

통합형 코어를 갖는 1단 DAB 마이크로 인버터 개발

강건우¹, 김선주¹, 밀리언 게라도 게다¹, 기에우 호우 쪽¹, 최세완¹, 이수창², 윤주환², 박정필²
 서울과학기술대학교¹, 한화솔루션²

Development of 1-Stage DAB Microinverter with Integrated Core

Kunwoo Kang¹, Sunju Kim¹, Million Gerado Geda¹, Huu-Phuc Kieu¹, Sewan Choi¹,
 Suchang Lee², Juhwan Yun², Jungpil Park²

Seoul National University of Science and Technology¹, Hanwha Solutions Corporation²

ABSTRACT

본 논문에서는 통합형 코어를 갖는 1단 DAB마이크로 인버터를 제안한다. 제안하는 마이크로 인버터는 1단 DAB기반의 매트릭스 구조로 구성되고 기존의 변압기와 직렬 인덕터가 분리된 분리형 방식에서 변압기와 직렬 인덕터를 통합한 방식을 통해 인버터 부피가 18% 감소하였고 분리형 코어의 전력 손실 대비 50% 감소하였다. 시작품의 성능 검증을 위해 스위칭 주파수 70kHz의 400W급 마이크로인버터를 제작 및 검증하였고 최고 효율 97.33%, CEC 효율 96.58%를 달성하였다.

1. 서 론

소규모 태양광 시스템에 적합한 마이크로 인버터는 DC-AC 전력 변환이 필요하며, 일반적으로 2단 구성을 사용한다. 2단 구성은 2단 전력변환을 통해 효율과 전력 밀도를 높이기 위해 있다. 따라서 고 효율 및 높은 전력밀도를 달성하기 위해 최근 1단 회로를 연구하는 추세이다.^[1]

본 논문에서는 기존의 방식인 변압기와 직렬 인덕터가 분리되어 있는 분리형 코어와 제안하는 방식인 통합형 코어를 비교하고 통합형 코어의 턴 비와 와인딩 구성에 따른 결과를 소개한다. 마이크로인버터 회로는 그림 1과 같이 1단 DAB 기반의 구조로 구성되어 있으며 변압기와 DAB 동작을 위한 직렬 인덕터로 구성되어 있다. 변압기와 직렬 인덕터를 분리한 기존의 방식은 코어 수가 많고 손실이 큰 단점을 가진다. 통합형 코어를 적용하면 인버터 부피와 비용이 감소하는 장점을 가질 수 있다.

2. 제안하는 통합형 코어

그림 2는 분리형 코어와 통합형 코어를 비교하였다. 변압기의 턴 비는 1차 측 5턴 2차 측 20턴으로 설계되었다.

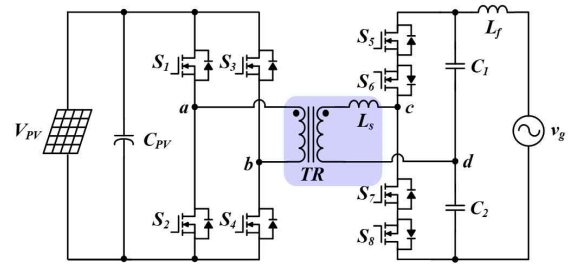
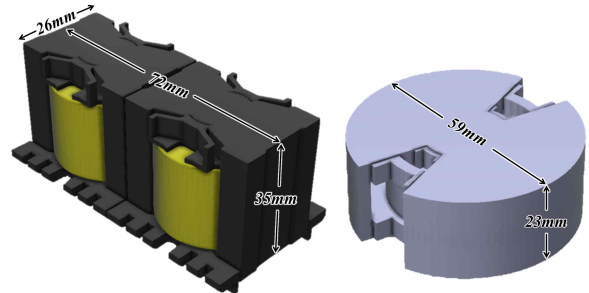


그림 1. 1단 마이크로인버터 회로

그림 2. (a)는 분리형 코어로 변압기와 직렬 인덕터 각각 설계하였고 PQ 35/35 코어 2개로 구성하였으며, 코어만의 부피는 63,336mm³이며, 와인딩을 포함한 부피는 78,174mm³이다. 코어 손실은 4.39W이다. 최고 효율 97.08%, CEC 효율 96.33%를 달성하였다.^[2] 그림 2. (b)는 제안하는 통합형 코어로 코어의 부피는 63,951mm³으로 분리형 코어 대비 부피가 18%, 높이가 34% 감소하였다. 코어 손실은 2.23W로 분리형 코어 대비 약 50% 감소하였다.



(a) (b)
 그림 2. 자성체 비교 (Including Wire)

(a) Conventional Separated Cores (Total Volume = 78,174mm³)
 (b) Proposed Integrated Core (Total Volume = 63,951mm³)

표 1. 통합형 코어 턴 비 및 와인딩 구성

	Case 1	Case 2	Case 3
턴 비	5 : 20	3 : 12	5 : 20 (인터리빙)
와인딩 구성			
L_m 측정 값	2.83mH	0.3mH	3mH
L_k 측정 값	114uH	44uH	54uH
최고 효율	-	96.23%	97.33%
CEC 효율	-	95.58%	96.58%

fre [kHz]	avg(L(Primary,Primary)) [uH] Setup1 : Transient	avg(L(Secondary,Primary)) [uH] Setup1 : Transient	avg(L(Primary,Secondary)) [uH] Setup1 : Transient	avg(L(Secondary,Secondary)) [uH] Setup1 : Transient
70.000000	581.682574	-139.809032	-139.809032	40.836106

(a)

fre [kHz]	avg(L(Primary,Primary)) [uH] Setup1 : Transient	avg(L(Secondary,Primary)) [uH] Setup1 : Transient	avg(L(Primary,Secondary)) [uH] Setup1 : Transient	avg(L(Secondary,Secondary)) [uH] Setup1 : Transient
70.000000	653.707764	-160.125481	-160.125481	42.286948

(b)

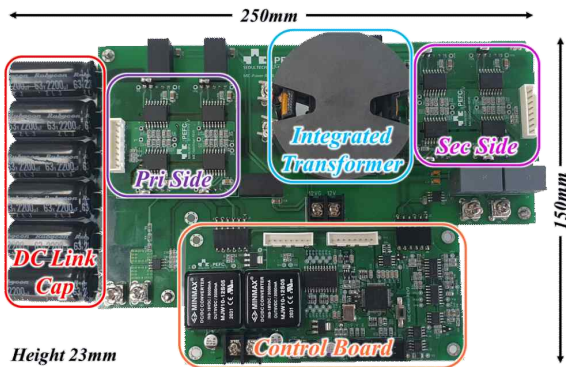
그림 4. Ansys Maxwell Simulation 결과 (a) Case 1 L_k 계산값 = 116.9uH (b) Case 3 L_k 계산값 = 50.5uH

그림 5. 통합형 코어를 적용한 1단 마이크로인버터

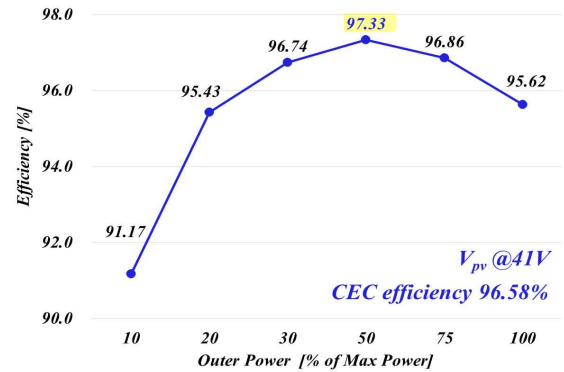


그림 7. CEC 효율 측정 (입력전압 41V)

3. 제작 및 실험

제안하는 마이크로 인버터의 타당성을 입증하기 위해 아래의 설계사양에 따라 실험을 진행하였다.

• $P_o = 400W$ • $V_g = 240Vac$ • $V_{dc} = 18-58V_{dc}$ • $f_s = 70kHz$

분리형 코어의 각 인덕턴스 값은 $L_m=3mH$, $L_s=50uH$, $L_k=5uH$ 가 측정되었다. 표 1은 통합형 코어의 턴 비 및 와인딩 구성에 따른 인덕턴스 측정값과 효율을 비교하였다. Case 1의 $L_m=2.83mH$, $L_k=114uH$. Case 2의 $L_m=0.3mH$, $L_k=44uH$. Case 3의 $L_m=3mH$, $L_k=54uH$ 측정되었으며 그림 4의 Ansys Maxwell 시뮬레이션을 통해 얻은 L_m , L_s 값으로 L_k 를 계산하여 측정값에 대한 타당성을 검증하였다. Case 1은 턴 비를 5 : 20으로 구성하고 에어 갭을 추가하여 L_k 를 감소시켜 진행하였으나 L_m 감쇄 폭이 더 크기 때문에 최대 175W 까지 동작하였다. Case 2는 에어 갭 추가 없이 정격 동작을 하였으나 최고 효율 96.23% CEC 효율 95.58%로 낮은 효율이 측정되었다. Case 3은 L_m 은 유지하고 L_k 를 저감하기 위해 내부에 권선을 추가하여 실험을 진행하였고 최고 효율 97.33%, CEC 효율 96.58%의 고효율을 달성하였다.

그림 5는 통합형 코어를 적용한 1단 마이크로인버터 시작품 사진이다. 그림 6은 정격 400W 동작의 실험 파형이며 입력전원은 DC 소스를 이용하였으며, AC 단상 부하는 저항을 사용하였다. V_{ab} 전압과 V_{cd} 전압의 위상차를 통해 V_g 전압을 제어한다. 그림 7은 400W 각 부하에 따른 효율을 나타낸 그래프이며 Yokogawa社의 WT3000을 이용하여 측정하였다.

4. 결론

본 논문에서는 1단 DAB 마이크로인버터에 적용한 통합형 코어를 제안하고 턴 비와 와인딩 구성 방식을 통해 인버터의 부피를 줄이고 효율을 높였으며 400W의 시작품을 제작하여 최대 97.33%, CEC 96.58% 효율을 만족하였다. 추후 통합형 코어의 최적화를 통해 부피를 감소시켜 전력밀도, 효율을 더 증가시킬 예정이다.

이 논문은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단 LINC 3.0 사업과 한화솔루션의 지원을 받아 수행된 연구임

참고 문헌

- [1] O. Kwon, K. -S. Kim and B. -H. Kwon, "Highly Efficient Single-Stage DAB Microinverter Using a Novel Modulation Strategy to Minimize Reactive Power," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 10, no. 1, pp. 544-552, Feb. 2022
- [2] 강건우, 김선주, 밀리언 게라도 게다, 이종원, 최세완, 이수창, 정현주, "MLPE용 고효율 1단 마이크로 인버터 개발". 2022년도 전력전자학회 추계학술대회 논문집, 2022.11

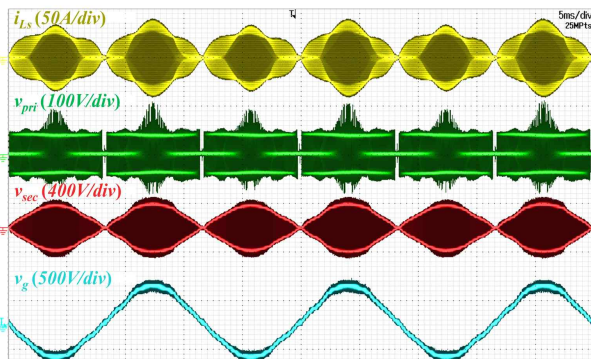


그림 6. 100% 정격 동작 시 실험 결과 파형