Telecom Power용 PFC 회로의 최적설계를 위한 Topology 특성분석 및 성능비교

김윤성*,**, 정호철**, 정동욱**, 이병국*
성균관대학교 정보통신공학부*, 동아일렉콤 전원연구소**

Performance Comparison and Characteristic Analysis for Optimal Design of PFC Circuit for Telecom Power

Yun Sung Kim*,**, Ho Chul Jung**, Dong Wook Jung**, Byoung Kuk Lee*
School of Information & Communication Engineering Sungkyunkwan University*,
DongahElecomm R&D Center**

ABSTRACT

본 논문은 중, 고용량 통신용 정류기에 적합한 고효율 PFC Topology를 선정하여 특성 및 성능을 비교한다. 선정회로는 Conventional Average Current Mode PFC, Back To Back Bridgeless PFC, Semi Bridgeless PFC, Interleaved PFC 이다. 통신용 1U 표준사이즈의 2kw PFC 정류기 제작 및 시험을 통해 각 Topology의 성능 차이점을 확인한다.

1. 서론

통신 시스템에 사용되는 정류기는 대부분 수백 Watt 이상의 중, 고용량이다. 또한 높은 역률개선 성능과 높은 전력변환 효율성능을 요구한다. 이러한 통신용 정류기는 대부분 AC DC, DC DC의 2 stage로 구성되며 AC DC부는 PFC가 가능한 비절연 회로방식으로 설계된다. 관련하여 다양한 성능개선 회로방식들이 제안되고 있다. 그러나 이러한 회로방식은 성능개선이 되는 반면 부품수의 증가, 제어회로의 복잡성 증가, 노이즈의 증가 등의 단점들이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 고효율 특성으로 주목받고 있는 PFC 회로방식을 선정하여 통신용 정류기의 설계조건에 맞추어 각 회로방식의 역률 및 효율 성능을 평가하였으며, 상대적인 비교결과를 통해 trade off를 고려한 회로방식 선정에 참고 할 수 있는 결론을 도출하였다.

2. High Efficiency PFC Topology

2.1 PFC Topology

일반적으로 비절연형 PFC회로는 Buck, Boost, Buck Boost Topology로 설계 할 수 있다. 그러나 Buck방식과 Buck Boost 방식은 상대적으로 낮은 성능 및 출력 반전특성 때문에 Boost 방식에 비해 적용 사례가 적다. 한편 Boost 방식의 PFC회로는 Inductor전류에 따른 DCM, BCM, CCM 방식 및 제어기의 구조에 따른 고정 주파수제어방식, 가변 주파수제어방식, 가변 히스테리시스제어방식 등 다양한 구조로 설계되고 있다. 이러한 기존의 PFC회로 방식 중 고용량 전력변환에 적합하며, 높은 효율성능을 기대할 수 가장 대표적인 회로방식은 ACM (Average Current Mode) PFC Boost Topology이다.[1] 이때 Conventional PFC는 Bridge diode를 통한 Line Current의 도통 손실비율이 가장 높기 때문에 새로운 고효율 Topology는 이러한 손실을 개선시키는 구조로 제안되고 있다[2]. 따라서 Bridge diode를 사용하지 않는 Bridgeless 회로방식 2가지와 전류 스트레스를 분산시킬 수 있는 Interleaved 회로방식 1가지를 선정하여 비교하였다.

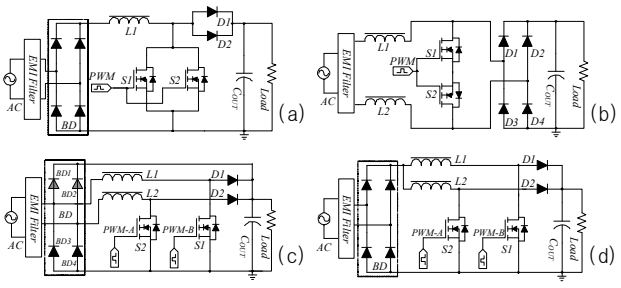


그림 1 고효율 Topology 등가회로
Fig. 1 High Efficiency Topology Equivalent Circuit: (a)Conventional ACM PFC Boost, (b)Back-To-Back Bridgeless PFC Boost, (C)Semi-Bridgeless PFC Boost, (d)Interleaved PFC Boost

2.1.1 Conventional ACM PFC (Type1)

그림 1(a)은 Conventional ACM PFC의 기본 회로이며, Bridge diode를 사용하여 AC입력을 정류한다. 회로구조는 기본 Boost 회로와 동일하다.

2.1.2 Back-To-Back Bridgeless PFC (Type2)

Back To Back Bridgeless PFC는 그림 1(b)와 같다. 입력 각 Line에 Inductor가 직접 연결된다. 특히 Bridge diode를 전혀 사용하지 않는 Bridgeless 방식이며, Inductor를 기준으로 입력 측 순환 전류보다 출력 측 순환 전류가 더 작게 흐르는 특징을 활용한다.

2.1.3 Semi-Bridgeless PFC (Type3)

Semi Bridgeless PFC는 Bridgeless PFC 회로방식 중 가장 대표적인 구조이며 그림 1(c)와 같다. 기본 Bridgeless PFC는 Bridge diode가 없기 때문에 입력 Line과 Boost회로 사이에 그라운드 연결이 되지 않아 Common Mode 노이즈가 많이 발생하는 단점이 있다. 반면 Semi Bridge PFC는 순환패스 및 CM 노이즈가 개선된 구조이다. 이때 Bridge diode는 Conventional ACM PFC 에서의 역할과는 다르게 동작한다.[2]

2.1.4 Interleaved PFC (Type4)

Interleaved PFC 회로방식은 그림 1(d)이다. 부품구성은

Semi Bridgeless PFC 와 같고, 회로구조는 Conventional ACM PFC를 Dual Boost로 구성한 구조이다. 따라서 각 Boost에 도통되는 전류는 반으로 분기되어 흐른다.

2.2 2kw PFC Rectifier & Test Result

표 1은 각 Topology의 부품구성을 나타낸다. Conventional ACM PFC(Type1)의 기본구조는 FET, Diode 각각 1개로 구성된다. 단, 논문에서는 부품의 전류내량 및 방열성능을 고려하여 각 2개씩 병렬구조로 설계하여 비교하였다. 이때 병렬구조는 도통손실과 스위치손실의 trade off에 의해 동일한 손실특성을 가진다.[2] Inductor는 High Flux CH270060 Core 3개를 병렬로 사용하였다. Back To Back Bridgeless PFC(Type2)는 Bridge diode가 없고, 출력 단에 Fast Recovery Diode 4개를 사용한다. 또한 Floating Driver회로가 필요하며, Inductor는 입력 Line에 각각 연결된 Dual 구조이다. 이때, 각 Inductor는 Core 2개씩 병렬로 설계하였다. Semi Bridgeless PFC(Type3)는 2개의 Driver가 필요하며, 사용된 Bridge diode는 Boost 동작 시 아래쪽 DB3, DB4만 사용된다. Inductor는 Type2와 동일하다. Interleaved PFC(Type4)는 Semi Bridgeless PFC와 부품구성은 같다. 그림 2는 실제 제작된 4가지 2kw PFC 정류기 시험품이다. 시험품의 주요부품은 동일 모델로 설계하였다. 또한 Semi Bridgeless PFC와 Interleaved PFC는 유사한 부품구성을 가지기 때문에 같은 배치로 설계 되었으며, 패턴 차이 외에 실장구조는 같다.

표 1 고효율 Topology 부품
Table 1 High Efficiency Topology Component

	Bridge diode	FET	Diode	Inductor	Drivers
Type1	1	1(2)	1(2)	1 (3ea)	1
Type2	0	2	4	2 (4ea)	1(Floating)
Type3	0.5	2	2	2 (4ea)	2
Type4	1	2	2	2 (4ea)	2

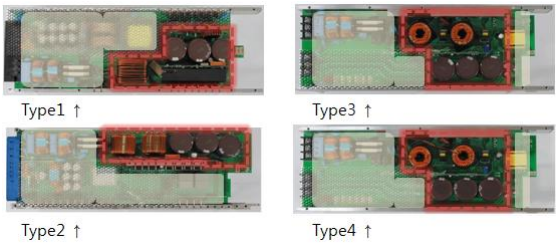
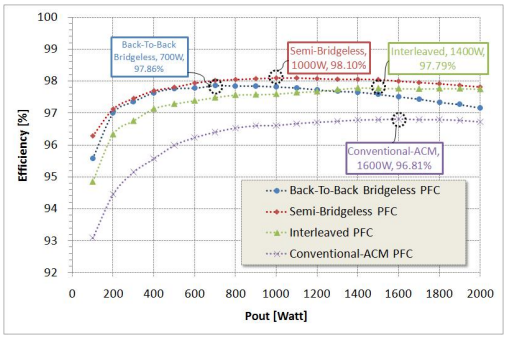
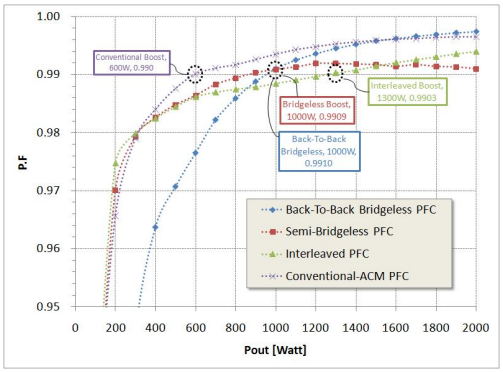


그림 2 Topology 별 2kw PFC 정류기 시험품
Fig. 2 2kw PFC Rectifier Prototype each Topology

성능비교 시험은 입력전압 220V_{AC}, 출력전압 390V_{DC}, 스위칭 주파수 60kHz, 출력전력 2kw의 동일 조건에서 실시하였다. 시험결과 3가지 Topology 모두 Conventional ACM PFC 대비 높은 효율성능을 확인 하였다. 특히 Interleaved PFC의 측정결과는 전 부하구간에서 Conventional PFC 대비 약 1%의 균일한 효율성능 차이가 났다. 즉, 부하증가에 비례한 손실저감 특성을 확인했다. 또한 Back To Back Bridgeless PFC는 1.2kw 이하에서는 Interleaved PFC보다 높은 효율성능을 나타냈지만 1.3kw 이상의 부하에서는 점증적으로 낮은 효율성능이 나타났고, 최대부하에서는 약 0.5% 낮은 효율결과가 나타났다. 출력측에 위치한 4개의 Diode 도통손실이 중 부하 이상에서 크게 반영되는 것을 알 수 있다. 그리고 Semi Bridgeless PFC는 전 부하구간에서 가장 높은 효율성능 결과를 나타냈으며, 전 부하구간에서 효율변화가 가장 작은 특성을 확인 하였다. 반면 효율특성과는 다르게 역률성능은 Conventional ACM PFC의 결과가 전반적으로 우수하며, 출력 부하 600w이상에서 0.99 이상 측정되기 시작한다. 또한 Back To Back Bridgeless PFC는 부하에 따른 변화가 가장 크며, 나머지 2가지 Topology는 측정오차를 감안할 경우 거의 유사한 것을 확인하였다.



(a) Efficiency



(b) Power Factor

그림 3 효율 및 역률 측정결과
Fig. 3 Test Result of Efficiency and Power Factor

3 결론

본 논문에서의 분석 및 시험결과를 통해 Conventional ACM PFC 대비 새로운 PFC Topology의 상대적인 성능변화 결과를 확인 할 수 있었다. 또한 각 Topology 간의 성능차이도 확인 할 수 있었다. 단 이번 연구에서는 동일조건에서 설계된 Topology간의 성능을 비교한 결과이므로 각 Topology의 최적화된 최고성능 결과를 비교한 결과는 아니다. 따라서 향후 연구를 통해 각 Topology의 최적 동작주파수 및 제어모드를 고려하여 최대 성능의 차이를 분석할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Huai Wei, Issa Batarseh, "Comparison of Basic Converter Topologies For Power Factor Correction", IEEE, Southeastcon '98. Proceedings., Apr 1998, pp348 353

[2] Laszlo Huber, Yuntaek Jang, Milan M. Jovanovic, "Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers" IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 23, NO. 3, MAY 2008, pp1381 1390