

단상하프브릿지 인버터의 출력 필터 인덕터 코아 특성에 대한 코아 손실에 관한 연구

이경준*, 차헌녕**, 이종필**, 김태진**, 유동욱**, 김희제*
부산대학교*, 한국전기연구원**

A study on the Core Loss Calculation of Single-Phase Half-Bridge Inverter with characteristics variation in inductor core materials

Kyoung-Jun Lee*, Honnyong Cha**, Jong-Pil Lee**, Tae-Jin Kim**, Dong-Wook Yoo**, Hee-Je Kim*
Pusan National University*, Korea Electro-technology Research Institute**

ABSTRACT

신재생 에너지 분야에 적용되는 계통 연계형 인버터에서는 출력 전류 리플을 감소 및 계통 연계 기준을 만족하기 위하여 필터 인덕터가 필수적으로 사용된다. 현재 출력 인덕터로 적용될 수 있는 코아 중에서 아몰퍼스(Amorphous) 코아 AMCC 250을 사용하였으며, 단상하프브릿지 전압형 인버터의 스위칭은 SPWM 방법을 사용하였다. 본 논문에서는 출력 필터 인덕터 설계시에 사용할 수 있는 코아 손실 분석 방법을 제시하고, 제시된 방법에 따라 코아 손실 값을 도출하였다. 이러한 분석 결과를 실제 제작한 간이 열량계 통하여 검증을 시도하였다.

반적이다. 하지만 디지털 계측기에 사용되는 센서에 의한 측정 오차도 존재하며, 코아 손실이 수 W일 경우 일반적인 계측기를 통한 정확한 손실 측정이 어렵다. 전력변환장치에서의 손실은 대부분 열로 방출되는데, 이에 착안하여 여러 가지 타입의 열량계를 이용하여 손실을 측정하는 방법에 제시된 바 있다.^[4] 아래의 그림 1과 같이 단열 스티로폼을 이용하여 단열 박스를 구성하고 외부에 2차적으로 공기층을 통한 단열 효과를 얻기 위하여 큰 박스를 구성하였다. 내부 박스에는 칸막이를 두고 한 쪽에는 열량을 측정할 인덕터 두고 반대편에는 박스내부 공기순환을 통한 빠른 열평형 도달을 위하여 DC 팬을 설치하였다.

1. 서 론

최근에 세계적으로 태양광, 풍력발전, 연료전지 등의 신재생 에너지를 PCS (Power Conditioning System)를 통해 계통 연계하여 분산 전원을 구성하고 스마트 그리드화하는 사업이 활발히 진행되고 있다.^[1,2]

그 중에서도 PCS의 경우 신재생 에너지원에서 발생한 직류 전원을 인버터를 통해 교류로 변환하며, 계통 연계를 하는 장치로서 신재생에너지 시스템의 핵심 부분이라고 할 수 있다. 다시 PCS는 IGBT Stack의 전력 반도체 스위치, DSP (Digital Signal Processor)를 통한 제어기, LC 또는 LCL 필터 부분으로 크게 나뉜다. 이러한 PCS의 세부 분야에 대한 많은 연구가 이루어 졌으나, 아직까지도 AC 필터 인덕터 설계에 대한 정확한 설계 기준에 대해서는 미흡한 실정이다.^[3]

본 논문에서는 필터 인덕터의 손실 값을 다음과 같은 방법으로 구하였다. PWM 스위칭 주파수를 인버터 출력 주파수로 나누는 값으로 1 Cycle을 분할하여 각 구간의 인덕터 손실값을 DC-DC 컨버터의 정상상태 일 때의 손실 계산 방법을 적용하여 최종적으로 전체 손실을 구하였으며, 실제 제작한 간이 열량계 (Calorimeter)를 이용하여 제안한 방법의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 간이 열량계의 제작

PCS의 전체 효율 및 손실을 측정하기 위해서는 기존의 Power Analyzer 또는 Digital oscilloscopes를 통한 방법이 일



그림 1 실제 제작한 간이 열량계
Fig. 1 Calorimeter for measuring iron loss of filter inductor

실제 파워 실험을 하기 전에 제작한 간이 열량계의 특성 데이터를 얻기 위하여 메탈 클래드 저항 (20 Ω / 400 W)에 DC 전원을 인가하여 5분 단위로 온도를 측정하여 아래 표와 같은 결과를 얻었다.

표 1 간이 열량계 특성표
Table 1 Characteristics of calorimeter

Power(W) Time(min)	5	10	20	30	50
0	20.9 ℃	21.0 ℃	21.1 ℃	22.0 ℃	22.1 ℃
5	21.1 ℃	22.3 ℃	21.1 ℃	22.6 ℃	23.5 ℃
10	21.2 ℃	23.0 ℃	21.7 ℃	24.3 ℃	25.7 ℃
15	21.4 ℃	23.6 ℃	22.6 ℃	26.5 ℃	28.3 ℃
20	21.7 ℃	24.2 ℃	23.5 ℃	27.7 ℃	31.0 ℃
25	22.2 ℃	24.7 ℃	24.6 ℃	29.0 ℃	33.6 ℃
30	22.9 ℃	25.2 ℃	25.7 ℃	30.5 ℃	36.3 ℃
35	23.1 ℃	25.7 ℃	26.8 ℃	32.0 ℃	38.8 ℃
40	23.1 ℃	26.1 ℃	27.9 ℃	33.5 ℃	41.3 ℃
Slope (℃/min)	0.063	0.103	0.207	0.280	0.520

측정값에서 선형적인 구간에서 분당 온도 상승값, 즉 기울기 값이 간이 열량계의 중요한 특성임을 알 수 있다.

2.2. 단상 하프브릿지 인버터의 필터 인덕터 손실

실제 실험에 앞서 본 논문에서 제안하는 방법으로 단상 하프브릿지 인버터의 필터 인덕터 손실을 계산해보았다. 인버터의 출력 전원 주파수=50 Hz, 인버터의 스위칭 주파수 fsw=10 kHz, 모듈레이션 인덱스 ma=1, DC 링크 전압은 400V로 하였다. 단상 하프브릿지 인버터의 출력 필터 인덕터 코아로 Metglas社의 아몰퍼스 코아인 AMCC 250 코아를 사용하였다. 설계 포인트는 동손을 최소화 하고 충분한 코아 손실이 발생하도록 하여 간이 열량계를 통한 검증시 코아 손실에 의한 열량을 정확히 측정할 수 있도록 하였다. L값은 1.75mH 로 하였다.

우선 인버터의 스위칭 주파수를 출력 전원 주파수로 나누면 200개의 구간으로 나눌 수 있다.

먼저 각구간의 전류 리플을 다음식에 의하여 구한다.

$$\Delta I_n = \frac{V_{dc} \times (1-D) \times D \times T_s}{L} \quad (1)$$

그리고 전류 리플 값을 이용하여 자속 밀도값을 구할 수 있다.

$$B_n(T) = 1.1 \times \frac{\Delta B}{2} = 1.1 \times \frac{L \times \Delta I_n}{2 \times N \times A} \quad (2)$$

그러면 최종적으로 Metglas社에서 제공하는 코아 손실식을 이용하여 각 구간의 코아 손실을 구할 수 있다. AMCC 250 코아에 해당하는 코아 손실식은 다음과 같다.

$$P_{core_n} = wt \times 6.5 \times (f_{sw}/1000)^{1.51} B_n^{1.74} \quad (wt = 2.1kg) \quad (3)$$

위와 같은 방법으로 1 Cycle 동안의 코아 손실을 각 구간의 코아 손실을 더하여 구한 후 출력 전원 주파수를 곱하면 이론적인 코아 손실 계산을 완료하게 된다. 데이터 시트에 따르면 50Hz 에 적용할 경우 60Hz 에 적용했을 경우의 80%의 코아 손실이 된다고 알려져 있으므로 최종적으로 코아 손실은 13.25W가 된다.

$$P_{core-loss} = \left(\sum_{n=0}^{199} P_{core_n} \right) \times 50 \text{ Hz} \times 80\% \quad (4)$$

2.3 단상 하프브릿지 인버터 실험

필터 인덕터 코아 손실 계산 방법을 검증하기 위하여 단상 하프브릿지 인버터의 실험을 실시하였다. 실험 조건은 이론적 계산을 할 때와 같은 조건으로 실시하였으며, 필터 인덕터는 간이 열량계에 설치한 후 밀봉하였다. 부하는 권선 저항 22.5 Ω 에 연결하여 약 1kW 급 파워 실험을 하는 상태에서 간이 열량계를 통한 온도 변화 추이를 측정하였다. 좀더 정확한 실험 결과를 위하여 한 시간동안 5분 단위로 온도 변화 추이를 측정하여 얻은 단위 시간(분) 당 온도 증가량은 0.131 °C/min 이었다. 표 1의 결과와 비교해보면 0.131 °C/min 의 기울기 값은 10W와 20W의 기울기 사이 값을 알 수 있다. 간이 열량계를 선형 시스템으로 간주하여 간단한 비례식을 통하여 간단

하게 코아 손실 값을 구할 수 있다.

$$P_{core-loss} (W) = \frac{20-10}{0.207-0.103} (0.131-0.103) + 10 \quad (5)$$

간이 열량계를 통한 측정값과 이론값이 각각 12.69W, 13.25W이다. 약 4.2%의 오차를 가진 결과이지만 간이 열량계 및 구간별 코아 손실 계산법을 보완할 경우에 필터 인덕터 설계 과정에 도움이 될 만한 자료가 될 것으로 기대된다.

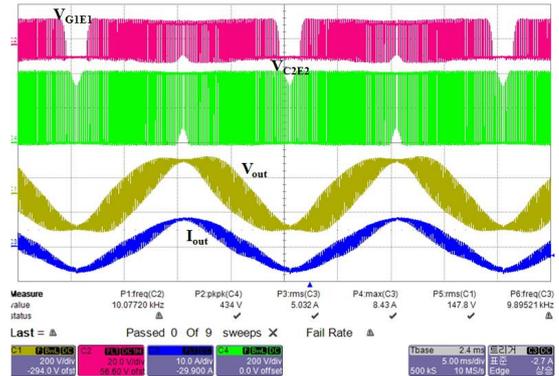


그림 2 단상 하프브릿지 인버터 실험 파형
Fig. 2 Waveforms of Single Phase Half-Bridge Inverter

3. 결론

본 논문에서는 PCS의 주요 전력 변환 장치 중에서 필터 인덕터 설계 최적화를 위한 간단한 코아 손실 방법을 제시 하였으며, 단상 하프브릿지 인버터의 필터 인덕터를 실제 제작한 간이 열량계를 통하여 검증하였다. 간이 열량계 및 구간별 코아 손실 값을 보완하면 향후 대용량 인버터의 필터 인덕터 설계시에 중요한 자료로 사용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] F.Blaabjerg, Z.Chen, "Power Electronics as an Enabling Technology for Renewable Energy Integration," Journal of Power Electronics, The Korean Institute of Power Electronics, vol.3, no.2, pp. 81-89, 2003, April.
- [2] Yaosuo Xue; Liuchen Chang, Sren Baekhj Kjaer, J. Bordonau; T. Shimizu, "Topologies of single-phase inverters for small distributed power generators: an overview", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, pp 1305 - 1314, 2004, Sept.
- [3] Toshihisa Shimizu, Seiji Iyasu "A Practical Iron Loss Calculation for AC Filter Inductor Used in PWM Inverters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, No. 7, pp 2600-2609, 2009, July.
- [4] Chucheng Xiao, Gang Chen, and Willem G. H. Odendaal, "Overview of Power Loss Measurement Techniques in Power Electronics Systems", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 43, No. 3, pp 657-664, 2007, July.