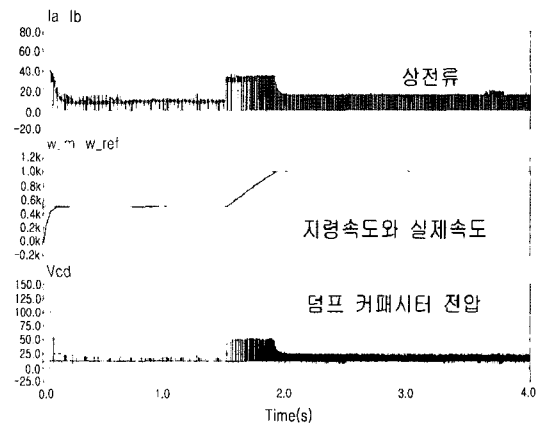


그림 3-1 500rpm 에서 1000rpm 가변시 각부 파형
Fig. 3-1 Waveforms of each parts from 500rpm to 1000 rpm

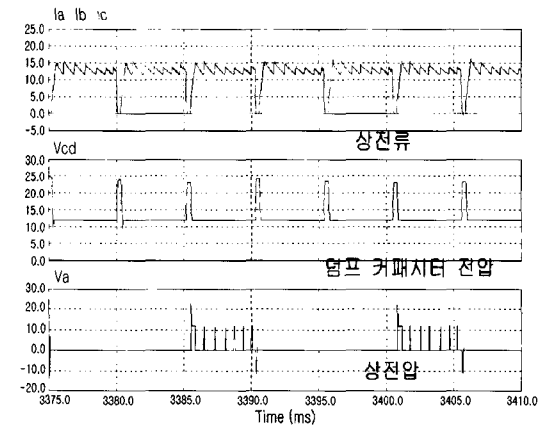


그림 3-2 1000rpm시 각부 파형
Fig. 3-2 Waveforms of each parts at 1000 rpm

6/4극 SRM의 구동은 상중첩에 의해 항상 정렬상태에서 동작하기 때문에 비정렬 상태의 C_d 값을 고려하지 않았다. 계산된 정렬상태의 C_d 값을 적용, 반복적인 실험을 거쳐 $1000\mu F$ 의 최적 C_d 값을 결정하였다. 계산치와 실험치의 차이는 고정자 및 회전자 pole 피치, 상중첩시 생기는 맥동성분에 기인한다.

3. 시뮬레이션

시뮬레이션 소프트웨어 프로그램 Psim을 이용하여 Modified C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터의 동작특성을 비교하였다.

3.1 Modified C-dump 컨버터

그림 3-1은 Modified C-dump 컨버터의 속도를 500rpm에서 1000rpm 지령속도를 주었을 때의 속도응답 파형과 상전류, 덤프 커패시터의 전압 파형이다. 그림 3-2는 속도 1000rpm시의 상전류, 덤프 커패시터 전압, 상전압 파형이며, 덤프 커패시터에서 입력전압 V_{dc} 값의 2배 전압이 충·방전되고 있는 것을 알 수 있다.

3.2 Energy efficient C-dump 컨버터

그림 3-3은 Energy efficient C-dump 컨버터의 속도를 500rpm에서 1000rpm 으로 지령속도를 주었을 때의 속도응답 파형과 상전류, 덤프 커패시터의 전압 파

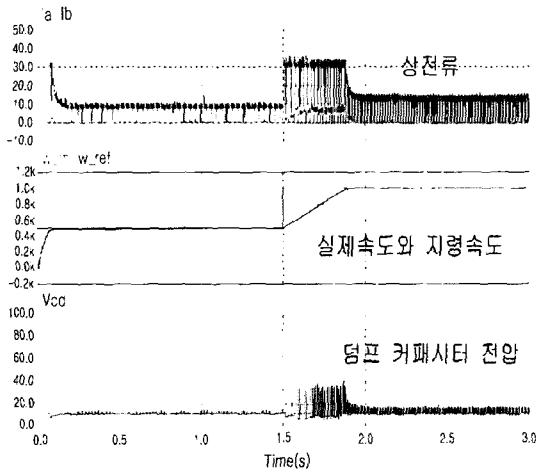


그림 3-3 500rpm에서 1000rpm시 각부 파형
Fig. 3-3 Waveforms of each parts from 500rpm to 1000 rpm

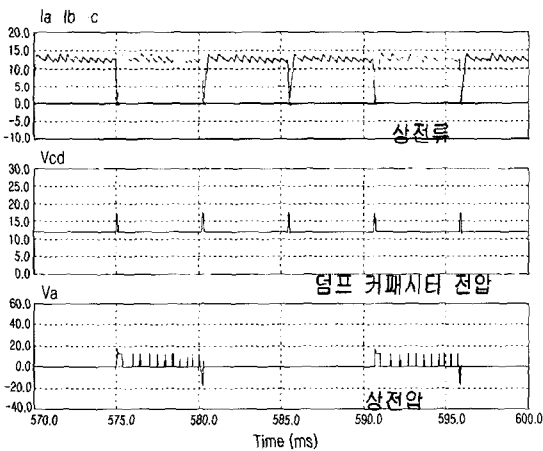


그림 3-4 1000rpm시 각부 파형
Fig. 3-4 Waveforms of each parts at 1000 rpm

형이다.

그림 3-4는 1000rpm시 각각의 파형 들을 확대했을 때, Energy efficient C-dump 컨버터는 덤프 커패시터의 전압이 입력전압의 1배인 V_{dc} 가 나타나고 각상의 전류 파형이 중첩이 되는 것을 확인할 수 있다.

각각의 파형을 분석하게 되면 모드 1에서 모드 4까지의 동작을 하고 있는 것을 알 수 있고, 덤프 커패시터에 나타나는 전압은 커패시터 값에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4. 실험 결과

본 논문에서는 SRM의 가변속 구동을 위하여 PI 제어를 적용하였다. 전원으로는 차량의 12V 배터리 대신 DC Power supply를 사용하였고, 근사 증분형 엔코더를 위치센서로 이용하였다.

그림 4-1은 전체 시스템의 구성도이고, 표1은 사용된 전동기 사양이다.

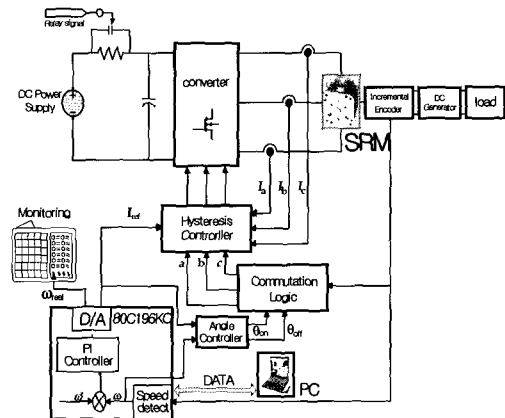


그림 4-1 전체시스템 구성도
Fig. 4-1 An Overall system block

표 1 전동기 사양
Table 1 Motor parameters

정격 출력	250[W]	상 권선저항	0.02166[Ω]
정격 전압	12[V]	최대 인덕턴스	1.332[mH]
상 수	3[상]	최소 인덕턴스	0.241[mH]
고정자 극수	6[pole]	회전자 극수	4[pole]

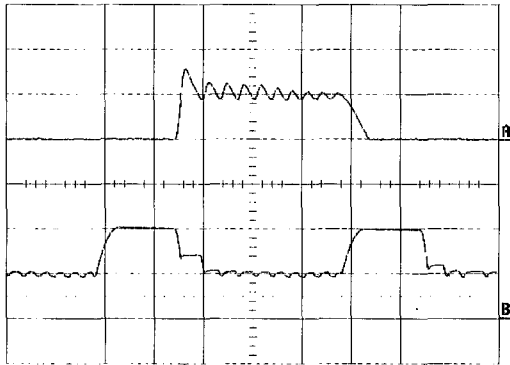


그림 4-2 상전류와 덤프 커패시터 양단전압 파형 (1000rpm, 10A/div 12V/div, 1ms)
 Fig. 4-2 Waveforms of phase current and dump capacitor (1000rpm, 10A/div 12V/div, 1ms)

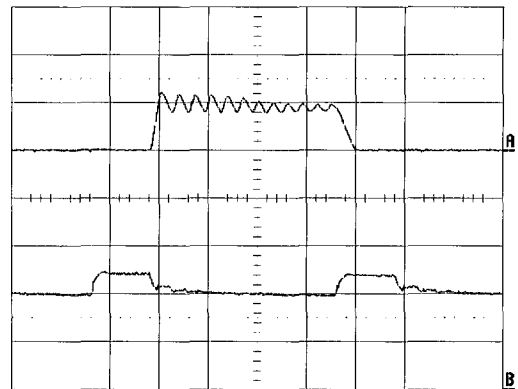


그림 4-4 상전류와 덤프 커패시터 양단전압 파형 (1000rpm, 10A/div 6V/div, 1ms)
 Fig. 4-4 Waveforms of phase current and dump capacitor (1000rpm, 10A/div 6V/div, 1ms)

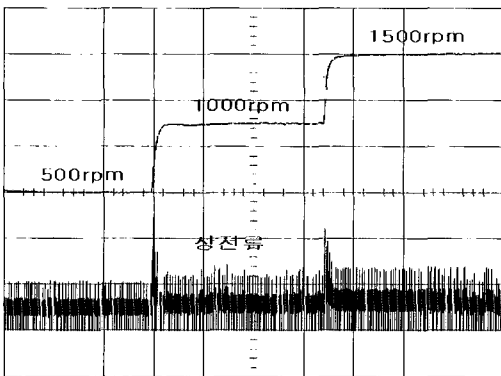


그림 4-3 속도와 상전류 파형(2s/div, 10A/div)
 Fig. 4-3 Waveforms of speed and phase current (2s/div, 10A/div)

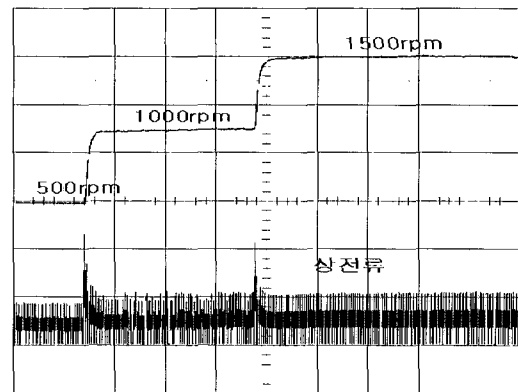


그림 4-5 속도와 상전류 파형(2s/div, 10A/div)
 Fig. 4-5 Waveforms of speed and phase current (2s/div, 10A/div)

공통 스위치와 A상의 스위치가 턴오프 하여, 권선에 저장되어 있던 에너지와 전원에너지의 합인 24V가 덤프 커패시터에 공급되다가 공급전압인 12V 레벨까지 감소하게 되면 다음 상인 C상을 여자 시킴으로써 덤프 커패시터의 에너지가 방전되고 있는 것을 볼 수 있다.

그림 4-3은 속도가변에 따른 상전류의 변화를 보여준다.

4.2 Energy efficient C-dump 컨버터

그림 4-4는 1000rpm시 상전류와 덤프 커패시터 양단전압 파형이다.

커패시터에 인가되는 전압은 입력전압인 12V보다 약간 큰 전압으로 충전하였다가 12V로 방전하는 파형이다.

그림 4-5는 속도가변에 따른 상전류의 변화를 보여준다.

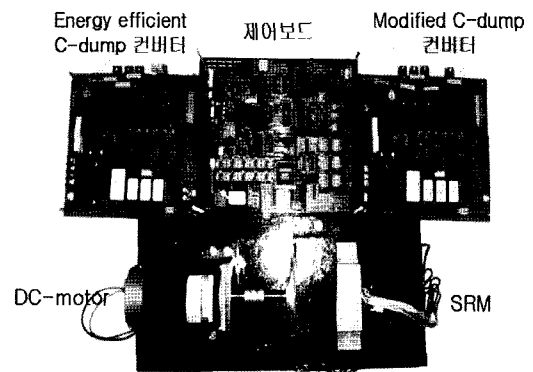


그림 4-6 실험에 사용된 SRM 시스템
 Fig. 4-6 SRM system using for experiments

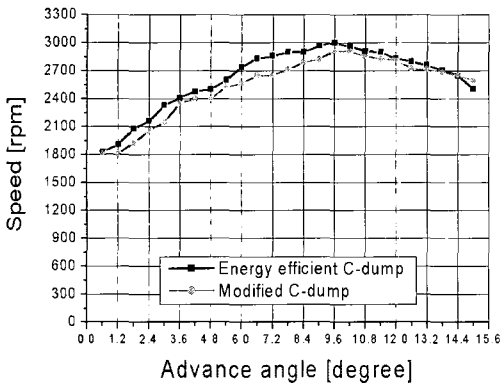


그림 4-7 어드밴스각의 변화에 따른 두 컨버터의 구동특성
 Fig. 4-7 Drive characteristic of two converters according to variation of advance angle



그림 4-8 부하 실험을 위한 시스템의 구성도
 Fig. 4-8 SRM system block diagram for measuring Load

구조상 Modified C-dump 컨버터보다 다이오드 2개 더 추가된 구조로 제어가 약간 더 복잡하지만 입력전압이 높은 시스템을 사용할 경우 각 소자의 정격사양 선택시 훨씬 더 경제적이고 중첩제어가 가능하여 토오크 리플이 적어 비대칭 컨버터에 비해 소자 수를 줄이고 회로를 간단히 하면서 비슷한 효율을 얻을 수 있다. 그림 4-6은 실험에 사용된 SRM 시스템을 보여준다.

4.3. 어드밴스 각 선정

그림 4-7은 부하가 고정된 상태에서 EPROM의 어드밴스 각도 데이터를 바꾸어 가면서 실험을 하여 얻은 값이다. 어드밴스 각이 9.6°일 때, 역기전력과 전원전압의 크기가 같게 되고 충분한 전류확보로 모터의 정격속도를 얻을 수 있었다. Energy efficient C-dump 컨버터가 Modified C-dump 컨버터 보다 어드밴스 각을 기준으로 볼 때, 속도특성이 우수한 결과를 얻었다.

4.4. 부하 실험

팬 부하의 경우, 회전속도가 변화하면, 풍량과, 팬의 압력이 변동하게 되어 전동기의 기계적 부하도 변동된다. 따라서, 본 논문에서는 실제 동급의 DC전동기가 장착된 자동차(H사 3000CC)의 라디에이터 냉각 팬의 평균 회

전 속도인 2500rpm에서 실제부하에 해당하는 100W의 부하실험에 DC generator를 이용하였다. 이 실험 시스템의 구성도는 그림 4-8과 같으며, 부하실험을 위해 SRM의 샤프트와 동축에 150W, 정격속도 3000rpm의 영구자석형 DC generator를 연결하였다. DC generator의 출력단에는 1kW용 가변저항을 연결하여 부하를 가변하도록 구성하였다.

그림 4-9와 4-10은 Modified C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터에서 각각 측정된 100W 부하실험에 대한 각상의 전류 파형이다.

부하, 속도, 어드밴스 각의 동일조건에 대해 Energy efficient C-dump 컨버터의 상전류 파형은 Modified C-dump 컨버터에 비해 감자구간동안 환류상태가 증

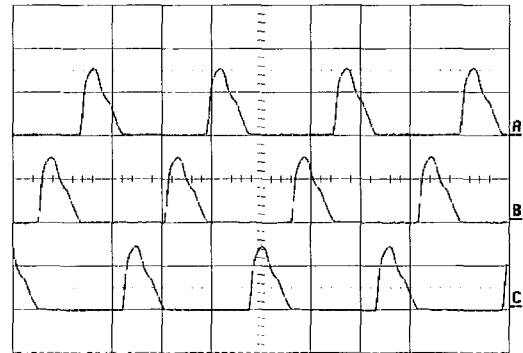


그림 4-9 Modified C-dump 컨버터 부하실험(100W)시 상전류 파형 (2500rpm, 20A/div, 2ms)
 Fig. 4-9 Phase current waveforms on 100W load experiment for Modified C-dump converter.(2500rpm, 20A/div, 2ms)

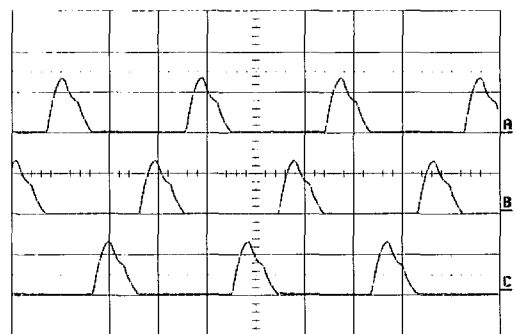


그림 4-10 Energy efficient C-dump 컨버터 부하실험(100W)시 상전류 파형 (2500rpm, 20A/div, 2ms)
 Fig. 4-10 Phase current waveforms on 100W load experiment for Energy efficient C-dump converter.(2500rpm, 20A/div, 2ms)

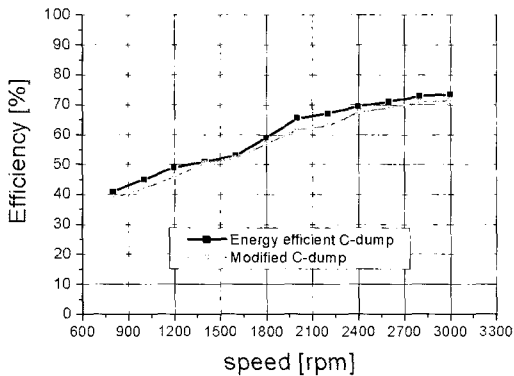


그림 4-11 전체 시스템 효율

Fig. 4-11 Efficiency for overall system

대되어 시간축에 대해 더 넓은 파형을 형성하고 있으며, 이는 Energy efficient C-dump 컨버터가 에너지 변환율이 높고 효율이 우수함을 나타낸다.

4.5. 효율 측정

두 종류의 컨버터의 효율을 실험을 통해 비교하였다. 전체효율을 측정하기 위해 컨버터단의 직류입력을 전체 시스템의 입력으로 계산하여 입력전력을 계산하였으며, 출력은 직류발전기의 출력전압과 전류로부터 출력전력을 구한 후 직류발전기의 출력단자를 개방하고 회전시켰을 경우의 무부하 입력을 포함하여 계산하였다.

그 외의 직류발전기에서의 손실은 고려하지 않고 비교하였다.

속도에 따른 효율의 측정을 위하여 마이크로 컨트롤러 내에 PI제어기를 구현하여 인가전압을 초평함으로써 지령속도를 추종하도록 하였으며, 부하는 지령속도를 추종할 수 있는 상태에서의 최대부하를 인가하였다. 그림 4-11은 최적의 스위칭각을 앞서 실험으로 얻은 어드밴스 각도 9.6° 에서 Modified C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터를 각각 사용하여 전체 시스템의 효율을 보여준다.

효율은 모두 속도의 증가에 비례하며, Energy efficient C-dump 컨버터가 Modified C-dump 컨버터에 비해서 전체적으로 우수한 효율을 나타내었다.

5. 결 론

차량용 전동기로 250W급 6/4극 SRM의 구동장치로 두종류의 C-dump 컨버터를 사용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) Psim을 이용한 시뮬레이션과 실험을 통해 동일한 결과를 얻었으며, 두 컨버터의 동작특성과 덤프 커패시터의 충방전 특성을 비교하여 Energy efficient C-dump 컨버터의 경우, Modified C-dump 컨버터에서 공급전압의 2배가 걸리는 것에 비해 1배가 걸리므로 파워 소자의 정격을 낮출 수 있음을 확인하였다.

2) Modified C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터를 구동용 컨버터로 사용하여 최대속도, 효율, 최적의 스위칭각을 중심으로 비교하였다.

3) 차량용 라디에이터 냉각팬의 평균회전속도를 2500rpm으로 설정하고, DC generator를 이용한 부하 실험 결과, Energy efficient C-dump 컨버터가 감자구간동안 환류상태가 증대되어 에너지 변환율이 우수하였다.

4) 두 컨버터 모두, 어드밴스 각 9.6° 에서 역기전력과 전원전압의 크기가 같아져 SRM의 각상에 충분한 전류확보가 가능함을 확인하여, 최적의 스위칭각을 얻었다.

5) 최적의 스위칭각 9.6° 에서 속도에 따른 효율을 측정하였으며, 전구간에 대해 Energy efficient C-dump 컨버터가 Modified C-dump 컨버터에 비해 효율이 약 4% 향상 되었다.

결론적으로, 차량용 SRM 구동 드라이버로서 Energy efficient C-dump 컨버터가 Modified C-dump 컨버터에 비해서 우수한 제어성능을 나타내었다.

이 논문은 과학재단(R01-2001-000-00306-0)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] T. J. E Miller, "Switched Reluctance Motors and Their Control", Oxford University press, 1993.
- [2] 장도현, "SRM의 토크제어 기술", 전력전자학회지, 제 7권, 제 5호, 2002.
- [3] Eric Chowanietz, "Automobile Electronics", Newnes, 1995.
- [4] 표성영, 안진우 "PLL제어방식 SRM의 고효율 구동", 전력전자학회 논문지, vol. 5, No. 3, pp. 215~220, 2000.
- [5] 백원식, 김민희, 김남훈, 최경호, 김동희, "신경회로망을 이용한 SRM의 토크 추정과 스위칭 각 제어", 전력전자학회 논문지, vol. 7, No.6, pp. 509~516, 2002.
- [6] A. Hava, V. Blasko, and T. A. Lipo, "A Modified C-dump converter for variable reluctance machines",

IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 28, Sept./Oct. 1992.

- [7] Sayeed Mir, "Energy efficient C-dump Converters for Switched reluctance Motors", IEEE Transaction on Power Electronics vol. 12, No. 5, pp. 912~921, 1997.

저 자 소개



김도군(金度君)

1971년 6월 22일생. 1994년 경기대학교 전자공학과 졸업(학사). 1996년~2001년 만도기계 전장연구소 연구원. 2002년~현재 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학과 석사과정.



윤용호(尹溶湖)

1973년 5월 9일생. 2002년 성균관대학교 메카트로닉스 공학과 졸업(석사). 2003년~현재 성균관대 대학원 메카트로닉스 공학과 박사과정.



이태원(李泰遠)

1971년 7월 14일생. 1998년 총주대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 2000년 성균관대 메카트로닉스공학과 졸업(석사). 2002년~현재 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정.



원충연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 부교수. 당 학회 부회장.



김영렬(金暎烈)

1958년 9월 5일생. 1982년 서울대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1982년~1987년 한국기계연구소 부설 기업기술지원센터 연구원. 1993년~1996년 한국항공우주연구소 선임 연구원. 1996년~현재 안양대학교 전기전자공학과 조교수. 당 학회 편집위원.