

# 출력 Inductor를 없앤 Parallel-Series 2 Transformer Half Bridge Converter

이승운, 이제현, 김두호, 조보형, 김우섭\*, 이재호\*, 양천석\*  
 서울대학교 전기컴퓨터공학부, LS산전 자동차 전장 사업부\*

## Analysis of Parallel-Series 2 Transformer Half Bridge Converter without Output Inductor

S. W. Lee, J. H. Lee, B. H. Cho, W. S. Kim\*, J. H. Lee\*, and C. S. Yang\*  
 School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University  
 LS Industrial Systems Co., LTD, Korea\*

### ABSTRACT

최근 전기 자동차가 현실화 되면서 자동차 내부의 Li Ion 배터리와 전장 부품들 및 납축전지 간의 에너지를 변환하는 회로에 대한 요구가 커지고 있다. 이 회로는 높은 전압을 갖는 Li Ion 배터리와 낮은 구동 전압을 갖는 다른 전장 부품들로 인해 출력 단이 대 전류를 취한다는 특징을 갖고 있는데 이로 인하여 출력 단의 도통 손실을 줄이기 위한 연구들이 계속되고 있다. 본 논문은 기존의 2 Transformer 형식의 브릿지 컨버터를 Parallel Series로 연결시킨 회로를 제안하고 이 회로의 동작을 분석하였다. 제안한 회로는 2차 측에 인덕터가 존재하지 않는 Current Fed방식으로 구동되며, 이를 통해 도통 손실을 감소 시켰으며, 2차 측을 Series 형태로 쌓아 배터리 연계 시스템에서 문제가 되었던 Wide Range 입, 출력 시스템에서의 동작 문제를 해결하였다.

### 1. 서 론

최근 Li Ion배터리의 고용량화가 진행되면서 전기 자동차의 현실화가 이루어지고 있는 가운데 전기 자동차의 메인 에너지원이 되는 Li Ion배터리와 기존의 전장 부품 및 납축 전지 간의 에너지를 변환하는 LDC의 연구가 중요해지고 있다. 이 LDC는 입 출력이 모두 배터리이기에 넓은 입 출력 범위의 변동에 대응이 가능해야 하며, 3kW라는 큰 용량 대비 출력 전압이 낮고 출력 전류가 200A까지 커진다는 특징이 존재하여 최적의 Topology를 선정하는데 있어 문제점이 발생하고 있다.

기존에 고용량 컨버터로서 가장 많이 사용되고 있는 회로는 Phase Shifted Full Bridge 컨버터로서 이는 기존의 Full Bridge 컨버터와 동일한 구조에 ZVT가 가능한 장점을 지니고 효율화, 고 전력 밀도화 등의 특징을 갖고 있지만 ZVT 가능 범위와 Duty Cycle Loss간의 Trade off가 존재하여<sup>[1]</sup> 넓은 입 출력 범위와 다양한 부하에서 고 효율을 얻을 필요가 있는 LDC회로에서는 사용에 제약 사항이 존재한다. 또한 대 전류 출력 형태에서 출력 인덕터에 존재하는 저항 손실로 인한 효율 감소가 크게 나타나면서 새로운 회로에 대한 연구를 필요로 한다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 Two Transformer구조의 Half Bridge컨버터를 Paralle Series로 구성하여 넓은 범위에서 ZVT가 가능하며 출력 인덕터를 없애 도통 손실을 감소 시킬 수 있는 회로를 제안한다.

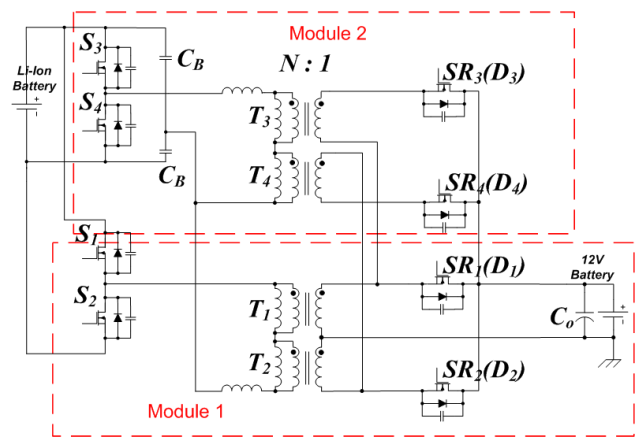


그림 1 제안한 2 Transformer Half-Bridge 회로  
 Fig. 1 Proposed 2 Transformer Half-Bridge Topology

### 2. 회로의 구성과 분석

#### 2.1 회로 구성

본 논문에서 제안하는 회로는 그림 1과 같다. 1차 측은 2 개의 Half Bridge 컨버터를 병렬로 연결한 것과 같은 형이며 변압기는 Two Transformer의 형태를 취한다. 이와 같은 Two Transformer 형태는 출력 인덕터를 없애면서도 1차 측의 스위치 구동에 따라 2차측 전류를 CCM으로 가져갈 수 있다는 점에서 대 전류 형태에서의 RMS전류를 줄여 도통 손실을 줄이는 장점을 얻을 수 있다.<sup>[2]</sup>

제안한 회로의 2차단은 변압기를 Series형태로 구성하여 최대 전압 이득을 증가 시켜 Wide Range에서의 구동이 용이하며 변압기의 자화 인덕턴스로 인해 ZVT 동작을 하여 부하 범위에 상관 없이 Soft switching효과를 얻을 수 있다는 장점이 존재한다.

#### 2.2 동작 모드 분석

제안한 회로의 동작 파형은 그림 2와 같다. 제안한 회로는 Phase Shifted Full Bridge와 같은 형태의 방식으로 구동하며, 이 때 S1과 S3 또는 S2와 S4간의 Effective Duty에 의해 전압 이득이 결정된다. 제안한 회로는 8개의 동작 모드를 갖고 있으며 모드 1~4와 모드 5~8은 서로 대칭적인 동작을 갖고 있으므로 본 논문에서는 모드 1~4에 대한 동작 분석만을 다루겠다.

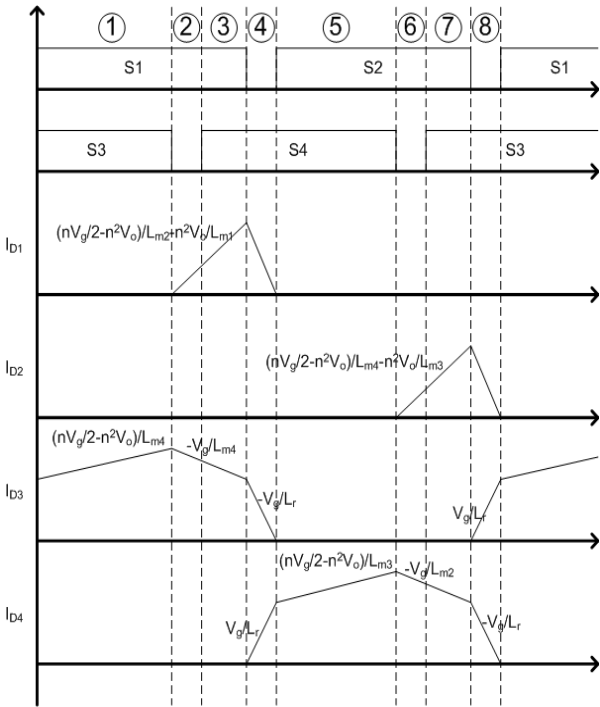


그림 2 PWM 동작 파형 및 출력 다이오드의 전류 파형  
Fig. 2 PWM and Current Waveforms of  $D_1 \sim D_4$

Mode 1은  $S_1$ 과  $S_3$ 가 동시에 Turn on되는 구간으로  $SR_3$ 를 통해 에너지가 2차단으로 넘어가는 구간이다. 이 때  $T_1$ 과  $T_3$ 의 양 단에는  $nV_o$ 의 전압이 인가되며, 이에 따라  $T_2$ 와  $T_4$ 의 양 단에  $(V_g/2) nV_o$ 의 전압이 인가되고, 이 때  $T_2$ 와  $T_4$ 의 자화 인덕턴스가 인덕터로서 기능하며 2차단에 Current Fed 방식으로 전류를 전달해 주게 된다.

Mode 2는  $S_3$ 가 Turn off된 시점에서의 동작 구간이다. 이 때  $S_3$ 는 Turn off가 되어 변압기 양 단에 걸리는 전압의 합이 0이 되지만  $S_1$ 은 Turn on이 되어 있어  $T_2$ 의 자화 인덕턴스가 여전히 2차단으로 전류를 넘겨 주는데 이로 인해  $T_4$ 의 자화 인덕터에 흐르는 전류의 양보다  $T_2$ 의 자화 인덕터에 흐르는 전류의 양이 많아 지면서  $SR_1$ 이 도통되며 이로 인해  $SR_1$ 과  $SR_3$ 가 동시에 도통되는 구간이 발생한다. 또한 이 때  $T_4$ 의 자화 인덕터의 전류로 인해  $S_4$ 의 Body Diode가 도통되면서 ZVS 동작을 얻을 수 있다.

Mode 3는 Dead time이 지나  $S_4$ 가 Turn on되기 시작하는 동작 구간이며 이 때 회로의 동작은 Mode2와 동일하다.

Mode 4는  $S_1$ 이 Turn off된 이후 발생하는 동작 구간으로 이 때  $SR_3$ 와  $SR_4$ 가 동시에 Turn on되어 Module 2의 Commutation 동작이 진행되며, 이로 인해  $T_3$ 와  $T_4$ 의 양단 전압은 0이 되고 Module2의 기생 인덕터에 입력 전압이 그대로 인가 되면서  $SR_3$ 와  $SR_4$ 간의 전류가 반전된다. 또한  $T_2$ 의 자화 인덕턴스의 전류로 인해  $S_2$ 의 Body Diode가 도통되면서 ZVS 동작이 진행되며 이 때  $T_2$  양단에는  $(V_g/2) nV_o$ 의 전압이 인가되면서  $T_2$ 의 자화 인덕턴스를 reset시켜  $T_2$ 와  $T_1$ 간의 자화 인덕턴스에 흐르는 전류 차이와  $T_4$ 와  $T_3$ 간의 자화 인덕턴스에 흐르는 전류 차이를 동일하게 만들어 준다. 이 동작은 Dead time이 끝나지 않았더라도  $T_2$ ,  $T_1$ 간의 자화 인덕턴스에 흐르는 전류 차이와  $T_4$ ,  $T_3$ 간의 자화 인덕턴스에 흐르는 전류의 차이가 같아지게 되면 종료되며 종료 이후에는 Mode 5의 동작이

진행된다.

Mode 5부터 8까지의 동작은 Mode 1부터 4까지의 동작과 대칭적이며 이로 인한 전류 파형 역시  $SR_1$ 과  $SR_2$ ,  $SR_3$ 와  $SR_4$ 가 대칭적으로 나타나기 때문에 분석을 마치고도록 한다.

### 3. 시뮬레이션 결과

제안한 회로를 450V 입력, 5%부하인 10A 출력 부하에서 시뮬레이션을 통하여 ZVS 동작을 확인하였다.

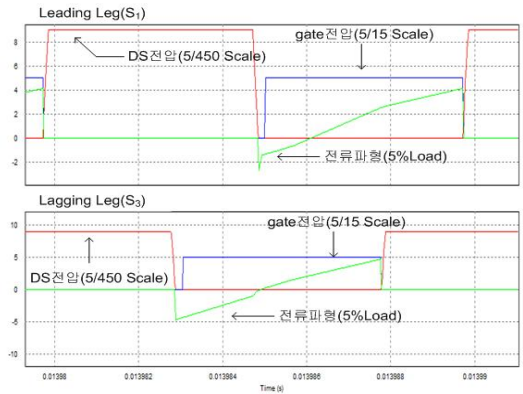


그림 3 Leading Leg와 Lagging Leg의 ZVS 동작 Simulation  
Fig. 3 Simulation Result of ZVS Operation

### 4. 결론

본 논문에서는 2 Transformer Half Bridge를 Parallel Series로 연결하여 구성하는 방법을 제안하였다. 제안한 회로는 자화 인덕턴스를 이용하여 영전압 스위칭을 함으로서 전 부하에서 스위칭 손실을 줄일 수 있으며, 출력 인덕터가 없는 2 Transformer 방식을 이용하여 대 전류 형태의 출력에서 출력 인덕턴스로 인한 도통 손실을 줄일 수 있다는 장점 역시 가지고 있다. 또한 변압기의 출력단을 Series 형태로 구성하여 넓은 입 출력 범위에 대응 가능하도록 구성하였다.

본 논문에서는 제안한 회로를 구동하기 위한 PWM 방식 역시 제안하고 이에 따른 정상 상태를 분석하였으며 또한 제안한 회로의 동작에 있어 낮은 부하에서의 ZVS를 확인해 봄으로서 본 회로의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 LS산전 자동차 사업부의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] Ionel Dan Jitaru, Nicolae Daniel Bolohan, "A High Efficiency 2kW DC DC Converter for Automotive Application", Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp. 22-27, vol. 1, 2012, Feb.
- [2] Yi Hsin Leu and Chern Lin Chen, "Analysis and Design of Two Transformer Asymmetrical Half Bridge Converter", Power Electronics Specialists Conference (PESC), pp. 943-948, vol. 2, 2002, July.