

에어컨용 공진형 컨버터의 고주파 변압기 설계

한근우*, 김성곤*, 이충훈*, 최명현*, 정영국**

*(재)전북자동차기술원, **세한대학교

Design of a high frequency transformer of a resonant converter for air conditioner

Keun-Woo Han*, Seong-Gon Kim*, Chung-Hoon Lee*, Myoung-Hyun Choi*,
Young-Gook Jung**

*JIAT, **Sehan University

ABSTRACT

본 연구에서는 상용차의 무시동시 에어컨용 공진형 컨버터의 고주파 변압기 설계에 대하여 다룬다. 고주파 변압기에 적합한 코어 선정과 Area Product A_p 에 의한 코어 형상 파라미터 선정법을 도출하고, 표피효과를 줄이기 위한 권선의 재질과 안정한 직류출력 전압을 얻기 위한 변압기 권선비를 제시한다. 설계된 변압기를 MAXWELL로 모델링하고 누설자속 분포를 확인한다. 공진형 컨버터에 설계된 변압기를 적용한 결과, 변압기 인덕턴스와 출력배압회로의 커패시터간의 공진이 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다.

기를 동작시키기 위한 3상 전압형 인버터로 구성된다. 특히 컨버터는 24V의 배터리 전압을 200V이상의 DC전압으로 승압시키는 중요한 역할을 담당한다. 승압된 DC전압은 3상 인버터에 의하여 3상 AC로 변환되어 무시동 에어컨 압축기를 구동한다.

2.2 고주파 변압기 설계

그림 1은 공진형 영전류 스위칭기법 ZCS이 적용된 상용차용 무시동 에어컨의 컨버터 회로도를 나타낸다. DC전압의 승압과 컨버터의 소형 경량화를 실현하기 위하여, 고주파 변압기의 코어 및 권선 설계는 중요하다.

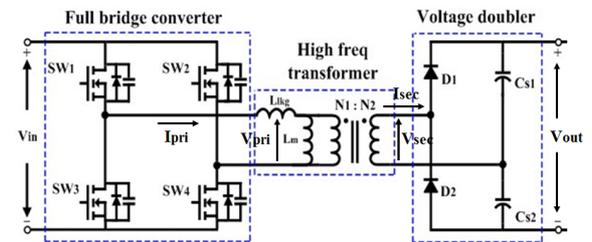


Fig.1. Resonant converter in non-starting air conditioner

10kHz 이상으로 스위칭을 하는 공진형 컨버터의 변압기는 우수한 주파수 특성, 안정적인 코어의 자속밀도, 일정한 크기의 DC 바이어스, 높은 투자율을 갖는 페라이트 코어를 사용한다. 누설인덕턴스의 설계에서 중요한 최대자속밀도 범위 ΔB_{max} 는 Q-factor에 의해 결정된다. 페라이트 코어의 최대 자속밀도 B_{max} 는 코어의 재질에 따라 차이가 있지만 일반적으로 $0.4 \pm 0.01T$ 내외이며, 자기포화 방지를 위하여 $0.4T$ 를 넘지 않도록 한다. 이를 만족하는 페라이트 코어로는 TODAISU사의 PM7이 있다. 변압기 설계에 있어 중요한 ΔB_{max} 는 B_{sat} 와 Br의 차로 표현되며, $250mT(0.25T)$ 가 되도록 설정한다.

$$\Delta B_{max} = B_{sat} - B_r \quad (1)$$

A_p Area product를 통하여 적정 사양의 코어를 선정하는데, 설계 마진을 고려하여 계산된 A_p 보다 더 큰 A_p 의 코어를 선택한다[2]. 본 연구의 컨버터는 브리지 방식이므로 $K=0.165$, $K_t=1.0$, $K_u=0.4$, $K_p=0.41$ 을 선택하면 원하는 코어의 총 단면적 A_p 값은 다음으로 계산된다.

$$A_p = A_w \times A_e = \left[\frac{P_{in} 10^4}{K_t K_u K_p 420 \Delta B_{max} 2f_s} \right]^{1.31} = \left[\frac{11}{K \Delta B_{max} f_s} \right]^{1.31} [cm^4] \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 코어 선택에 필요한 코어 면적 값을 구할 수

1. 서론

여름철 에어컨 사용량이 많은 상용차의 경우 냉방 동력을 위해 빈번하게 대형엔진을 구동함으로써 과도한 연료 소비와 배기가스 오염을 발생시킨다. 한편 Euro III Emission 규제에 따라 출시되는 차량은 5분 이상의 공회전시 엔진이 자동으로 정지되는 제어장치의 장착이 의무화되어 있다. 때문에 화물차량 및 고속버스와 같은 상용차의 주 정차시 냉방 문제는 해결해야 할 문제이다. 이를 위해 상용차용 무시동시 에어컨 압축기 시스템[1]이 제시된 바 있다. 무시동시 에어컨 시스템을 구동하기 위해서는 전력변환장치가 필요하며 이는 컨버터와 3상 인버터로 구성된다. 상용차량이 무시동 상태에서 동작이 가능한 에어컨의 전동식 압축기 구동을 위해서 200V이상의 DC 전압에서 구동되는 3상 인버터가 필요하다. 무시동시 에어컨 압축기 시스템을 위해서는 24V배터리를 10배 이상 승압 가능한 고주파변압기와 하프브리지 구조의 DC전압배압기의 공진형 컨버터가 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 추가적인 공진탱크를 사용하지 않고 DC전압배압기의 커패시터와의 공진을 이용할 수 있는 공진형 컨버터의 고주파 변압기의 설계과정을 도출하고자 한다.

2. 이론

2.1 에어컨 시스템

상용차용 무시동 에어컨 시스템은 차량용 24V배터리로 부터 200V이상의 고전압 DC로 승압하기 위한 컨버터, 전동식 압축

있으며, 이를 바탕으로 코어의 형상은 EE type으로 하였다.

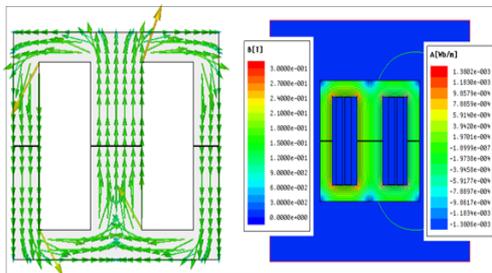
고주파 변압기의 권선비(n=3:18, 3:21, 3:24)에 따른 DC출력 전압은 권선비가 커질수록 DC출력전압의 제어영역이 넓어지며 이에 따라 스위칭 주파수 제어범도 넓어지나, 전력변환기의 제어 정밀도가 저하되고 공진 스위칭의 안정성에 문제가 발생된다. 설계 조건을 만족하는 권선은 1차 측 선경 0.12mm/4,000가닥(UDTC 타입)을 3turn, 2차 측은 선경 0.12mm/300가닥(USTC 타입)을 18turn으로 하며, 이때 권선은 고주파에 의한 표피 효과를 줄이도록 Litz-wire를 사용한다. EE코어의 공극은 0.22mm이고 1차 측 코일을 안쪽에 감고 그 위에 2차 측 코일을 감는다. 이상의 과정을 거쳐서 설계된 변압기의 사양을 표 1에 정리하였다.

Table 1. Specification of the designed transformer

Item		Value	
Core	Ferrite	TODISU PM7	
	B_{max}	0.4T	
	ΔB_{max}	250mT (0.25T)	
	Core shape	EE (Air gap : 0.22mm)	
Wire	Material	Litz Wire	
	L_r	L_{lkg}	1.56uH
		L_m	48uH
	Wire width	Primary (UDTC Type)	0.12mm/4000
		Secondary (USTC Type)	0.12mm/300
	Turn ratio	Primary[turn]	3
		Secondary[turn]	18
Operation frequency[kHz]		10~20kHz	

2.3 MAXWELL 해석 모델과 자속분포

유한요소 해석 툴인 MAXWELL을 이용하여 변압기의 자속분포를 확인하였다. 그림 2는 MAXWELL 해석 모델 및 Flux/Mesh 분포도를 나타내고 있으며, (a)는 누설자속 분포를 (b)는 공극을 갖는 페라이트 EE코어 내부를 2차 권선이 1차 권선을 감싼 모양을 나타낸다.



(a) Magnetic flux lines (b) Magnetic flux density
Fig. 2. Magnetic flux distribution of the designed transformer

3. 실험 결과

그림 3은 설계된 고주파 변압기의 도면과 완성품을 나타낸다. 변압기는 누설인덕턴스와 플링징 효과(fringing effect)에 따른 1차 측 및 2차 측 권선의 열적 스트레스를 줄이도록 1차 측 권선과 2차측 권선(n=3:18)을 분리하는 권선법을 사용하였고, 변압기 중간에 0.2mm공극을 삽입하였다.

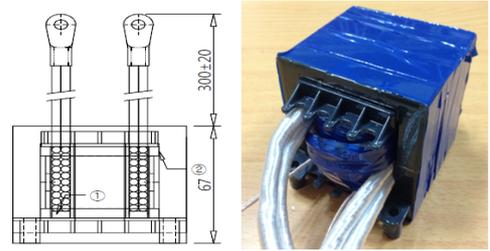


Fig. 3. The designed high frequency transformer

그림 4는 누설 인덕턴스 L_{lkg} 를 가지고 있는 고주파 변압기의 1차 측 공진 전압 V_{pri} , 1차와 2차 측 공진 전류 I_{pri} , I_{sec} 그리고 2차 측 DC전압배압회로의 커패시터 C_{s1} , C_{s2} 양단 전압을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이, MOSFET PWM 신호에 의하여 공진이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.

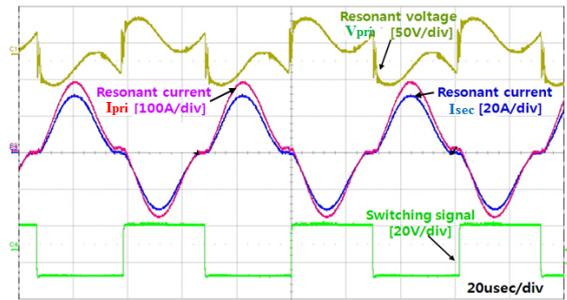


Fig. 4. Waveforms of the transformer resonant voltage and current ($V_{in}=24V$, 2.5kW resistor load)

4. 결론

본 연구에서는 상용차의 무시동시 에어컨용 공진형 컨버터의 고주파 변압기 설계법을 제시하였다. 고주파 변압기에 적합한 페라이트 EE코어(PM7, 공극0.22mm, 최대자속밀도0.4T, 최대자속밀도범위0.25T)선경과 Area Product A_p 에 의한 코어 형상 파라미터 선정법을 도출하였으며, 표피 효과를 줄이기 위한 권선을 Litz Wire재질과 안정한 DC출력전압을 얻기 위한 변압기 권선비를 3:18로 선정하였다. 설계된 변압기를 MAXWELL로 모델링하고 누설자속 분포를 확인하였으며, 공진형 컨버터에 설계된 변압기를 적용하여 실험하였다. 공진주파수 16kHz의 PWM신호에 의하여 변압기 인덕턴스와 출력배압회로의 커패시터간의 공진이 잘 이루어짐을 공진전압과 공진 전류로부터 확인할 수 있었다.

이 논문은 (재)전북자동차 기술원(JIAT)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 한근우, 김성곤, 정영국, 임영철 "상용차를 위한 무시동 에어컨 압축기용 공진형 DC/DC컨버터 개발", 전력전자학회지 논문지, 제19권, 6호, pp.557-563, 2014.12
- [2] 류동균, "고전력밀도 평판형 디스플레이를 위한 고주파 스위칭 전력변환장치에 관한 연구", 성균관대학교 대학원 박사학위논문, 전기전자컴퓨터공학과, 2015.2