

Intelligent Power Module의 플로팅 게이트 전원 공급을 위한 전하 펌프 회로의 설계

임정규, 김석환, 서은경, 정세교
경상대학교 제어계측공학과

Design of Charge Pump Circuit for Intelligent Power Module of Floating Gate Power Supply

Jeong-Gyu Lim, Seok-Hwan Kim, Eun-kyung Seo, Se-Kyo Chung
Gyeongsang National University

ABSTRACT

A bootstrap circuit for floating power supply has the advantage of being simple and inexpensive. However, the duty cycle and on-time are limited by the requirement to refresh the charge in the bootstrap capacitor. Hence, this paper deals with a design of charge pump circuit for a floating gate power supply of an IPM. The operation of the proposed circuit applied by three-phase inverter system for driving induction motor are verified through the experiments.

1. 서론

Intelligent Power Module(IPM)은 6개의 IGBT 스위치와 게이트 구동회로 및 보호회로를 집적한 전력용 반도체 소자로서 이러한 집적 소자를 사용하면 전동기 구동을 위한 드라이브 시스템의 소형화가 가능해진다.

IPM의 게이트 구동을 위해서는 4개의 독립된 전원이 필요하게 되는데 전력단의 소형화를 위하여 단일 전원으로 게이트 구동을 구현 할 수 있는 부트스트랩 회로가 사용되고 있다. 그러나 부트스트랩 회로는 그 구성이 간단하다는 장점이 있으나 부트스트랩 커패시터에 전하를 충전하기 위한 시간이 필요하게 되므로 100% duty cycle로 동작이 불가능 하여, AC 서보 드라이버와 같은 응용 시스템에 적용하기 어렵다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 전하 펌프 회로를 이용한 IPM의 플로팅 전원 공급 방법을 제안하였다.^[1] 제안된 회로는 100% duty cycle로 동작이 가능하며, 게이트 스위치의 스위칭 주파수의 변화에도 비교적 안정된 게이트 구동 전원을 공급 할 수 있게 된다.

제안된 회로의 타당성을 검증하기 위해 Fairchild사의 IPM FSAM30SH60A를 사용한 유도전동기 구동 드라이브에 적용하였으며, 실험을 통하여 회로의 동작과 성능을 검증하였다.

2. 제안된 회로

2.1 회로의 구성 및 동작

그림 1 은 본 논문에서 제안한 IPM의 플로팅 게이트 전원 공급을 위한 전하 펌프 회로의 구성을 나타내었다. 제안된 회로는 IPM의 상부 스위치 구동을 위한 부트스트랩 회로와 전하 펌프 동작을 위한 전하 펌프 회로로 나뉘어져 있다. 부트스트랩 회로는 다이오드(D_{bs})와 부트스트랩 커패시터(C_{bs})로 구성되어 있으며 전하 펌프 회로는 Pump oscillator로 사용된 555Timer와 두 개의 스위칭 다이오드(D_1, D_2), 펌프 커패시터(C_p), 전하 펌프 회로의 전원 공급을 위한 커패시터(C_{ps}), 제너다이오드(D_{ps}), 저항(R_p) 등으로 구성 되어 있다.

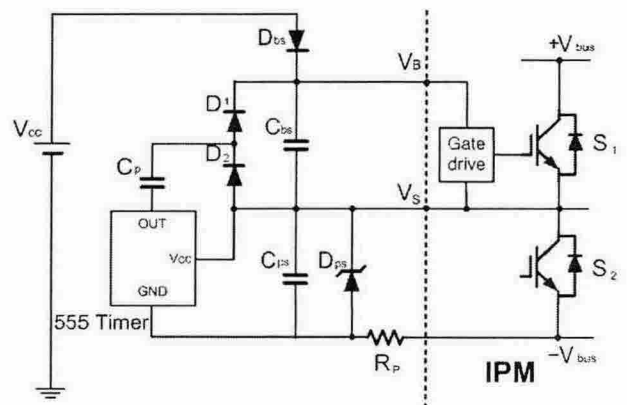


그림 1 제안된 회로의 구성

Fig. 1 Configuration of proposed circuit

제안된 회로의 동작은 인버터의 상단 및 하단 스위치의 on, off 상태에 따라 설명할 수 있다. 우선, S_2 스위치가 on 상태일 때, 부트스트랩 커패시터는 D_{bs} 를 통해 충전을 시작하게 된다. 이 때, C_p 에는 전하가 충전되지 않으므로 전하 펌프 회로는 동작하지 않는다.

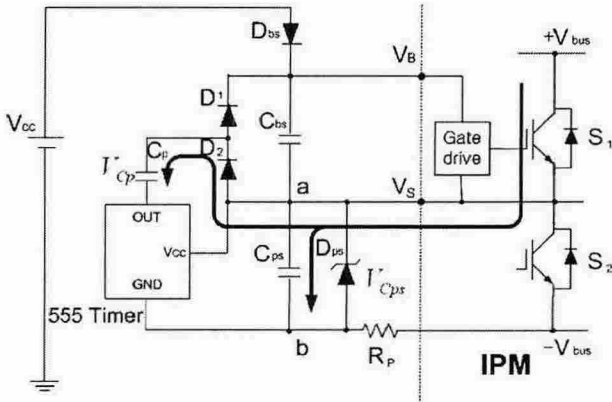


그림 2 555Timer의 Low 출력
Fig. 2 Low output of 555Timer

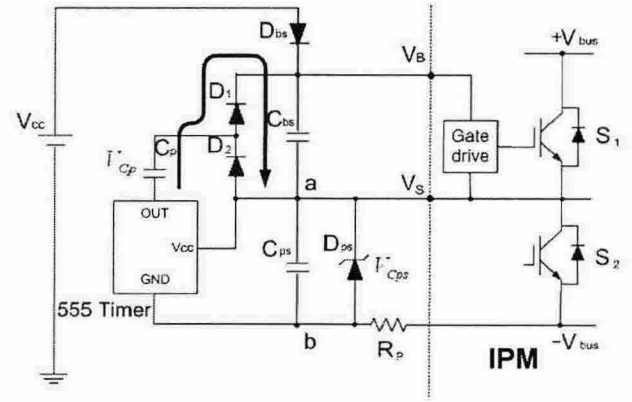


그림 3 555Timer의 High 출력
Fig. 2 High output of 555Timer

다음으로, S_2 스위치가 턴 오프 (turn-off) 되고 S_1 이 턴 온 (turn-on) 될 경우, D_{bs} 가 역방향 바이어스 되면서 부트스트랩 커패시터는 충전을 멈추게 되며, 그림 2에서 나타내고 있는 경로를 통해 전하 펌프 회로의 전원 공급을 위한 커패시터 C_{bs} 와 펌프 커패시터 C_p 에 전하를 충전하게 된다. 이 때, C_{bs} 양단 전압은 제너다이오드 D_{ps} 에 의해 제한되며, 555Timer에 의해 전하 펌프 회로가 동작을 시작한다. 이 전하 펌프는 부트스트랩 커패시터가 상단 스위치의 on 상태 동안 일정 전압을 유지시키는 작용을 하게 된다.

전하 펌프의 동작은 555Timer의 출력이 Low 일 때와, High 일 때를 나누어 설명 할 수 있다. Low 출력일 때, Low 출력의 전위는 b 지점의 전위와 같게 된다. 따라서 펌프 커패시터에 충전되는 전압 V_{Cp} 는 C_{bs} 양단 전압 V_{Cbs} 와 같게 된다. High 출력일 때, High 출력의 전위는 a 지점의 전위와 같게 된다. D_2 는 역방향 바이어스 상태가 되고 따라서, C_p 의 전하는 그림 3에서와 같이 D_1 을 통해 부트스트랩 커패시터 C_{bs} 에 충전되게 된다.

2.2 파라미터 설계

부트스트랩 커패시터는 S_1 스위치가 on 상태에서 일정한 전압 이상을 유지할 수 있어야 한다. 이를 위해 한 주기 동안 C_{bs} 에 공급 되어야 할 전하량은 다음과 같다.

$$\Delta Q_{Cbs} = \frac{I_g}{f_p} + \frac{I_k}{f_p} + \frac{I_{qbs}}{f_p} + \frac{I_{lgs}}{f_p} + \frac{I_{lcb}}{f_p} \quad (1)$$

여기서, I_g = S_1 의 게이트 전류, I_{qbs} = 게이트 드라이버의 바이어스 전류, I_k = 레벨쉬프트 요구 전류, I_{lgs} = S_1 의 게이트-소스 누설전류, I_{lcb} = 부트스트랩 커패시터의 누설전류, f_p = 전하 펌프 회로의 주파수를 나타낸다. 부트스트랩 커패시터의 전압 맥동을 ΔV_{Cbs} 라고 하면 커패시터의 용량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_{bs} \geq \frac{\Delta Q_{Cbs}}{\Delta V_{Cbs}} \quad (2)$$

여기서, $\Delta V_{Cbs} = V_{cc} - V_{min}$ 이며, V_{min} 값은 S_1 의 턴 온(turn-on)을 위한 최소 값 보다 커야한다.

전하 펌프 회로가 정상 상태에 이르는 시간은 부트스트랩 커패시터의 전하 소모 시간에 비해 무시할 수 있으므로, 정상 상태의 조건하에서 펌프 커패시터의 파라미터를 구하기로 한다. 다음 식은 정상 상태에서 전하 펌프 회로에 의해 유지되는 V_{Cbs} 전압을 나타낸다.^[2]

$$V_{Cbs} \big|_{steady-state} = \frac{(V_{Cps} - V_{D2} - V_{D1})}{f_p C_{bs}} \left[\frac{(C_p + C_{bs})}{C_p} - D_p \right] \quad (3)$$

여기서, f_p = 전하 펌프 회로의 주파수, I_{qbs} = 게이트 드라이브의 바이어스 전류, D_p = 전하 펌프 회로의 출력 duty ratio를 나타낸다.

다음 식은 정상 상태에서의 최대 V_{Cbs} 전압과 전하 펌프 회로의 동작으로 인한 V_{Cbs} 의 리플 전압을 나타낸다.

$$V_{Cb} \big|_{steady-state(max)} = (V_{Cps} - V_{D2} - V_{D1}) \quad (4)$$

$$V_{Cbs} \big|_{ripple} = \frac{I_{qbs}}{f_p} \frac{D_p}{C_p + C_{bs}} + \frac{1 - D_i}{C_{bs}} \quad (5)$$

3. 회로 구현 및 실험

3.1 회로 구현

제안된 회로의 타당성을 검증하기 위해 실제 회로를 구현하여 실험을 수행하였다. 구현된 회로는 유도전동기 구동을 위한 드라이브로 제작된 회로이며, 여기에 전하 펌프 회로를 적용하여 구현하였다. 사용된 IPM은 Fairchild사의 FSAM30SH60A를 사용하였으며, 전하 펌프 회로의 Pump oscillator는 HITACHI의 HA17555를 사용하였다. 실험에 사용된 각 소자의 파라미터는 표 1에 나타내었다. 표에 정리되어 있는 파라미터와 식 (1) - (5)를 이용하여 펌프 커패시터와 부트스트랩 커패시터의

값을 계산하였다. 커패시터의 누설전류는 Low ESR의 metallized polyester capacitor을 사용하였으므로 무시하였다.

표 1 실험 파라미터
Table 1 Experimental parameters

	항 목	값
실험 조건	스위칭 주파수	5kHz
	V_{bus}	150V
IPM (FSAM30SH60A) 파라미터	Q_g	40nC
	Q_{ls}	5nC
	I_{lgs}	250nA
	I_{qbs}	420uA
	V_{Cbs}	15V
	Zener Diode	V_z
C_{bs} 파라미터	C_{bs}	220nF
C_p 파라미터	C_p	10nF
Pump oscillator 주파수	f_p	200kHz
Pump oscillator duty ratio	D_p	0.5

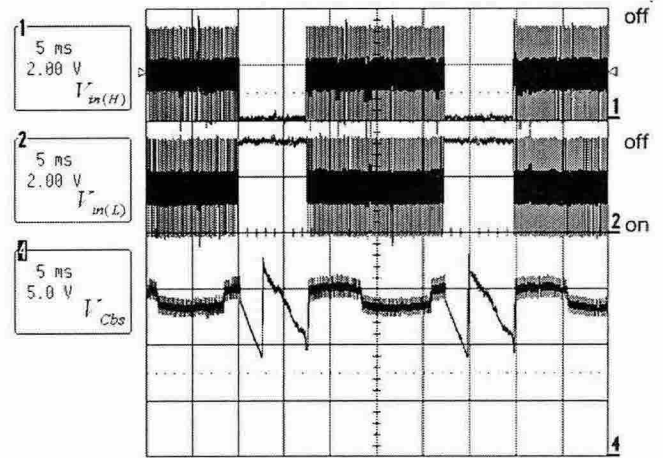
3.2 실험 결과

100% duty cycle 동작 상태를 확인하기 위해 3상 전압형 인버터의 전압 변조 방식 중 한 주기내에서 2상의 스위치만 상태를 절환하는 2상 전압 변조 방식^[3]을 적용하여 실험을 수행 하였다.

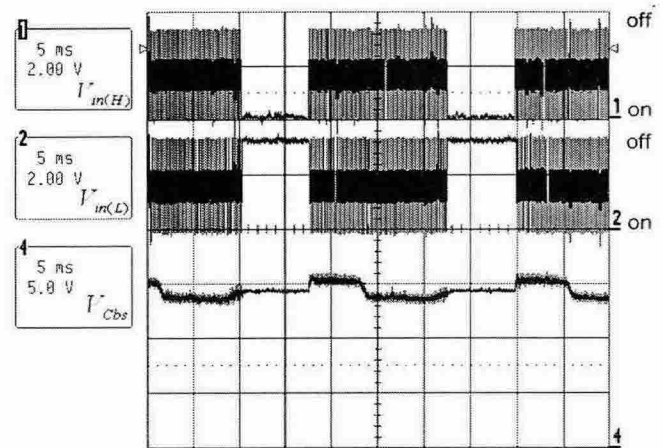
그림 4-(a)는 플로팅 게이트 전압 공급 방법으로 부트스트랩 회로만으로 구현한 실험 파형이며, 그림 4-(b)는 제안된 회로를 적용한 실험 파형이다. 그림에서 $V_{in(H)}$ 와 $V_{in(L)}$ 는 3상 인버터 시스템에서 2상 전압 변조 방식을 적용한 한 상의 제어 입력 신호 파형을 나타낸다. 그림 4에서 나타난 실험 파형의 비교를 통해 알 수 있듯이 전하 펌프 회로의 동작에 의해 부트스트랩 커패시터의 전압, V_{Cbs} 가 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 Intelligent Power Module(IPM)의 플로팅 게이트 전원 공급을 위한 부트스트랩 회로에 전하 펌프 회로를 적용함으로써 100% duty cycle로 스위칭 동작이 가능한 전원 공급 방법을 제안하였다. 제안된 회로는 유도 전동기 구동을 위한 인버터 시스템에 적용하여 실험하였으며, 실험 결과에 나타난 바와 같이 100% duty cycle로 동작이 가능함을 알 수 있다.



(a) Bootstrap Circuit



(b) Charge Pump Circuit

그림 4 제어 입력 신호 및 V_{Cbs} 출력 파형
Fig. 4 control input signal & V_{Cbs} output waveforms

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 (과제관리번호 R-2003-B-099)주관으로 수행된 과제임

참 고 문 헌

- [1] International Rectifier, "HV Floating MOS-Gate Driver ICs", Application note AN978-b, International Rectifier Co., EI Segundo, CA
- [2] G.F.W.Khoo, Douglas R.H. Carter, and R.A.McMahon, "Analysis of a Charge Pump Power Supply with a Floating Voltage Reference", IEEE Transactions on Circuits and Systems - I : Fundamental Theory and Applications, Vol. 47, No. 10, October 2000
- [3] 정대웅, "육상 전압에 의한 3상 전압형 인버터 PWM 방법의 일반적인 해석", 서울대학교 전기공학부, 2000,