1.5V 60A급 VRM의 인덕터 손실 분석에 관한 연구

전 현* , 이달우* , 안태영* , 최광보**
청주대학교 전자공학과* , (주)창성 중앙연구소**

A study on core loss analysis of 1.5V 60A class VRM

hyun Jeon* , darl-woo Lee* , tae-young Ahn* , gwang-bo Choi**
Dept. of Electronics Eng., Cheongju Univ.* , Changsung Co.**

ABSTRACT

In this paper, to report the experimental results the core losses of VRM inductor. The VRM, that has a output voltage 1.5V, output current 60A, maximum power of 90W. Experimental results verify, the VRM has a almost same data of fast transient response, a efficiency test with high flux and ferrite inductor. A maximum power conversion efficiency of the experimental VRM was measured at 92% within 0.2% load regulation.

1. 서 론

최근 프로세서의 처리능력을 향상시키기 위해서 동작 주파수를 높이고 있지만, 소비전력은 주파수에 비례하기 때문에 공급전원전압을 낮춰서 사용하는 것이 일반화되어 있다. 따라서 고성능의 프로세서를 사용하는 경우 저전압 대전류용의 VRM(voltage regulator module)이 필수적으로 사용되고 있지만, 프로세서에 안정된 전력을 공급하기 위해서는 빠른 과도응답 특성과 높은 전력변환 기술이 절대적으로 필요하다. 일반적으로 저전압 대전류용 인덕터로서 사용되고 있는 자성재질은 페라이트, 아몰퍼스, 분말자성 등으로 생각할 수 있으며, 본 논문에서는 최근 관심의 대상이 되고 있는 저전압 대전류용 VRM에 직류중첩 특성이 우수한 분말자성코어 재질 중의 하나인 하이플럭스코어를 사용하여 비교·측정한 결과를 보고하였다. 일반적인 자성재질로 사용되고 있는 페라이트코어는 높은 비저항과 우수한 자기적 특성 때문에 대표적인 자성재료로 사용되고 있으나, DC 중첩특성이 비교적 취약하다는 단점이 있으며, 특히 대전류용 전원장치의 인덕터로 사용하는 경우 제조가격이 높기 때문에 제품의 가격 경쟁력을 약화시키는 주요한 원인이 되어왔다. 따라서 본 논문에서는 페라이트코어와 하이플럭스코어의 주파수와 DC바이어스특성을 관찰하고 동재질의 코어를 1.5V 60A급 VRM에 적용하여 과도응답특성, 전력변환효율 및 전력손실을 측정하여 그 결과를 보고하였다.

2. 인터리브 제어 강압형 컨버터

그림 1은 VRM의 회로방식으로 널리 사용되고 있는 인터리브 제어를 이용한 강압형 DC-DC 컨버터의 기본 회로를 나타내었다. 그림에서는 3개의 강압형 컨버터를 병렬로 구성하였으며 각각의 스위치는 120도의 위상차를 두고 제어회로에서 정해진 시비율로 주스위치를 구동하게 된다. 일반적으로 VRM은 저전압 대전류 동작에서도 손실을 최소화시키기 위해서 동기정류기를 구성하고 있으며 그림에서 각 회로의 보조 스위치는 주스위치와 반전 스위칭 동작을 하게된다. 그림 2는 강압형 DC-DC 컨버터의 이론 동작 파형을 보여주고 있다.

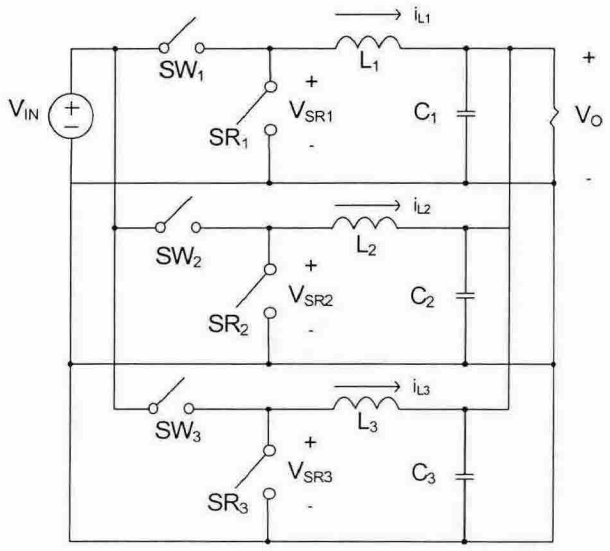


그림 1. VRM의 기본 회로
Fig 1. Basic circuit of VRM

이론동작 파형에서 알 수 있듯이 VRM 인터리브 제어방식을 이용하였기 때문에 각 강압형 회로의 주스위치 전압은 일정한 위상을 두고 동작하며, 인덕터에 흐르고 있는 전류는 각 동작주파수와 인덕턴스에 해당하는 전류리플을 포함하며 동작하고 있다는 것을 알 수 있다. 각 단의 인덕터 전류는 출력에서 더해지며 결과적으로 전류리플은 병렬회로의 수만큼 저감된다는 것을 알 수 있다.

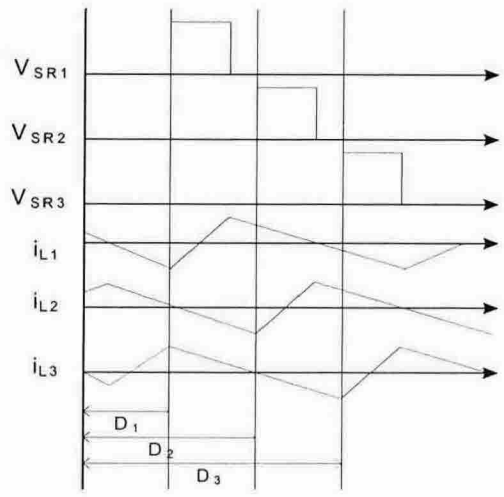
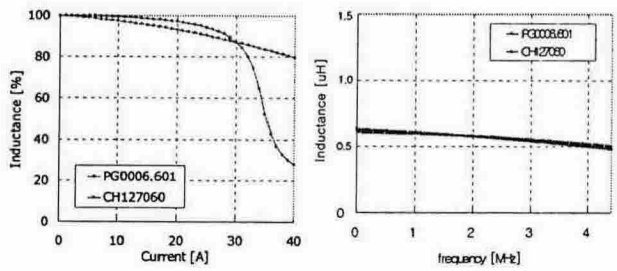


그림 2. VRM의 기본 동작 파형
Fig 2. Basic operating waveform of VRM

3. 금속분말 인덕터

일반적으로 페라이트는 높은 비저항과 우수한 자기적 특성 때문에 대표적인 자성재료로 사용되고 있으나, DC 중첩특성이 비교적 취약하다는 단점이 있으며, 특히 대전류용 전원장치의 인덕터로 사용하는 경우 제조가격이 높기 때문에 제품의 가격 경쟁력을 약화시키는 주요한 원인이 되어왔다. 반면 금속분말 재질의 자성체 코어는 Ni-Fe-Mo의 조성으로 형성된 MPP (Molybdeum permalloy powder), Ni-Fe의 하이플럭스, Fe-Si-Al의 센더스트 등이 널리 알려져 있고 본 논문에서는 비교적 주파수 특성이 우수하고 코어 손실이 적은 것으로 알려진 하이플럭스 코어를 중심으로 실험하여 보고하고자 한다. 그림 3은 페라이트 재질의 코어와 하이플럭스 코어의 DC 바이어스 특성과 주파수 특성을 측정한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 코어의 DC바이어스 특성을 백분율로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 페라이트 코어 경우 낮은 DC 전류에서는 비교적 안정적으로 인덕턴스가 유지되고 있지만, 전류가 증가할수록 인덕턴스가 급격히 감소되면서 포화되고 있다는 것을 알 수 있다. 반면 하이플럭스 코어의 경우 DC 전류가 증가하면서 비례하여 인덕턴스가 감소하고 있지만, 높은 DC 바이어스인 경우에도 감소율이 낮아서 40A의 경우에 약 80%의 인덕턴스를 유지하고 있다는 것을 알 수 있다. 그림 (b)는 인덕턴스의 주파수특성을 나타내었다. 그림으로부터 인덕턴스의 주파수특성은 페라이트 코어와 하이플럭스 코어가 모두 안정적인 특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.



(a) 코어의 DC바이어스특성 (b) 코어의 주파수특성

그림 3. 코어의 DC바이어스특성 및 주파수특성
Fig 3. DC bias and frequency characteristics of core

4. 실험 결과

본 논문에서는 인터리브 방식의 VRM에서 사용되고 있는 페라이트 재질의 인덕터와 하이플럭스 코어를 이용한 인덕터의 성능 비교를 수행하였다. 표 1은 실험에 사용된 VRM의 실험 사양을 나타내었다. 사양은 PC용 VRM 사양 중의 하나인 V.10 사양이며 입력전압은 12V, 출력전압은 1.5V, 출력전류는 60A로 설계하였다. 이때 최대 전력은 90W이었다. 그림 4는 실험회로의 기본 구조를 나타낸 것이다. 출력전압을 안정시키기 위하여 인터리브 제어와 동기정류기를 이용하였으며 스위칭 주파수는 약 240kHz로 하였다. 그림 5는 VRM의 보조 스위치의 전압과 각 상의 인덕터 전류의 실험파형을 나타내었다. 그림으로부터 각 상의 강압형 컨버터는 정상 스위칭 동작하고 있으며 인덕터의 전류로부터 인덕터의 기능이 안정적으로 동작되고 있다는 것을 알 수 있었다. 그림 6에서는 실험회로의 과도응답특성을 나타내었다. 그림에서 우측의 파형이 하이플럭스 코어의 인덕터를 적용한 결과이며, 좌측의 파형이 페라이트 코어의 인덕터를 적용한 실험파형이다. 그림의 과도응답의 파형으로부터 각 코어의 재질에 관계없이 출력전압은 무부하에서 20A, 40A로 각각 변동시켰을 때 출력전압은 최대 30mV, 60mV 이내로 안정되고 있다는 것을 알 수 있었다.

표 1. 실험 회로의 사양
Table 1. Specifications of experimental circuit

Parameters	Value	Unit
Input Voltage	12	V
Output Voltage	1.5	V
Maximum Load Current	60	A
Maximum Power	90	W

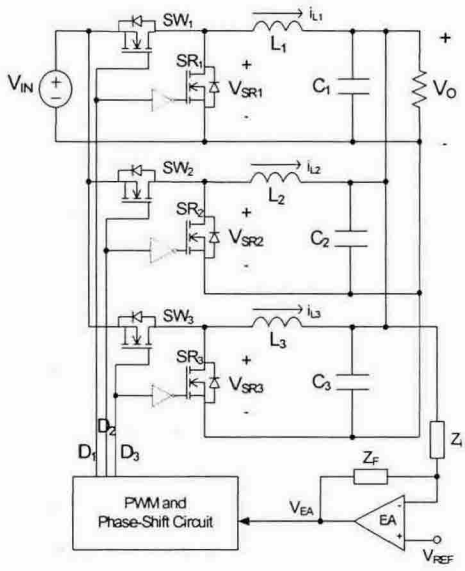


그림 4. 실험 회로

Fig. 4. Experimental circuit

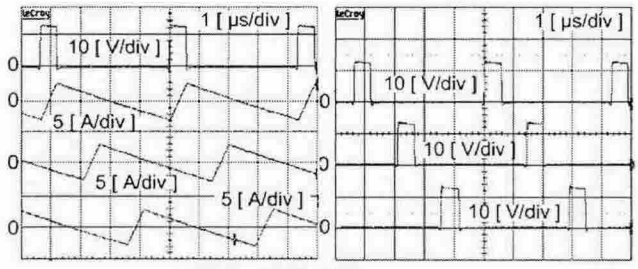
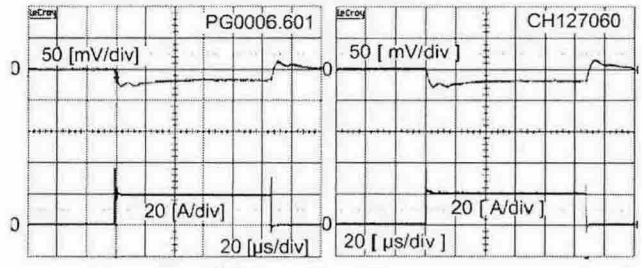
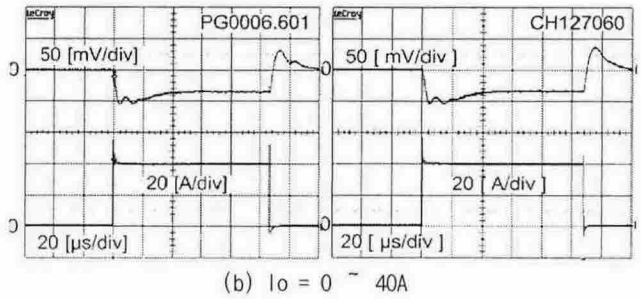


그림 5. 실험 파형

Fig. 5. Experimental wave



(a) Io = 0 ~ 20A



(b) Io = 0 ~ 40A

그림 6. 과도응답특성

Fig 6. Characteristics of transient response

그림 7은 두 개의 코어를 사용한 경우 컨버터의 전력변환효율을 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림으로부터 두 개의 코어 재질에 대해 측정된 효율은 20A에서 92%, 최대부하에서 87%를 나타내고 있으며 각각의 재질에 의한 효율 차이는 측정오차 범위 내에 들어 있다는 것을 알 수 있으며 이상의 실험결과로부터 두 개의 재질에 대한 실험결과가 오차범위 내에서 거의 일치하고 있음을 알 수 있었다.

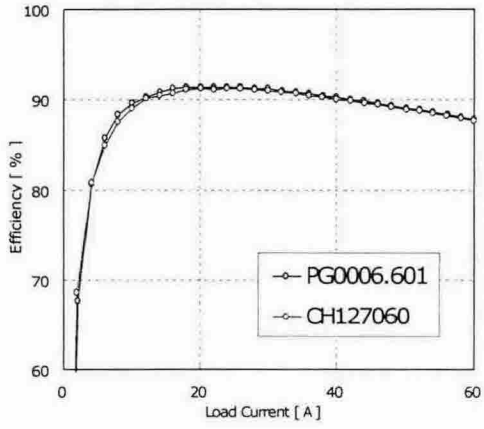


그림 7. 전력변환 효율

Fig. 7. Power conversion efficiency

5. 결 론

본 논문에서는 최근 관심의 대상이 되고 있는 저전압 대전류용 VRM에 직류중첩 특성이 우수한 분말자성코어 재질 중의 하나인 하이플럭스 코어와 페라이트 코어를 사용하여 비교·측정한 결과를 보고한 것이다. 실험회로는 PC용 VRM 사양 중의 하나인 V.10 사양으로 설계하였으며 입력전압은 12V, 출력전압은 1.5V, 출력전류는 60A로 구성하였다. 실험결과 과도응답의 파형으로부터 각 코어의 재질에 관계없이 출력전압은 최대 30mV, 60mV 이내로 안정되고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 측정된 전력변환 효율은 20A에서 92%, 최대부하에서 87%를 나타내고 있으며 이상의 실험결과로부터 두 개의 재질에 대한 실험결과가 오차범위 내에서 거의 일치하고 있음을 알 수 있었다.

본 연구는 산업 자원부·한국산업기술평가원 지정
청주대학교 정보통신 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

[1] F. Dong Tan, Jeff L. Vollin, and Slobodan M. "A Practical Approach for Magnetic Core-Loss Characterization" , IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 10, No 2, March 1995