

# 넓은 입력전압범위의 고주파수 구동 Dual Mode control LLC 컨버터

주형익, 양정우, 강정일\*, 한상규†  
 국민대학교 POESLA

## High frequency Dual Mode control LLC converter with wide input voltage range

Hyung ik Joo, Jung woo Yang, Jeong il Kang\*, Sang kyoo Han†  
 Power Electronic System Laboratory, Samsung Electronics. Co. Ltd\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 universal line 입력 및 전 부하영역에서 영전압 스위칭(Zero Voltage Switching) 보장을 통한 500kHz 고 주파수 구동의 Dual Mode control LLC 컨버터를 제안한다. 제안 회로는 전 부하영역에서의 ZVS(영전압 스위칭)보장으로 고주파 구동이 가능하여 전원회로의 부피 중 상당량을 차지하는 수동소자의 부피를 대폭 저감 할 수 있다. 또한, 소용량 전원회로는 PFC(Power Factor Correction)의 규제가 없기 때문에 universal line 입력에 대응이 가능해야하므로, 제안회로는 변화하는 입력전압과 출력전류에 따라 PFM과 PWM의 두 가지 모드로 동작하여 universal line 입력 및 전 부하영역에서 정확한 출력전압 제어가 가능하다. 최종적으로 제안 회로의 타당성 검증을 위하여 60W급 adapter의 전원회로를 위한 시작품을 제작하여 고찰된 실험 결과를 제시한다.

### 1. 서론

최근 소형/슬림 전원회로의 요구사항으로는 부피 감소와 그에 따른 전력밀도 상승 및 효율 상승에 있다. 기존 AC/DC Adapter 전원회로의 부피는 대부분 수동소자가 차지하고 있으며, 이는 고주파 구동을 통해 전원회로의 소형화 및 슬림화를 이룰 수 있지만 기존 전원회로의 경우 반도체 소자의 하드 스위칭에 의해 스위칭 주파수의 증가에 따라 스위칭 손실도 이에 비례하여 증가하므로 효율저하 및 발열문제로 인해 특정 주파수 이상 동작이 어렵다. 따라서 고밀도 및 고성능을 갖는 전력변환기의 고주파수 구동을 위해서는 영전압 스위칭과 같은 소프트 스위칭이 반드시 보장 되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 상기 문제점들을 해결하기 위한 universal line 입력 및 전 부하영역에서 영전압 스위칭보장을 통해 넓은 입력전압에 대응 가능한 500kHz 고주파수 구동의 Dual Mode control LLC 컨버터를 제안한다.

### 2. 제안 Dual Mode control LLC 컨버터 회로

기존 LLC 컨버터는 그림1의 Region2에서 동작 시 상대적으로 작은 스위칭 주파수의 변동만으로 넓은 부하 변동에 대응하여 ZVS를 보장하며 출력전압을 제어 할 수 있다. 하지만 주파수 변동만으로 universal line 전 영역 Region2동작을 보장하기 어려울 뿐만 아니라 최적의 공진탱크 설계가 어려운 단점을 갖는다.

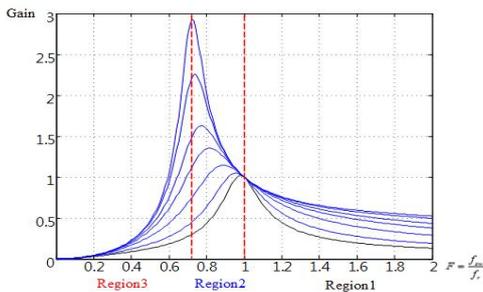


그림 1 LLC 컨버터의 Gain 곡선

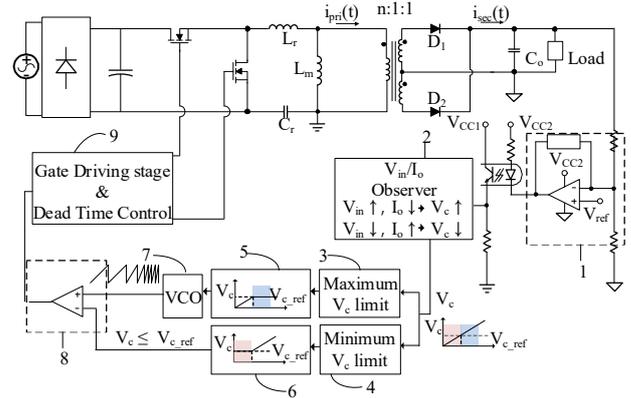


그림 2 제안 Dual Mode control LLC 컨버터

이러한 문제점으로 인해 LLC 공진형 컨버터는 입력전압 가변형 어플리케이션에는 적합하지 않다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 그림 2의 넓은 입력전압범위에서 동작 가능한 Dual Mode control LLC 컨버터를 제안한다. 제안 회로는 그림 2의 단일 제어단 제어레벨( $V_c$ )과 기준 제어레벨로 설정된  $V_{c.ref}$ 를 비교하여 PFM과 PWM 모드변환을 통한 동작으로 정확한 출력 전압을 제어한다. 이때 단일 제어단 제어레벨( $V_c$ )은 네거티브 피드백에 의해 입력전압과 출력전류의 변동에 대응하여 변화하며 이를 이용한 넓은 입력전압에 대응 가능한 새로운 제어방식을 그림2를 통해 제시하였으며, 제어 알고리즘은 그림 3과 같다. 그림 2의  $V_c$ 는 VCO(전압조정발진기)(7)와 비교기(8)의 ( )단 입력으로 각각 인가되며, 이러한 비교기(8)의 두 입력의 비교를 통해 게이트 신호를 출력한다. 이때 (3)의 최대  $V_c$ 제한으로 VCO(7)의 주파수조절을 위한  $V_c$ 는 최대  $V_{c.ref}$ 로 제한되어 최대 주파수 제한 및 주파수 고정이가 가능하며, (4)의 최소  $V_c$ 제한으로 듀티 조절을 위한  $V_c$ 는 최소  $V_{c.ref}$ 로 제한되어 최대 듀티 제한 및 듀티 고정이가 가능하다. 따라서 입력전압이 낮거나 출력부하가 큰 경우  $V_c < V_{c.ref}$  이며 (4)에 의해 최소  $V_c$ 제한으로 최대 듀티로 고정된 채 주파수 변조를 하는 PFM 동작을 통해 출력전압을 제어하며, 이는 일반적인 LLC 컨버터와 동일하게 동작한다. 반면 입력전압이 높거나 출력부하가 낮은 경우  $V_c > V_{c.ref}$  경우, (3)에 의해 최대  $V_c$ 제한으로 주파수는 최대 주파수로 고정된 채 듀티 변조를 하는 PWM동작으로 출력전압을 제어 하며 이는 기존 asymmetrical half bridge flyback 컨버터<sup>[1]</sup>의 PWM 동작을 통한 출력전압 제어 동작방식과 동일하다.

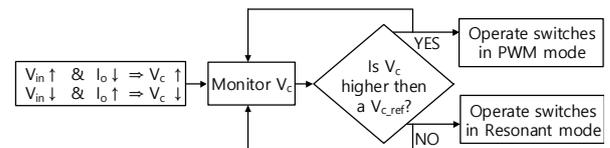


그림 3 제안 회로의 제어 알고리즘

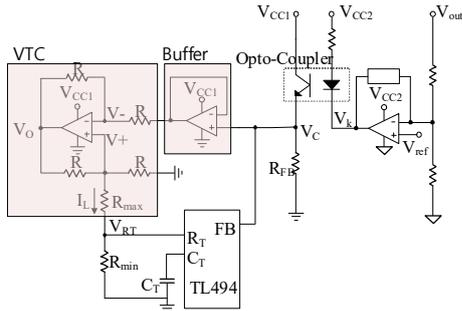


그림 4 제안 Dual Mode control LLC converter의 제어기

## 2.1 제안 Dual Mode control LLC 컨버터의 제어기 설계

제안 회로의 제어기는 그림 4와 같이 VTC(voltage to current)회로와 버퍼를 이용해 구현하였다. 그림 4의 Opto Coupler의  $R_{FB}$ 와 연결된 버퍼는 Op amp의 입력저항이 이상적으로 무한대의 값을 가지므로 VTC의 등가저항에 영향을 받지 않으며, 독립적으로  $V_k$  변화에 따라  $V_c$ 로 바꿀 수 있다. 제시된 제어단은  $V_c$  전압에 따라 3가지로 구분되어 동작한다. 첫 번째로  $V_c=0V$ 의 경우 출력전압이 제어전압에 도달하기 전까지, 최소스위칭 주파수로 동작한다. 이때 VTC는 동작하지 않으며, 최소 스위칭주파수와 주요전압은 아래 식과 같다.

$$f_{min} = \frac{1}{C_T \times R_{min}} \quad (1)$$

$$V^+ = V^- = V_{RT}(V_c = 0V), \quad V_o = 2V_{RT}(V_c = 0V) \quad (2)$$

두 번째  $0 < V_c \leq V_{c,ref}$ 의 경우 Op amp의 네거티브 피드백에 의해  $V_c$  전압이 상승함에 따라  $V^+$ 와  $V^-$  및  $V_o$  전압은 감소하며, 이에 따라 VTC로 흐르는 전류량이 증가하여 스위칭주파수는 증가한다.  $V_c$ 가 상승하여  $V_c = V_{c,ref}$ 가 되는 순간 VTC의 출력전압은 최소전압인 0V가 된다. 따라서 더 이상 감소하지 않는 VTC의 출력전압에 의해 주파수는 식(3)로 고정되며, 식(4)와의 연립을 통해  $R_{max}$ 와 R을 선정할 수 있다.

$$f_{max} = \frac{1}{C_T \times (R_{min} \parallel (R_{max} + R/2))} \text{ (fixed)} \quad (3)$$

$$\frac{V_{RT} f_{max} - V^+ / 2}{R_{max}} = \frac{V^+ / 2}{R} \times 2 \quad (\because V^+ = \frac{V_c}{2}) \quad (4)$$

마지막으로  $V_c > V_{c,ref}$ 의 경우 VTC의 출력전압은 더 이상 감소하지 못하므로 주파수가 고정된 채  $V_c$ 의 증가에 따른 PWM 동작을 통해 출력전압을 제어한다.

## 2.2 제안 Dual Mode control LLC 컨버터 트랜스포머 설계

제안 회로의 트랜스포머를 설계함에 있어 Ap(Area Product)라는 파라미터를 이용하였으며, 아래 그림 5의 (a)는 주파수에 따른 코어의 포화와 손실에 의한 각각의 필요 Ap를 나타내었다. 이를 통해 200kHz 이상의 주파수에서 필요 Ap는 코어손실에 의한 필요 Ap가 지배적인 성향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 그림 5의 (b)는 코어 손실에 의한 주파수에 따른 필요 Ap와 Steinmetz equation<sup>[2]</sup>을 이용한 주파수에 따른 코어손실을 나타내었으며, 이를 통해 최적의 주파수를 350kHz를 기준으로 최소 250kHz, 최대 450kHz로 선정하였다. 또한 이때 선정된 주파수에 따른 필요 Ap는 약 0.11로써 100kHz를 기준으로 비교하여 고주파 구동을 통해 코어 사이즈는 약 절반으로 대폭 감소할 수 있음을 확인하였다.

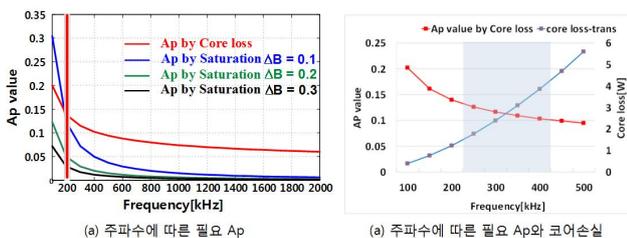


그림 5 주파수와 코어손실에 따른 필요 AP

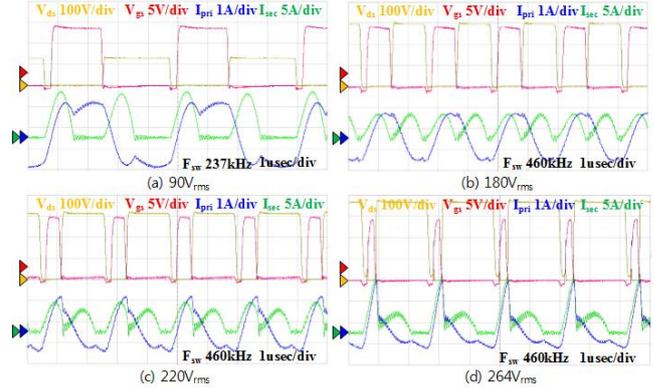


그림 6 제안 Dual Mode Control LLC 컨버터의 주요동작 파형

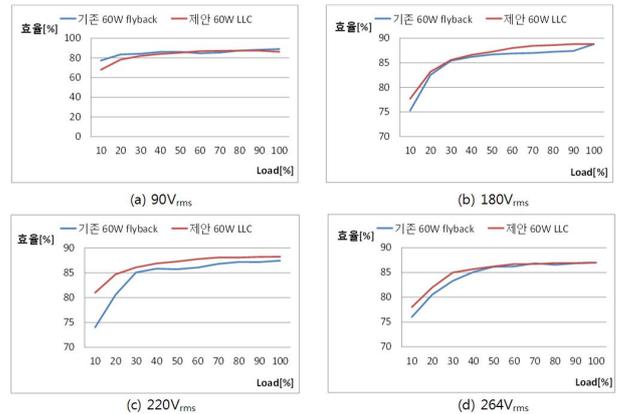


그림 7 입력전압과 부하에 따른 기존회로 대비 제안회로의 효율

## 3. 제안 Dual Mode control LLC 컨버터 실험 결과

본 논문에서 제안한 LLC 컨버터의 타당성 검증을 위해 60W급 adapter용 전원회로의 시작품을 제작하여 고찰된 실험결과를 제시한다. 실험 조건은 Universal line 입력전압으로부터 출력전압 19V, 출력전류 3.16A로 진행되었으며, 주요 파라미터는 누설인덕턴스 14.4uH, 자화인덕턴스 59.4uH, 공진캐패시터 8.3nF이다. 실험결과 주요 동작파형은 그림 6에 나타내었다. 또한, 그림 7은 Universal line 입력전압에 따른 효율을 제시하며, 효율측정을 위한 도구로써 YOKOGAWA사의 파워미터와 Fluke사의 멀티미터를 이용하였으며, 최대 효율 88.8%를 확인하였다. 따라서 제안회로는 입력전압에 관계없이 전 구간에서 ZVS를 보장하며, PFM과 PWM을 통한 출력전압 제어가 잘 이루어지고 있음을 실험을 통해 확인하였다.

## 4. 결론

본 논문에서는 넓은 입력전압에 대응 가능한 고주파수 구동 Dual Mode control LLC 컨버터를 제안하였다. 제안회로는 PFM과 PWM을 통한 전 입력전압범위 및 전 부하영역에 대응 및 ZVS 보장을 통한 고주파 구동으로 수동소자의 부피를 대폭 저감하였으며, 이론적 검증 및 60W급 시작품의 테스트 결과를 제시하여 타당성을 검증하였다. 따라서 본 논문에서 제안된 회로는 소용량 전원회로로서 매우 적합할 뿐만 아니라, 그 밖에 고주파 구동이 요구되는 응용분야에 적용하면 우수한 성능 및 부피 저감의 큰 효과를 기대할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] Li, Han, et al. "Analysis and design of high frequency asymmetrical half bridge flyback converter." *Electrical Machines and Systems, 2008. ICEMS 2008. International Conference on*. IEEE, 2008.
- [2] Herbert, Edward. "User friendly data for magnetic core loss calculations." Unpublished., August (2008).