

경계전류모드를 사용한 Adapter용 브리지리스 정류회로의 성능 개선

유호원, 임승범, 정연호, 이준영*, 홍순찬
단국대학교 전기공학과, * 단국대학교 전자공학과

Performance Improvement of Bridgeless Rectifier Circuit for Adapter Using Boundary Current Mode

Ho-Won Yoo, Seung-Bum Lim, Yeon-Ho Jeong, Jun-Young Lee*, and Soon-Chan Hong
Dept. of Electrical Eng., Dankook University, * Dept. of Electronics Eng., Dankook University

ABSTRACT

The AC-DC Adapter has been widely used in Mobile Phones, Note Book PC, LCD monitors, and portable electronic products. Recently, high-power-density Adapter was developed. This adapter increases power factor using a bridge diode rectifier and PFC, however, there are weak points that improving efficiency is limited. In the bridgeless rectifier circuit proposed in this paper, there is no PFC, however, the power factor and efficiency are improved by BCM and ZCS operations.

1. 서 론

AC-DC Adapter는 Mobile Phones, 노트북 PC, LCD 모니터, 소규모 휴대용 전자제품 등에 광범위하게 사용되고 있고 재료비 경쟁이 심하기 때문에 PFC(Power Factor Correction)를 사용하지 않는다. 그러나 전자기기의 요구 전력이 점차 증가하고 harmonics 규제에 대한 대응방안으로 최근 개발된 고전력밀도 Adapter는 PFC를 사용하였다. 이 Adapter는 브리지 다이오드 정류기와 PFC를 사용하여 역률을 높였으나 효율 향상에 한계가 있고 정류기에서의 손실이 크며 다이오드에서 많은 열이 발생하는 단점이 있다. 본 논문에서는 PFC와 브리지 다이오드를 대신하는 브리지리스 정류기를 사용하여 역률을 개선함과 동시에 효율을 향상시킬 수 있는 회로를 제안한다.

제안 회로의 제어 방식은 제어 구성이 간단하고, 기본적으로 ZCS(Zero Current Switching)동작을 하는 경계전류모드(BCM: Boundary Current Mode)방식으로 역률을 개선하고 효율을 높인다. 끝으로 시뮬레이션을 통하여 제안 회로의 유용성을 입증한다.

2. 제어 방식

변환기는 인덕터 전류의 연속성에 따라 연속전류 모드로 동작하는 CCM(Continuous Current Mode)방식, 불연속 전류모드로 동작을 하는 DCM(Discontinuous Current Mode)방식, 경계전류모드에서 동작을 하는 BCM(Boundary Current Mode)방식으로 나눌 수 있다.^[1-2]

CCM방식은 입력전류가 입력전압에 추종하도록 전류를 제어하는 방식으로 일반적으로 인덕터의 크기가 커지고 제어 IC가 복잡해지는 단점이 존재한다. 그리고 인덕터의 크기문제에 의해 Adapter에 적용하여 사용하기 어렵다.

DCM방식은 작은 인덕터 값을 사용하므로 인덕터의 사이즈가 작아지지만 불연속 전류 구간이 생겨서 제어면에서 불리하다.

BCM방식은 주파수가 가변되는 가변주파수 제어방식으로서 CCM 방식에 비해서 제어가 간단하다. 또한 턴온시에 영전류 스위칭을 하기 때문에 DCM 방식보다 스위칭 손실이 작다. 효율과 공간적인 문제를 모두 고려했을 때 CCM이나 DCM방식에 비해 Adapter 제어방식에 적당하다.

따라서 전력밀도가 중요한 Adapter를 설계하기 위해서는 마그네틱소자의 크기를 최소한으로 줄여야 하고 제어 방식도 단순해야 하므로 제어회로의 구성이 간단하고 영전류 스위칭이 가능한 BCM방식을 사용한다.

BCM 제어방식은 직류단의 전압을 일정하게 유지하면서 교류단의 입력전류가 전원전압과 동상을 이뤄 역률을 1로 보상한다. 그림 1은 BCM 제어방식의 동작을 설명한 그림으로 전류 기준파형은 전원전압과 위상은 같고 크기만 다르다. 그림에서와 같이 인덕터 전류와 전류 기준파형을 비교하여 인덕터 전류값이 0이 되면 스위칭 소자가 턴온되어 전류가 상승하고, 인덕터 전류가 전류 기준파형과 같은 값이 되면 스위칭 소자가 턴오프되어 전류가 하강하게 된다.

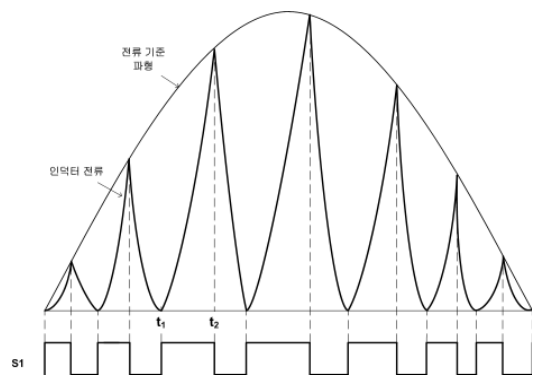


그림 1 BCM 제어방식
Fig. 1 BCM control method

3. 회로 해석

본 논문에서 제안한 브리지리스 정류회로는 그림 2와 같이 단상 전압원, 2개의 인덕터, 2개의 전력용 반도체소자, 2개의 다이오드, 직류링크 커패시터로 구성되어 있으며 Adapter용으로 사용하기 위해 인덕터를 두 개로 나누었다. 같은 인덕턴스 값이라도 한 개의 인덕터를 사용하는 것보다 크기가 절반인 인덕터 두 개를 사용하면 크기를 줄이고 높이도 낮출 수 있다. 모드별 스위칭 소자 및 다이오드의 동작 상태는 표 1과 같다.

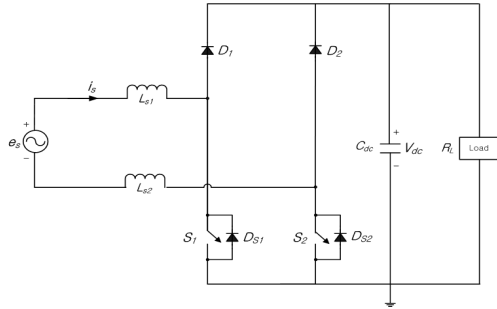


그림 2 브리지리스 정류회로
Fig. 2 Bridgeless Rectifier circuit

표 1 모드별 스위칭 소자 및 다이오드 동작 상태
Table 1 Operation state of switches and diodes in each mode

소자 \ 모드	전원전압이 (+)일 때		전원전압이 (-)일 때	
	모드 A-1	모드 A-2	모드 B-1	모드 B-2
S ₁	ON	OFF	OFF	OFF
S ₂	OFF	OFF	ON	OFF
D _{S1}	OFF	OFF	ON	ON
D _{S2}	ON	ON	OFF	OFF
D ₁	OFF	ON	OFF	OFF
D ₂	OFF	OFF	OFF	ON

브리지리스 정류회로는 총 4개의 모드로 동작하며, 전원전압이 양의 값을 가질 때는 모드 A-1과 A-2가 반복적으로 동작하고, 음의 값을 가질 때는 모드 B-1과 B-2의 동작을 반복한다. 각 구간별 동작은 다음과 같다.

① 모드 A-1

모드 A-1에서 턴온되는 스위칭 소자는 S₁이고 전류의 경로는 그림 3(a)와 같다. 이때 BCM으로 제어하므로 S₁은 턴온시 인덕터 전류의 값이 0이므로 ZCS동작을 한다. S₁이 턴온되면 인덕터에 흐르는 전류 i_s 가 증가하여 인덕터에 에너지를 저장한다. 커패시터 C_{dc}는 선행 모드에서 V_{dc}로 충전되어 있으므로 부하에 에너지를 공급한다.

모드 A-1에서의 회로 방정식은 식 (1)과 같다.

$$e_s - L_s \frac{di_s}{dt} = 0 \quad (1)$$

여기서 $L_s = L_{s1} + L_{s2}$ 이다. 예를 들면 그림 1에서

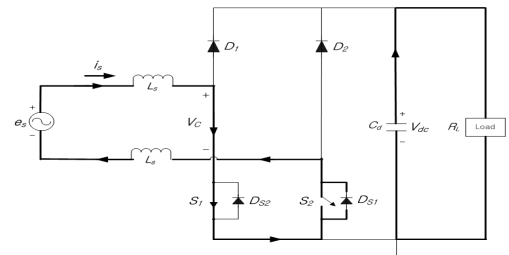
$t = t_1$ 일 때 모드 A-1이 시작된다. $e_s = V_m \sin \omega t$ 라 하면 $i_s(t_1) = 0$ 이므로

$$i_s = \frac{V_m}{\omega L_s} (\cos \omega t_1 - \cos \omega t)$$

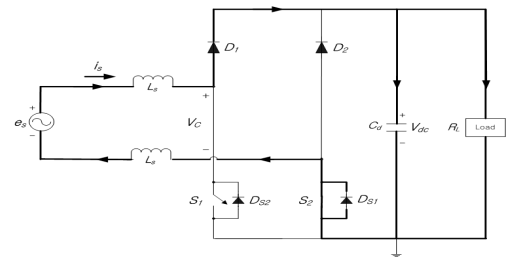
가 된다.

② 모드 A-2

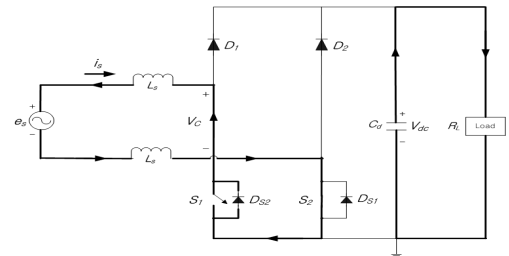
인덕터에 흐르는 전류가 전원과 위상이 같은 전류 기준파형의 값과 같아지면 스위칭 소자 S₁이 턴오프되면서 모드 A-2가 시작된다. 모드 A-2에서는 스위칭 소자 S₂의 내부다이오드 D_{S2}와 다이오드 D₁을 통해 선행모드에서 인덕터에 저장된 에



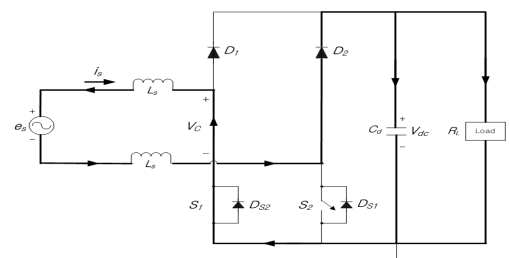
(a) 모드 A-1



(b) 모드 A-2



(c) 모드 B-1



(d) 모드 B-2

그림 3 모드별 동작
Fig. 3 Operation in each mode

너지와 전원전압 에너지의 합이 부하와 커패시터에 공급되어 직류측 전압을 승압시킬 수 있다. 이때 전류의 경로는 그림 3(b)와 같고 회로 방정식은 식 (2)와 같다.

$$e_s - L_s \frac{di_s}{dt} - V_{dc} = 0 \quad (2)$$

예를 들면 그림 1에서 $t = t_2$ 일 때 모드 A-2가 시작되며 전류의 기준파형이 $i_s^* = KV_m \sin \omega t$ 라 하면

$$i_s = \frac{V_m}{\omega L_s} (\cos \omega t_2 - \cos \omega t) - \frac{V_{dc}}{\omega L_s} (t - t_2) + KV_m \sin \omega t_2$$

이다.

③ 모드 B-1

모드 B-1은 모드 A-1과 같은 동작원리로 동작하고 전류의 경로는 그림 3(c)와 같다. 모드 B-1에서도 모드 A-1과 마찬가지로 인덕터에 에너지를 저장하고 이때의 회로 방정식은 식 (1)과 동일하다.

④ 모드 B-2

모드 B-2는 모드 A-2와 같은 동작원리로 동작하며 전류의 경로는 그림 3(d)와 같다. 회로 방정식은 식 (3)과 같다.

$$e_s - L_s \frac{di_L}{dt} + V_{dc} = 0 \quad (3)$$

4. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 BCM방식으로 동작하는 Adapter용 브리지리스 정류 회로의 유용성을 확인하기 위하여 PSpice를 사용하여 시뮬레이션하였다. 표 2는 시뮬레이션 파라미터 값이다.

표 2 시뮬레이션 파라미터
Table 2 Simulation parameter

	파라미터		파라미터
L	200uH	C	500uF
입력전압	AC 220V	전압지령치	DC 400V

그림 4는 인덕터에 흐르는 전류 파형으로서 BCM방식으로 동작하며 스위칭 소자들이 턴온시 ZCS로 동작하는 것을 알 수

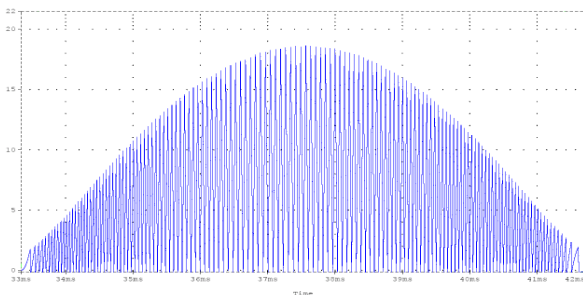


그림 4 교류 입력전류
Fig. 4 AC input current

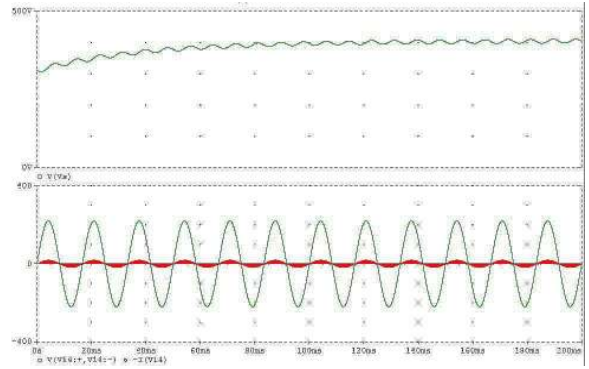


그림 5 출력전압과 입력 전압 및 전류
Fig. 5 Waveforms of output voltage and input voltage/current

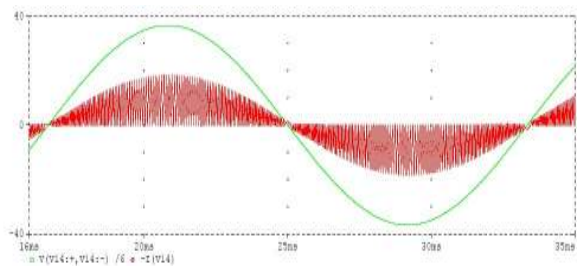


그림 6 입력전압 및 전류
Fig. 6 Input voltage and current

있다. 그림 5는 출력전압과 입력전압 및 입력전류 파형으로서 모드 A-1과 모드 B-1에서 부스트 동작을 하여 일반적인 정류기 보다 출력전압을 높게 제어할 수 있음을 알 수 있다. 그림 6은 입력전압과 입력전류를 확대한 파형으로 전압과 전류가 동상으로 제어가 되어 역률이 거의 1임을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 BCM방식으로 제어하는 Adapter용 브리지리스 정류회로를 제안하였다. Adapter용 정류회로는 공간상의 제약이 존재하여 그 중 가장 큰 공간을 차지하는 인덕터를 줄이기 위해 인덕터를 두 개로 나누었다. 공간을 줄이고 효율을 높이기 위해 BCM 제어방식을 사용하였으며 BCM 제어방식을 사용한 브리지리스 정류회로를 해석하여 턴온시에 ZCS로 동작하는 것을 확인하고 이로 인해 효율을 높일 수 있다는 결론을 내렸다. 끝으로 시뮬레이션 결과를 통하여 전원 전압과 전류가 동위상으로 제어됨을 확인함으로써 역률이 개선된 것을 확인하였다.

참고 문헌

[1] 유병규, 이성세, 한상규, 문건우, "역률개선을 위해 경계전류모드로 동작하는 브리지리스 부스트 컨버터", 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp. 90-94, 2003. 11
[2] P. N. Enjeti, and R. Martinez, "A High Performance Single-phase AC to DC Rectifier with Input Power Factor Correction", Proceedings of APEC, pp. 190-196, 1993.