

# 동기 벅 컨버터의 새로운 무손실 전류 측정 기법

강병극, 김무현, 임정규, 정세교  
경상대학교 전기전자공학부

## A Novel Lossless Current Sensing Technique for Synchronous Buck Converter

B. K. Kang, M. H. Kim, J. G. Lim, S. K. Chung  
Dept of Electrical & Electronic Engineering  
Gyeongsang National University

### ABSTRACT

A novel lossless current sensing technique for a synchronous buck converter is presented. The inductor DCR method is generally used as a low cost and lossless current sensing technique of DC/DC converters. It is however difficult to obtain the accurate current value for the conventional DCR method because the inductor resistance varies depending on the operating frequency. In order to overcome this problem, an improved current sensing technique is proposed, which has the separated DC and AC sensing circuits. The concept and operation of the proposed method are explained and the experimental results are provided to show its effectiveness.

### 1. 서 론

근래에 와서 마이크로프로세서와 같은 고집적 소자들이 저전압으로 구동되면서, 이들 소자에 전력을 공급하는 전원장치에도 역시 저전압, 고전류 특성이 요구되고 있다. 동기 벅 컨버터 (Synchronous buck converter)는 이러한 요구조건에 적합한 특성을 가지고 있어, 마이크로프로세서의 전압제어모듈 (VRM)과 같은 응용분야에 사용되고 있다.

일반적으로 DC/DC 컨버터의 전류제어를 위해서는 Shunt 저항이 사용되나, 동기 벅 컨버터와 같이 저전압, 고전류 특성을 갖는 경우, Shunt 저항에도 큰 전류가 흐르게 되어 Shunt 저항에서도 상당히 큰 전압강하와 손실이 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 여러 가지 전류측정기법이 개발되고 있다[1]~[4].

이들 방법 중 필터 인덕터의 등가저항 값을 이용하여, 인덕터의 R-L 값과 등가적인 R-C 값을 사용하여 출력 전류를 측정하는 인덕터 DCR 기법은 측정회로가 간단하

고 값이며 전력 손실이 거의 없어 실제 응용분야에 많이 사용되고 있다[1]~[4]. 그러나 인덕터의 저항 값은 주파수의 함수이며, 주파수가 높을수록 와전류(Eddy current)에 의해 저항 값이 변하는 문제점이 있다[5]. 따라서 넓은 동작영역에서 정확한 전류를 측정하기가 어렵다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개선된 DCR 전류측정 기법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 전류의 직류 값과 맥동 성분에 대하여 각각 다른 R-C 값을 사용하여 측정한 후 이를 합성하여 인덕터 전류를 구하며, 각각의 R-C 값이 직류와 스위칭 주파수에 각각 매칭이 되므로 정확한 전류 값을 측정할 수 있다. 본문에서는 이러한 전류측정 방법에 대하여 기술하였고, 최종적으로 실험을 통하여 타당성을 입증하였다.

### 2. 무손실 전류측정 기법

#### 2.1 인덕터 DCR 전류측정 기법

그림 1은 인덕터 DCR을 이용한 전류측정 기법을 나타내고 있다. 이 회로에서 인덕터 양단 전압은 다음과 같다.

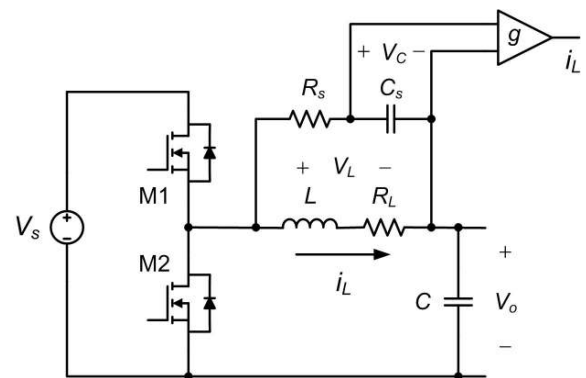


그림 1 인덕터 DCR을 이용한 전류측정 방법

$$V_L = (R_L + sL)I_L$$

(1) 여기서 인덕터와 병렬로 연결된  $R_s-C_s$  양단에도 동일한 전압  $V_L$  이 인가되며, 이 때 커패시터 양단 전압은 다음과 같다.

$$V_C = \frac{1/sC_s}{R+1/sC_s} V_L = \frac{1+s\left(\frac{L}{R_L}\right)}{1+sR_sC_s} R_L I_L$$

(2) 이 식에서  $R_sC_s = L/R_L$ 가 되게  $R_s-C_s$  값을 선정한다면, 커패시터 양단 전압은 인덕터 전류와 비례하는 값을 얻을 수 있다. 여기서  $R_s$  값은 상당히 큰 값이므로  $R_s-C_s$  회로에 흐르는 전류는 매우 작아 거의 무손실로 전류를 측정할 수 있다.

### 2.2 주파수에 따른 인덕터 저항의 변화

식 (2)에서 커패시터 양단 전압이 인덕터 전류에 비례하기 위해서는  $R_s-C_s$  회로와  $R_L-L$  회로의 시정수가 정확하게 매칭 ( $R_sC_s = L/R_L$ ) 되어야 한다. 그러나 인덕터의 저항 값은 동작주파수에 따라 변화한다. 그림 2는 주파수 변화에 따른 인덕터 저항 값의 변화를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 사용된 인덕터 코어는 Magnetics사의 High Flux 코어이다. 그림에서 보듯이 주파수가 증가함에 따라 코어에 흐르는 와전류에 의해 인덕터의 실효 저항 값이 커지게 되며, Iron-Powder 코어의 경우 그 변화량이 매우 크다.

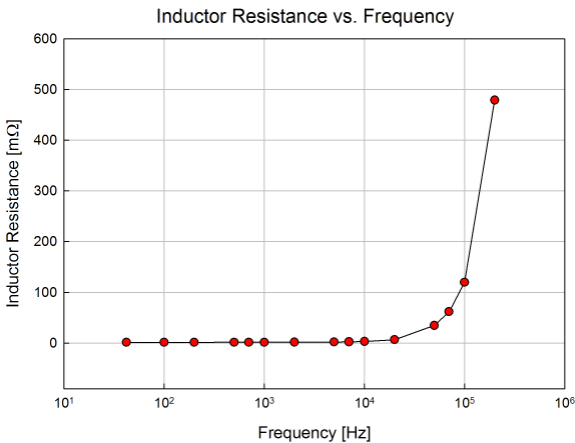


그림 2 주파수 변화에 따른 인덕터 저항 값의 변화 (Iron-powder core)

또한 인덕터에 흐르는 전류는 직류성분과 고주파의 맥동성분을 모두 가지고 있으므로, 기존의 DCR 방법을 이용하여 두 성분 모두에 대해서 동시에 정확한 값을 얻기 어렵다.

### 2.3 제안된 인덕터 전류측정 기법

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 그림 3과 같이 2개의  $R_s-C_s$  회로를 사용하는 방법을 제안하

였다. 이 그림에서 첫 번째  $R_{s1}-C_{s1}$  회로는 직류에서(주파수가 영인 경우)  $R_L-L$  값과 매칭이 되게 설계하며, 두 번째의  $R_{s2}-C_{s2}$  회로는 컨버터의 스위칭 주파수에서  $R_L-L$  값과 매칭이 되게 설계한다. 따라서 첫 번째 회로의 커패시터 양단 전압은 인덕터 전류의 직류성분과 비례하는 값을 가지게 되고, 두 번째 회로의 커패시터 양단 전압으로부터는 인덕터 전류의 맥동 성분에 비례하는 값을 얻을 수 있다. 이 두 값을 각각 저역통과 필터와 고역통과 필터를 이용해 필터링 하고 이를 합하면, 인덕터 전류의 직류성분과 맥동성분 모두를 정확하게 측정할 수 있다.

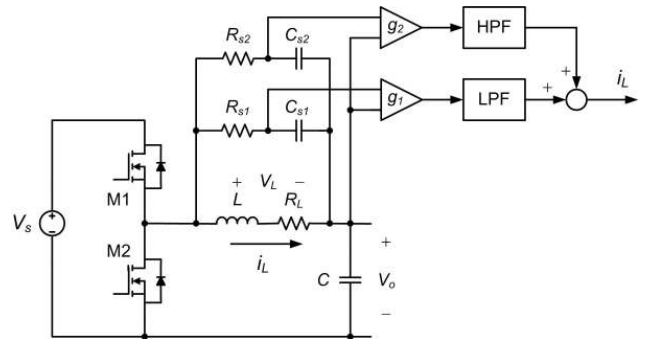


그림 3 제안된 인덕터 전류 측정 방법

## 3. 실험 결과

제안된 전류측정 방법의 타당성을 검증하기 위하여 동기 벽 컨버터를 구성하고 실험을 수행하였다. 표 1은 실험 시스템의 파라미터를 나타내고 있다.

표 1 실험 시스템 파라미터

항목	값	항목	값
$L$	6.4uH	$R_L @DC$	5mΩ
$R_L @100kHz$	119mΩ	$f_s$	100kHz
$R_{s1}$	140Ω	$C_{s1}$	440nF
$R_{s2}$	3.24kΩ	$C_{s2}$	2.22uF

전류측정 회로의  $R_{s1}-C_{s1}$  값은 인덕터 DC 저항과 인덕턴스 값과 매칭을 하였으며,  $R_{s2}-C_{s2}$  값은 100kHz에서 인덕터의 저항 값과 인덕턴스 값과 매칭을 하였다. 실험에 사용된 인덕터 저항 값의 변화는 그림 2와 같다.

그림 4, 5는 제안된 방법을 이용한 전류측정 결과를 나타내고 있다. 그림 4는 인덕터 전류의 직류 성분이 3A 인 경우를 나타내고 있으며, 위의 그림은 전류프로브를 이용하여 측정한 파형이고 아래 그림은 제안된 방법을 이용하여 측정한 파형이다. 그림 5는 인덕터 전류의 직류 값이 10A일 경우에 대해서 전류를 측정한 파형이다.

그림 4, 5에서 제안된 전류측정 방법으로 여러 동작 범위에 대해서 인덕터 전류의 직류 성분과 맥동 성분을 정확하게 측정할 수 있음을 알 수 있다.

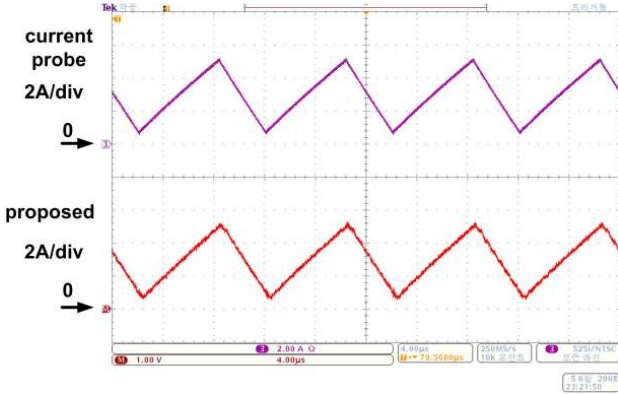


그림 4 제안된 방법을 이용한 전류측정 파형 (평균전류=3A)

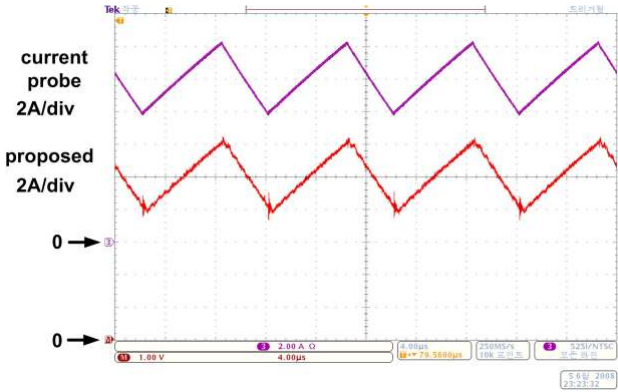


그림 5 제안된 방법을 이용한 전류측정 파형 (평균전류=10A)

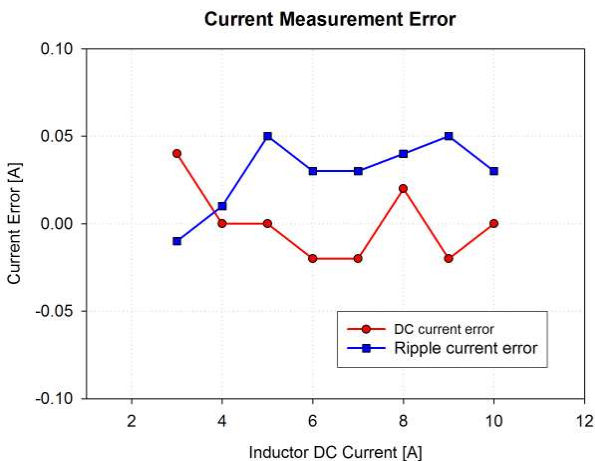


그림 6 제안된 방법의 전류측정 오차

그림 6은 제안된 전류측정 방법에 대하여 인덕터 전류를 변화시켜 가며 직류 성분과 맥동 성분의 오차를 측정 한 그래프이다. 실험 결과를 보면 여러 동작 범위에 대하여 인덕터 전류의 직류 성분과 맥동 성분의 오차가 거

의 없이 정확한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 저전압, 고전류 DC/DC 컨버터에서 손실 없이 전류를 측정하는 개선된 방법을 제안하였다. 기존의 DCR 방법은 주파수 변화에 따른 저항 값의 변동으로 넓은 동작 범위에서 정확한 전류측정이 불가능 하였으나, 제안된 방법에서는 직류와 맥동 성분을 분리하여 측정하여 정밀한 측정이 가능하게 하였다. 제안된 전류측정 방법은 동기 벽 컨버터에 대한 실험으로 그 타당성을 입증하였다. 제안된 전류측정 기법은 추후 전압제어모듈과 같은 저전압, 고전류 DC/DC 컨버터의 전류측정 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

추후 과제로는 인덕터의 저항 값이 주파수의 변동뿐만 아니라 온도 변화에 대해서도 변화하므로 동작 온도변화에 대한 오차의 분석과 기존 방법과의 비교 실험 등이 필요할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Lenk, "Optimum current sensing techniques in CPU converters", Application Bulletin AB-20, Fairchild Semiconductor.
- [2] H. P. Forghani-zadeh, G. A. Rincon-Mora "Current-sensing techniques for DC-DC converters", Conf. Rec. MWSCAS-2002, pp. II.577-II.580, 2002.
- [3] Linfinity microelectronics, "A simple current-sense technique eliminating a sense resistor", Linfinity Application Note AN-7, 1998.
- [4] A. Simon-Muela, S. Petibon, C. Alonso, B. Estibals, L. Seguer, and J. L. Chaptal, "Practical implementation of a high-frequency current sensing technique for VRM", ISIE2007, pp. 764-769, 2007.
- [5] M. Bartoli, A. Reatti, and M. K. Kazimierczuk, "Modeling iron-powder inductors at high frequencies", IEEE IAS'94, pp. 1225-1232, 1994.