

LLC DC-DC 컨버터의 풀 브릿지 및 하프 브릿지 하이브리드 운전을 통한 효율 향상

정용민, 유승희, 김동희, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Hybrid Operation Algorithm of LLC DC-DC Converters for Efficiency Improvement

Yong Min Jeong, Seung Hee Ryu, Dong Hee Kim, and Byoung Kuk Lee*
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 고효율 LLC 컨버터 구동을 위해 단일 트랜스포머를 이용한 풀 브릿지 및 하프 브릿지 DC DC 컨버터 하이브리드 제어 방법을 제안한다. 제안한 방법은 입력 전압 및 부하 변동에 대해서도 스위칭 주파수 변동폭을 최소화하여 스위칭 손실을 저감하여 효율을 극대화한다. 출력 13 [V]/500 [W] LLC 컨버터의 이론적 분석을 바탕으로 최적 운전점을 도출하고 시뮬레이션을 통해 검증하고자 한다.

(n)가 일정한 경우, 입력전압 (V_{in})과 스위칭 주파수 (f_{sw})는 비례하므로 V_{in} 이 클수록 스위칭 손실은 증가한다. V_{in} 에 따른 f_{sw} 및 스위칭 손실의 증가는 그림 2와 3을 통해 확인할 수 있다.

$$M = \frac{n V_o}{V_{in}} = \frac{1}{2 \sqrt{\left(1 + \lambda - \frac{\lambda}{f_n^2}\right)^2 + Q^2 \left(f_n - \frac{1}{f_n}\right)^2}} \quad (1)$$

$$f_n = \frac{f_{sw}}{f_{r1}}, \quad \lambda = \frac{L_r}{L_m}, \quad Q: \text{Quality-factor}$$

1. 서론

최근에 높은 전력 밀도 및 고효율을 요구하는 전기 자동차용 충전기 및 신재생 에너지 전력변환장치용으로 LLC 컨버터가 많이 사용된다. 해당 분야에서는 브릿지 회로를 통해 시스템을 구성하는데, 풀 브릿지를 사용하는 경우에는 입력전압이 커지고 경부하가 될수록 공진 네트워크에 걸리는 전압이 하프 브릿지 대비 2배로 걸리게 되어 스위칭 주파수가 높아져 스위칭 손실이 증가된다. 반면, 하프 브릿지를 사용하는 경우에는 전부하가 될수록 회로에 흐르는 전류가 풀 브릿지 회로에 비해 증가하여 큰 도통손실을 야기한다. 이와 같이 단일 브릿지로 구성된 LLC 컨버터는 전 영역에서 높은 수준의 변환 효율을 내지 못하는 단점을 가지고 있어 입출력 전압의 변동폭이 큰 분야에서는 새로운 LLC 컨버터의 운전 방식이 고려된다.

따라서 본 논문에서는 풀 브릿지와 하프 브릿지 운전을 결합한 LLC 컨버터의 하이브리드 운전을 제시하며 이론적 해석 및 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 제안하는 하이브리드 운전 알고리즘

2.1. 시스템 구성 및 해석

본 논문에서 제시하는 하이브리드 운전을 위한 500 [W] LLC 컨버터의 구성은 그림 1과 같고, 시스템 파라미터는 FHA (Fundamental Harmonic Approximation)를 이용하여 설계하였다^[1]. 시스템 파라미터의 사양은 표 1과 같다.

풀 브릿지의 전압이득 (M)은 식 (1)과 같고, 하프 브릿지에 비해 낮은 M이 요구된다. 따라서 출력전압 범위가 넓은 시스템에 적합하므로 하이브리드 제어를 위한 LLC 컨버터는 풀 브릿지 회로로 설계하였다. 식 (1)에서 출력전압 (V_o)과 권선 비

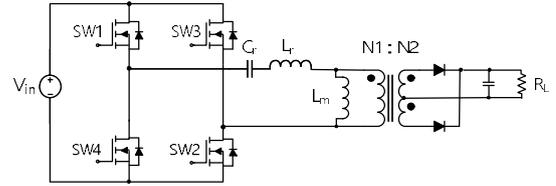


그림 1. 500 [W] LLC 컨버터 회로도.
Fig. 1. Circuit diagram of LLC converter.

표 1 LLC 컨버터 시스템의 파라미터
Table 1 System parameters of LLC converter

Parameter	Value	Parameter	Value
P_o	500 [W]	L_r	154.5 [μ H]
V_{in}	220 430 [V]	C_r	16.3 [nF]
V_{out}	13 [V]	$N_T (N_1/N_2)$	22
R_L	0.34 1.69 [Ω]		

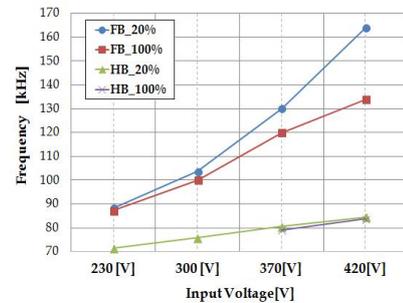


그림 2. 풀 브릿지와 하프 브릿지의 스위칭 주파수 변화.
Fig. 2. Switching frequency variation of full-bridge and half-bridge.

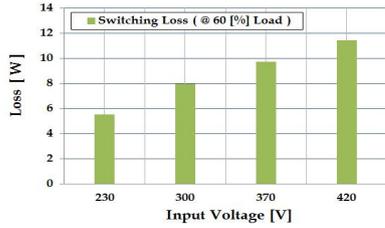


그림 3. 풀 브릿지의 입력전압에 따른 스위칭 손실.
Fig. 3. Switching loss of full-bridge according to input voltage.

2.2. 하이브리드 운전점 도출

높은 주파수로 인한 스위칭 손실의 증가는 공진 네트워크에 인가되는 전압을 낮춤으로써 줄일 수 있다. 따라서 하프 브릿지 회로는 풀 브릿지 회로에 비해 절반의 입력 전압을 가지므로 풀 브릿지 회로를 하프 브릿지로 하드웨어 동작을 변경시킨다. 그림 4는 V_{in} 이 300 [V]이고 Q factor가 0.6인 경우의 출력전압 곡선이며, 하프 브릿지는 풀 브릿지보다 높은 M이 요구되므로 낮은 출력전압을 보이지만 f_{sw} 는 작다.

하이브리드 제어시 스위치의 동작은 표 2와 같고 PWM A와 PWM B는 스위치에 인가되는 게이트 신호를 의미한다.

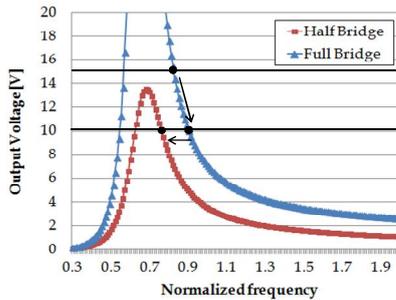


그림 4. 풀 브릿지와 하프 브릿지의 출력전압 곡선.
Fig. 4. Output voltage curves of full-bridge and half-bridge.

표 2 하이브리드 제어시 스위치 동작

Table 2 Switching operation in hybrid control

	SW 1	SW 2	SW 3	SW 4
Full Bridge	PWM A	PWM A	PWM B	PWM B
Half Bridge	PWM A	On	Off	PWM B

하이브리드 제어의 운전점은 손실 계산을 통해 도출하는데, 전체 손실은 1차측의 MOSFET 스위칭 손실, 도통손실 및 역병렬 다이오드 손실과 2차측 다이오드 도통손실 및 변압기 손실의 합으로 구할 수 있다. 풀 브릿지와 하프 브릿지 회로의 손실을 고려하여, V_{in} 에 따른 부하별 효율 곡선을 그리면 풀 브릿지와 하프 브릿지의 효율이 교차하는 지점이 도출되는데, 이 지점을 하이브리드 운전점으로 본다. 그림 5는 V_{in} 이 300 [V]인 경우 손실을 고려한 효율 곡선이다.

또한 그림 5는 V_{in} 에 따른 운전점도 나타내고 있는데, 운전점을 기준으로 전부하 영역에서는 풀 브릿지 회로로 동작하고, 경부하 영역으로 갈수록 하프 브릿지 회로로 동작하도록 제어한다.

하이브리드 운전점은 V_{in} 이 300 [V] 이하의 경우에는 약 60 [%] 부하, 370 [V]가 넘으면 약 90 [%] 부하에서 나타나지만 약 400 [V]가 넘으면 전 영역에서 하프 브릿지 효율이 풀 브릿지에 비해 높아 하프 브릿지만으로 동작시킨다.

2.3. 시뮬레이션 결과

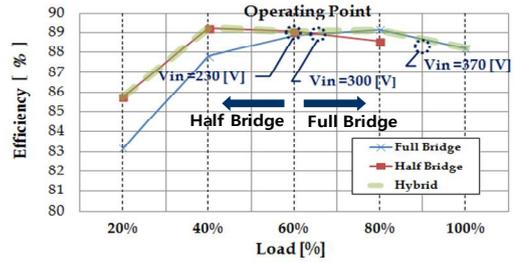
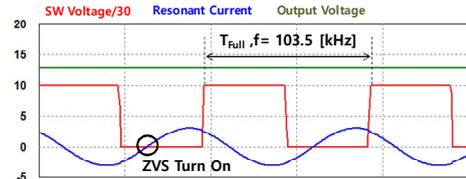
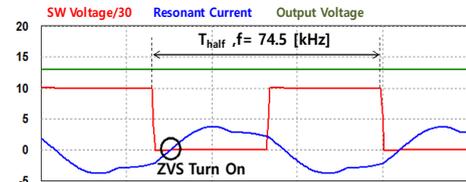


그림 5. 하이브리드 제어를 통한 효율 곡선.
Fig. 5. Efficiency comparison according to hybrid control.



(a) Full-bridge



(b) Half-bridge

그림 6. 시뮬레이션 결과.

Fig. 6. Simulation waveforms.

선정된 파라미터 값을 적용하여 입력 300 [V]/부하 60 [%] 일 때, PSIM 시뮬레이션을 수행하였다. 출력전압은 13 [V]로 일정하게 유지되며, 스위칭 주파수는 풀 브릿지의 경우에는 103.5 [kHz], 하프 브릿지의 경우에는 74.5 [kHz]가 나오는 것을 확인하였다. 이에 따른 스위칭 손실은 풀 브릿지의 경우 7.94 [W], 하프 브릿지의 경우 2.38 [W]로 나타나며, 스위칭 주파수는 약 30 [%], 손실은 약 70[%] 정도 낮게 운전할 수 있다.

3. 결론

본 논문은 LLC 컨버터에서 하프 브릿지와 풀 브릿지의 혼용제어인 하이브리드 운전을 제안하였다. 하이브리드 운전을 통한 효율은 풀 브릿지만으로 운전하는 경우보다 최대 약 3 [%] 향상되고, 전 부하 영역에서 더 나은 효율로 운전한다. PSIM 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였으며, 향후 Prototype 제작 및 실험을 수행할 계획이다.

본 연구는 2010년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20124010203300)입니다.

참고 문헌

[1] STMicroelectronics, "LLC resonant half bridge converter design guideline," AN2450 Application Note, 2007, Oct..
[2] Dusan Graovac, Marco Purschel, Andreas Kiep, "MOSFET Power Losses Calculation Using the Data Sheet Parameters," Infineon Application Note, V 1.1, 2006, July.