

# DAB 컨버터의 경부하 효율 개선을 위한 새로운 간헐 스위칭 기법 연구

박정수<sup>1,2</sup>, 쯙찬면<sup>1</sup>, 임태영<sup>1</sup> 최성진<sup>1</sup>  
울산대학교 대학원 전기전자컴퓨터공학과<sup>1</sup>, (주)엔사이트<sup>2</sup>

## Novel Burst-mode Control for Enhanced Light-load Efficiency of DAB Converters

Jeong-Soo Park<sup>1,2</sup>, Chanh-Tin Truong<sup>1</sup>, Tae-Yeong Im<sup>1</sup>, and Sung-Jin Choi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical, Electronic, and Computer Engineering, University of Ulsan, South Korea,

<sup>2</sup>Ensignt. Co., Ltd, Ulsan, South Korea

### ABSTRACT

DAB 컨버터는 입/출력 전압비가 1:1 인 경우에 높은 효율을 가진다. 그러나 경부하 운전 시 하드-스위칭과 높은 무효 전류로 인해 높은 손실이 발생하여 전력 효율이 급격히 저하된다.

본 논문에서는 DAB 컨버터의 입력 전압과 출력 전압을 통해 무효 전류가 최소가 되는 1 차 측과 2 차 측 전압의 위상차를 결정하고, 이를 기반으로 간헐적 스위칭 기법의 듀티 조절을 통해 전력을 조절하는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 경부하 운전 시 발생하는 높은 무효 전류와 ZVS 실패 문제를 동시에 해결한다. 이는 경부하시에 간헐적 스위칭 기법을 사용할 때 항상 무효 전류가 최소가 되는 지점에서 스위칭하여 효율을 높이는 방법이다. 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증한 결과, 제안된 기법은 별도의 경부하 제어를 하지 않은 단일 위상 천이 변조 (Single Phase Shift Modulation, SPSM) 제어 방식에 비해 경부하 구간에서 높은 효율을 나타냈으며, 매우 낮은 경부하일 땐 최대 30%의 효율이 향상됨을 보였다.

### 1. 서론

DAB(Dual-Active-Bridge) 컨버터는 양방향성, 1차측, 2차측간의 절연, 넓은 전압 범위 작동 및 높은 효율성으로 다양한 용도에 사용된다. 그러나 DAB 컨버터는 입/출력 전압 비가 1:1 에서 멀어지거나 경부하 운전시 하드-스위칭과 높은 무효 전류로 인해 높은 손실이 발생하여 전력 효율이 급격히 저하되는 단점이 있다. 따라서 넓은 출력 전압 범위를 요구하는 어플리케이션이나 잦은 부하 변동이 존재하는 어플리케이션에서는 경부하 효율을 증가시키는 과제가 중요시 된다.

기존에는 간헐적 스위칭 기법을 통해 컨버터 내부의 RMS 전류를 줄여 자성 소자 및 스위치의 도통 손실, 스위칭 손실을 줄이고 ZVS 범위를 늘려 경부하에서의 효율을 향상시키는 방법이 제시되었다.<sup>[1]</sup> 하지만 무효 전류 부분에 대해서는 고려되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 무효 전류가 최소가 되고 ZVS 도 만족하는 경부하 제어용 간헐적 스위칭 기법을 제안한다.

### 2. 제안하는 간헐적 스위칭 기법

그림 1은 DAB 컨버터의 회로도를 나타내며, 그림 2는 DAB 컨버터의 경부하시 간헐적 스위칭 파형이다. 통상적으로 DAB 컨버터의

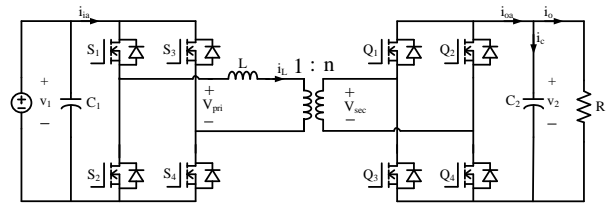


그림 1. 단상 DAB 컨버터 회로도

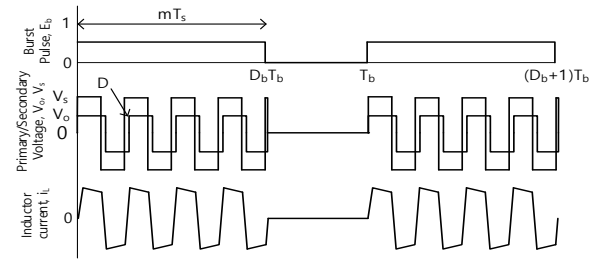


그림 2. 간헐적 스위칭 기법에서의 주요 동작 파형

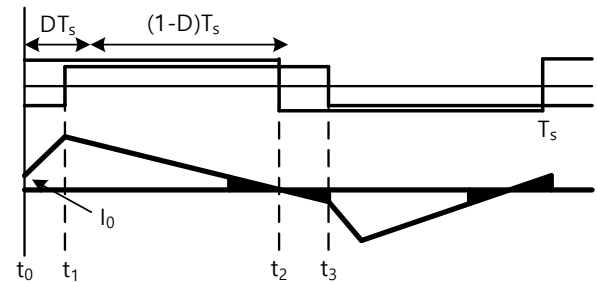


그림 3. 한 주기 Ts내에서의 인덕터 전류

$$m = \frac{D_b T_b}{T_s} \quad (1.1)$$

$$P_b = \frac{V_o V_s D (1-D) D_b T_s}{2nL} \quad (1.2)$$

간헐적 스위칭 기법은 간헐적 스위칭 주기  $T_b$  동안 식(1.1)에 의해 정해지는  $m$ 의 개수 만큼 스위칭을 하여 전력 전달을 하는 방법을 뜻한다. 이때 전력 전달 공식을 식으로 나타내면 식(1.2)과 같다. 여기서  $V_s$ ,  $V_o$ 는 입력 전압, 출력 전압,  $D$ 는 SPSM 방식의 듀티,  $D_b$ 는 간헐적 스위칭 기법의 듀티,  $n$ 는 1차,2차측간의 전압비,  $L$ 은

직렬 인덕턴스,  $T_s$  는 스위칭 주기,  $T_b$  는 간헐적 스위칭 기법의 주기를 뜻한다.

본 논문에서 제안하는 간헐적 스위칭 기법은 입력 전압과 출력 전압을 통해 무효전류가 최소가 되는 최적의  $D$  를 선택하고, 이를 기반으로 간헐적 스위칭 기법의 듀티  $D_b$  조절을 통해 경부하 구간에서 전력 전달 제어를 하는 것이다.

그림 3 은 경부하 구간에서의 인덕터 전류 파형을 나타낸다. 이때 인덕터 전류의 초깃값  $I_0$  와 무효 전력  $Q$  은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_0 = \frac{nT_s}{4L} ((1-2D)V_o - nV_s) \quad (1.3)$$

$$Q = \frac{nV_s}{T_s/2} \int_{t_1}^{t_2} i(t)dt \quad (1.4)$$

식(1.3)과 식(1.4)를 통해 무효전력 식을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$Q = nV_s \frac{((1-2D)V_o - nV_s)^2 T_s}{16L} \times \begin{cases} \frac{1}{nV_s + V_o}, & I_0 < 0 \\ 0, & I_0 = 0 \\ \frac{1}{nV_s - V_o}, & I_0 > 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

식(1.5)에서 이론적으로  $D$  의 값에 따라 무효 전력  $Q$  가 0 이 되는 지점이 존재하게 된다. 이를 통해 최소 무효 전류가 흐르는 지점에서의 최적의  $D$  는 다음과 같이 정의 된다.

$$D_{op} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{V_o}{nV_s}\right) \quad nV_s > V_o \quad (1.6)$$

따라서 최종적으로 얻어지는 제안하는 간헐적 스위칭 기법의 전력전달 공식은 다음과 같다.

$$P_b = \frac{V V D_{op} (1 - D_{op}) D_b T_s}{2nL} \quad (1.7)$$

다음 그림 3 은 제안하는 경부하 제어 기법의 제어 순서도를 나타낸 것이다.

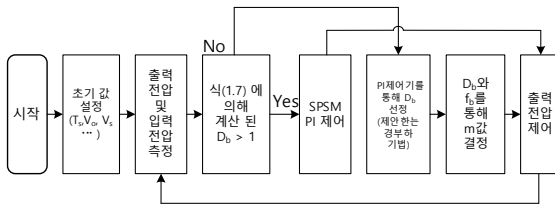


그림 3. 제어 순서도

표 1 실험에 사용된 주요 회로 상수

심볼	회로 상수	값
$V_s$	입력 전압	400V
$V_o$	출력 전압	140V
$R_{load}$	부하 저항	15Ω ~ 80Ω
$f_s$	스위칭 주파수	50kHz
$n$	변압기 권선비(1:n)	0.5
$L$	직렬 인덕턴스	50μH

### 3. 실험 검증

그림 4 는 제안하는 간헐적 스위칭 기법의 변압기 1 차측, 2 차측 전압과 인덕터 전류의 실험 파형을 나타낸 것이다. 그림 3 의 인덕터 전류를 보면 ZVS 가 달성됨을 볼 수 있다.

그림 5 는 제안하는 경부하 제어 기법과 경부하기법을 사용하지 않은 SPSM 방식의 효율을 경부하 구간에서 그래프로 나타낸

것이다. 해당 컨버터의 최대 전력 전달 지점은 4kW 이고, 그에 25% 부하에 해당하는 경부하 구간에서 제안하는 기법이 SPSM 방식보다 효율이 향상됨을 보였으며, 최대 30%의 효율 향상을 보였다.

따라서 본 논문에서는 무효전류를 최소화하는 최적의  $D_{op}$  를 선정하여, 항상 최소 무효 전류가 되는 지점에서  $D_b$  를 제어 변수로 사용하는 간헐적 스위칭을 통해 컨버터 내부의 RMS 전류를 줄여 자성 소자와 스위치의 도통 손실 및 스위칭 손실을 줄여 효율을 향상시킬 수 있음을 실험적으로 검증하였다.

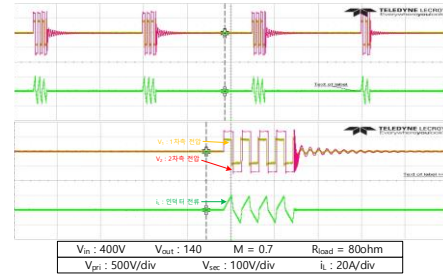


그림 4. 제안하는 간헐적 스위칭 기법의 및 측정 조건

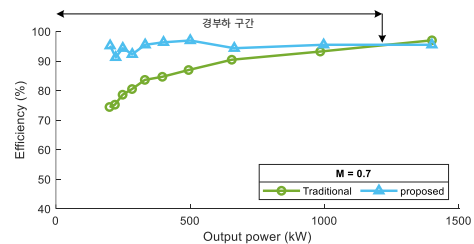


그림 5. 제안하는 간헐적 스위칭 기법의 출력 전압에 따른 효율

## 4. 결론

제안된 기법은 DAB 컨버터의 입력 전압과 출력 전압을 통해 무효 전류가 최소가 되는 1 차 측과 2 차 측 전압의 위상차를 결정하고, 이를 기반으로 간헐적 스위칭 기법의 듀티 조절을 통해 전력을 조절하는 방식이다.

시뮬레이션 및 실험을 통해 검증한 결과, 제안된 기법은 기존의 SPSM 제어 방식에 비해 경부하 구간에서 높은 효율을 나타냈으며, 매우 낮은 경부하일 땐 최대 30%의 효율이 향상됨을 보였다.

본 연구는 중소벤처기업부의 “기술개발프로그램, (R&D, S3327193)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

## 참고 문헌

- [1] V. M. Iyer, S. Guler and S. Bhattacharya, "Hybrid control strategy to extend the ZVS range of a dual active bridge converter," 2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Tampa, FL, USA, 2017, pp. 2035-2042.
- [2] H. Bai and C. Mi, "Eliminate Reactive Power and Increase System Efficiency of Isolated Bidirectional Dual-Active-Bridge DC-DC Converters Using Novel Dual-Phase-Shift Control," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, no. 6, pp. 2905-2914, Nov. 2008.