

# AC 센서를 사용하는 전기자전거용 탭 인덕터 부스트 컨버터

이춘구, 배현수, 박종후  
 송실대학교, 알아이과위

## Tap inductor boost converter for electric bicycle using AC sensor

Chun-Gu Lee, Joung-Hu Park Hyun-Su Bae  
 Soongsil University, RIPower

### ABSTRACT

본 논문에서는 AC 센서를 사용하는 전기자전거용 탭 인덕터 부스트 컨버터 시스템을 제안한다. 일반적으로 인덕터 전류 측정을 위해서는 DC 센서를 사용한다. 왜냐하면, AC 센서를 사용하여 인덕터 평균 전류 크기를 측정하면 평균 전류 크기가 0이기 때문에 실효성이 있는 평균 전류 크기를 측정할 수 없다. 하지만 탭 인덕터 부스트 컨버터의 경우에는 부스트 컨버터 스위치가 닫혔을 때와 열렸을 때의 인덕터값이 달라져서 AC 센서로 측정되는 인덕터 전류 크기가 0이 아니고 AC 센서 측정값과 탭 인덕터의 턴 비를 이를 이용하여 간단한 계산을 통해 인덕터에 흐르는 평균 입력 전류 크기를 계산할 수 있다. 알 수 있다. 제안되는 시스템은 프로토타입 하드웨어로 설계되었으며 본문의 실험을 통해서 검증되었다.

### 1. 서 론

배터리의 에너지 밀도 향상과 함께 배터리를 사용하는 시스템들이 많이 생겨나고 있다. 그중 전기자전거는 일상생활에서도 심 주행에 매우 유용한 운송수단으로 화석연료를 주로 사용하는 현재 운송수단들의 대체 운송수단으로 주목받고 있다. 그리고 전기자전거는 화석연료를 사용하는 운송수단이 아니므로 탄소 배출량이 전혀 없어서 친환경적이라는 장점이 있다. 전기자전거는 구동 방식에 따라서 Pedal Electric Cycle(Pedelec) 방식과 Throttle 방식으로 나뉘는데 본 논문은 Pedelec 방식의 전기자전거를 대상으로 하는 시스템이다.

본 논문에서는 탭 인덕터 부스트 컨버터의 입력 전류를 제어하기 위해 입력 전류를 측정할 때 일반적으로 사용하는 DC 센서가 아닌 AC 센서를 사용한다. 이는 스위치가 켜졌을 때와 꺼졌을 때의 인덕터의 크기가 달라지는 탭 인덕터의 특징 때문에 AC 센서를 이용하여도 측정되는 입력 전류의 크기가 0이 아니기 때문이다. 이때 AC 센서를 통해서 측정되는 전류 크기와 탭 인덕터의 턴 비를 이용하여 간단한 계산을 통해 인덕터에 흐르는 평균 입력 전류 크기를 구할 수 있다. 제안하는 시스템은 AC 센서를 사용하기 때문에 DC 센서를 사용하는 시스템과 비교하여서 센서를 위한 보조 전원이 필요하지 않은 장점이 있고 경제적인 측면에서도 AC 센서의 가격이 DC 센서 가격보다 저렴하다는 장점을 갖고 있다.

### 2. 본 문

#### 2.1 탭 인덕터 부스트 컨버터

그림 1은 탭 인덕터 부스트 컨버터이다. 이 컨버터는 부스트 컨버터와 다르게 인덕터 대신에 탭 인덕터를 사용하고 있다. 이로 인하여 기존 부스트 컨버터 대비 높은 승압비로 동작할 수 있다.<sup>[1][2]</sup>

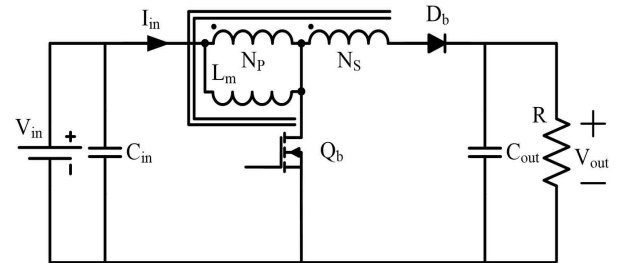


그림 1 탭 인덕터 부스트 컨버터

탭 인덕터 부스트 컨버터는 스위치 Qb가 켜졌을 때 입력전압 Vin이 자화 인덕터 Lm에 인가되어 자화 인덕터의 전류가 증가하게 된다. 스위치 Qb가 꺼졌을 때는 다이오드 Db가 켜지면서 전류가 출력 Vout으로 흐르게 된다. 이때 인덕터의 크기가 턴 비에 의해 바뀌게 되고 인덕터 전류의 크기도 바뀌게 된다.

탭 인덕터 부스트 컨버터의 전압 이득은 아래의 식 1과 같다.<sup>[3]</sup>

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} + \frac{D}{1-D} \frac{N_s}{N_p} \quad (1)$$

#### 2.2 AC 전류 센서를 이용 시 탭 인덕터 부스트 컨버터의 평균 전류 계산

그림2는 탭 인덕터의 전류 Im의 파형이다. 스위치 Qb가 켜졌을 때 인덕터의 전류 크기 중 가운데 지점을 샘플링 한 값을 Ia라고 하고 AC 센서를 이용하여서 Ia를 측정했을 경우의 전류 크기를 Ia(AC)라고 하면 아래의 식 2와 같다. Iavg는 탭 인덕터에 흐르는 평균 전류 크기이다.

$$I_{a(AC)} = I_a - I_{avg} \quad (2)$$

스위치가 꺼졌을 때 인덕터의 전류 크기 중 가운데 지점을 샘플링 한 값을  $I_b$ 라고 할 때 턴 비  $N_S/N_P$ 를 이용하면  $I_a$ 와  $I_b$ 를 아래의 식 3으로 정리할 수 있다. ( $N_S/N_P = 1$ )

$$I_b = \frac{N_S}{N_S + N_P} I_a = \frac{1}{2} I_a \quad (3)$$

탭 인덕터에 흐르는 평균 입력 전류  $I_{avg}$ 의 크기는 아래 식 4로 정리되는데

$$I_{avg} = D I_a + (1 - D) I_b \quad (4)$$

식 4를 식 3과 연립하면 식 4를  $I_a$ 와  $I_{avg}$ 에 대해서 정리할 수 있다.

$$I_{avg} = D I_a + (1 - D) \frac{1}{2} I_a = \frac{1}{2} I_a (1 + D) \quad (5)$$

식 5를 다시 식 2와 연립하면  $I_a$ 와  $I_a(AC)$ 에 대해서 정리할 수 있다.

$$I_a = \frac{2 I_a(AC)}{1 - D} \quad (6)$$

탭 인덕터에 흐르는 평균 전류는 식 6을 식 5에 대입 하여 구할 수 있고 이는 식 7로 정리할 수 있다.

$$I_{avg} = \frac{1 + D}{1 - D} I_a(AC) \quad (7)$$

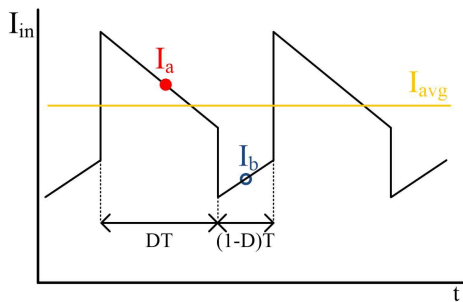


그림 2 탭 인덕터 전류  $I_{in}$  파형

### 3. 실험 결과

그림 3은 탭 인덕터 전류 파형과 AC 센서를 통해서 센싱 되는 전류 파형이다. AC 센서를 통해서 센싱 되는 전류 파형은 DC offset이 없는 것을 확인할 수 있다. 스위치가 켜질 때와 꺼질 때 노이즈에 의해서 전류 파형이 크게 흔들리지만 센싱 되는 값은 평균 전류 크기로 전류 파형의 가운데 전류 크기이기 때문에 스위치가 켜질 때와 꺼질 때 발생하는 노이즈는 탭 인덕터 평균 전류 크기를 측정하는데 치명적인 문제가 되지 않는다. 그림 4 (a), (b)는 각각 입력 전류의 레퍼런스가 3A일 때와 3.5A일 때의 탭 인덕터의 전류 파형이다. 무전원 AC 전류 센서를 이용하여도 컨버터의 제어에 문제가 없다.

### 4. 결론

본 논문에서는 AC 센서를 사용하는 전기자전겨용 탭 인덕터 부스트 컨버터 시스템을 제안하였다. 탭 인덕터를 사용하는 부스트 컨버터기 때문에 일반적으로 사용하는 DC 센서를 사용하지 않고 AC 센서를 사용하여도 0이 아닌 인덕터 전류 크기를 구했고 측정된 전류 크기와 탭 인덕터의 턴 비를 이용하여 인덕터의 평균 전류 크기를 구했다. 제안하는 시스템은 AC 센서를 사용하는 시스템이므로 DC 센서를 사용할 때 필요한 보조 전원을 사용하지 않았고 DC 센서를 사용한 시스템보다 저렴한 가격으로 프로토타입 하드웨어를 제작했다.

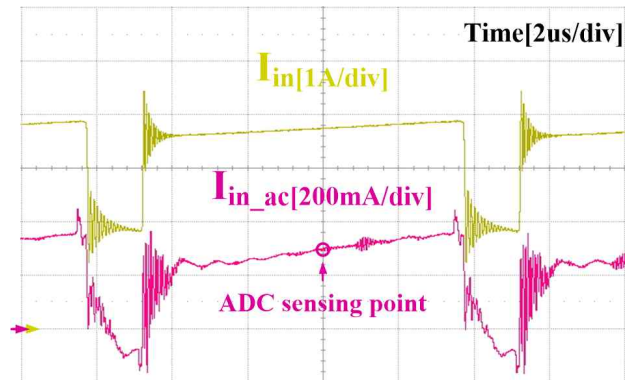


그림 3 탭 인덕터 전류  $I_{in}$  파형과 AC 센서 입력 파형

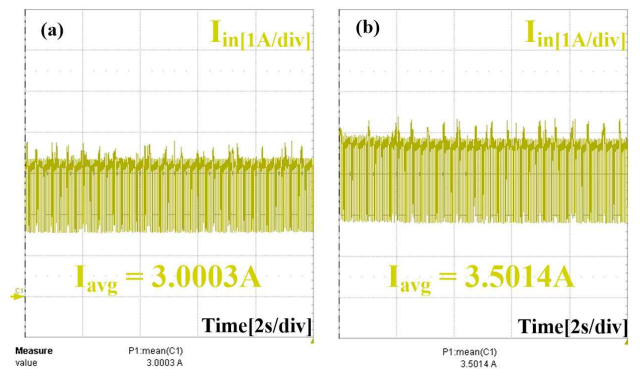


그림 4 (a) 입력 전류 레퍼런스 3A일 때의 인덕터 전류 파형, (b) 입력 전류 레퍼런스 3.5A일 때의 인덕터 전류 파형

이 논문은 알아이파워의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] 강정민, 이상현, 홍성수, 한상규. (2012). 고승압비를 갖는 전압 클램프 탭인덕터 부스트 컨버터. 전력전자학회논문지, 17(1), 34-40.
- [2] 금문환, 강정일, 한상규. (2014). 낮은 전압스트레스를 갖는 고효율 탭인덕터 부스트 컨버터. 전력전자학회 학술대회 논문집, (), 177-178.
- [3] 강정일, 한상규, 한종희. (2014). 전류연속 모드 탭인덕터 부스트 컨버터의 분석과 설계. 전력전자학회논문지, 19(4), 349-356.