
LC필터가 없는 고역율 3상 AC-DC 컨버터

남 정 략*

High Power Factor 3-Phase AC-DC Converter without LC Filter

Jing-rak Nam*

요 약

본 연구는 산업체에서 널리 사용되어지고 있는 기존의 3상 AC-DC 컨버터에서 무게와 부피를 획기적으로 줄일 수 있는 고역율 3상 AC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안된 고역율 3상 AC-DC 컨버터는 LC 필터를 제거한 상태에서 효율성과 다당성을 검증함으로써 경량화는 물론 저비용을 실현할 수 있게 된다. 또한 LC 필터를 제거하였음에도 불구하고 성능 면에서 볼 때 기존의 AC-DC 컨버터와 비슷한 성능을 얻을 수 있으므로 고전력 밀도 및 고역율이 요구되는 항공·우주 분야에 응용이 가능해 질 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Conventional 3-phase AC-DC converter is frequently in the industrial world. In this paper, the high power factor 3-phase AC-DC converter which can reduce its weight and volume is proposed. The high power factor 3-phase AC-DC converter without LC filter can realize light weight and low-cost. In spite of elimination of LC filter, the performance of the high power 3-phase AC-DC converter is almost the same as conventional 3-phase AC-DC converter. Finally, this result can be expected to be applied to aviation and the space industry with high power density and high power factor.

키워드

3-phase AC-DC converter, LC filter, surge, Buck converter, high power factor

I. 서 론

3상 컨버터는 일반적으로 AC를 DC로 변환하는 전력 변환 장치로 구성은 단순한 정류 다이오드와 LC 필터로 되어 있으며, 역율이 높고 신뢰성이 높아서 산업체에서 많이 사용되어지고 있다. 근래에는 이들 전자기기에 있어 소형, 경량화는 필수적인 형태로 개발되어지고 있다. 또한 효율, 무게, 부피, 크기 등의 문제점을 해결하기 위해 리액터성분을 제거함으로써 소형, 경량화를 추구하는 연구가 활발히 진행되고 있다[1],[2]. 3상 컨버터 회로

의 입력전류는 입력전압의 피크 부분에서 펄스형으로 흐르게 되어 입력 역율이 낮으며, 전류에 많은 고조파 성분이 포함되어 있어 전원계통에 나쁜 영향을 미치게 된다[3],[4]. 따라서 입력단에 고역율을 얻기 위해서는 DC 링크단의 LC필터 중에 인덕터가 마치 전류원처럼 보일 정도로 커야 한다. 이 경우 인덕턴스는 10[mH] 내외의 정도로 전체시스템의 무게 및 부피가 아주 큰 것이 최대의 단점이다. 특히 우주·항공 분야에 사용되는 3상 컨버터는 무게와 부피를 줄여 가능한 소형화로 하는 것이 절대적으로 필요로 하기 때문에 기존의 3상 AC-DC 컨버터

사용은 많은 어려움을 지니고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 부피가 큰 LC필터를 제거하면서 고역율을 유지할 수 있는 새로운 3상 AC-DC 컨버터를 제안한다.

제안된 컨버터는 시비율(duty ratio)이 일정한 스위칭 제어에 의해 전류 불연속 모드로 동작되어 고출력·고역율 컨버터로 동작되며, DC링크단에 큰 LC필터를 제거하고 부하단의 Chopping된 전류를 입력전원단으로 흐르게 함으로써 입력전류의 평균치가 구형파 형태로 되도록 하는 것이다[5]. 여기에 작은 고주파필터를 추가하면 입력전류의 고주파 리플이 제거되고 구형파에 가깝게 되므로 고역율을 얻을 수 있다.

II. 기존의 3상 AC-DC 컨버터

기존의 3상 AC-DC 컨버터는 정류다이오드와 저주파 LC필터로 구성되며, 회로가 간단하고 고역율·고신뢰성을 얻을 수 있으며 원가가 낮다는 장점을 지니고 있다. 필터 인덕터가 매우 커서 인덕터 전류는 거의 DC에 가깝게 되며, 입력 역률은 90[%] 정도이다. 거의 모든 3상 시스템에 주어지는 입력 역률 조건(보통 90%)을 만족시키기 때문에 일반적으로 산업용에 거의 대부분 사용되고 있다. 필터 캐패시터 또한 일반적으로 수 천 μF 정도로 매우 크게 설계되어 있는데 이것은 입력단에 서어지 전류가 내습할 때 DC링크전압을 잡아주어 후단 DC/DC 컨버터의 전력소자를 보호하고, 순간 정전시에 일정한 출력전압을 계속해서 공급할 수 있도록 충분한 hold-up 시간을 주기 위한 것이다[6]. 그림 1은 기존의 3상 AC-DC 컨버터의 기본적인 회로를 나타내고 있으며, 그림 2는 입력 전압 및 전류의 파형이다.

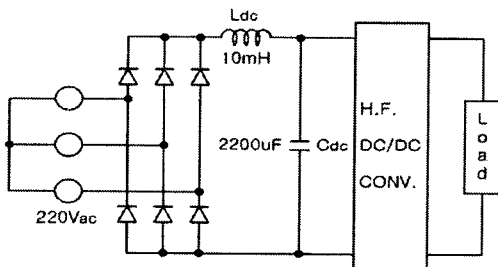


그림 1. 기존의 3상 AC-DC 컨버터
Fig. 1 Conventional AC-DC Converter

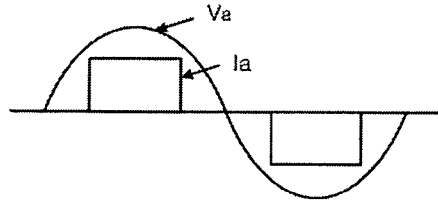
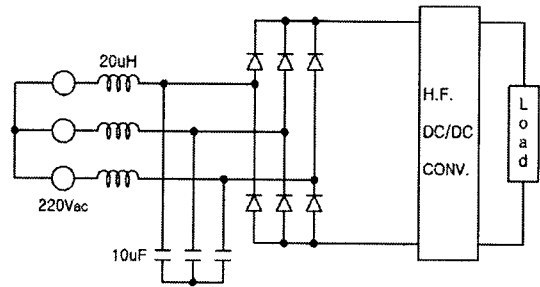


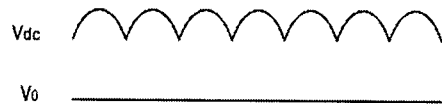
그림 2. 입력 전압 및 전류의 파형
Fig. 2 Wave form of input voltage and input current

III. 제안된 고역율 3상 AC-DC 컨버터

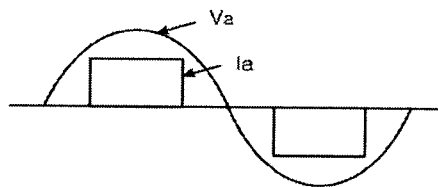
제안된 고역율 3상 AC-DC 컨버터 회로는 그림 3(a)과 같다. 그림 3과 같이 단순히 DC링크단의 부피가 큰 LC필터를 제거하고 DC링크전압이 3상 정류된 전압파형과 같이 시간에 따라서 변화하도록 허용함으로써 후단의 고주파 DC/DC 컨버터는 DC링크단의 전압이 일정하지 않더라도 제어 루프를 통해서 출력전압을 일정하게 조정한다.



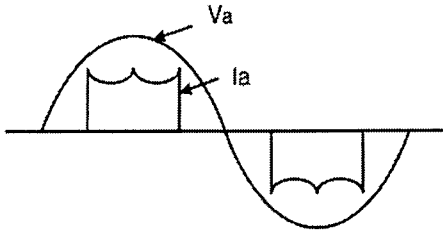
(a) 제안된 3상 AC-DC 컨버터 회로



(b) 입력단 전압·전류의 파형



(c) 입력단 LC 필터가 없을 때



(d) 입력단 LC 필터가 있을 때

그림 3. 제안된 고역율 3상 AC-DC 컨버터와 전압·전류의 파형

Fig.3 Wave form of voltage and current of the proposed high power factor 3-phase AC-DC converter

펄스성 입력전류가 그림 3(c)와 같이 그대로 AC전원으로 흐르게 된다. 이것을 입력단에 고주파 LC필터를 붙여서 필터링 하게 되면 그림 3(d)와 같은 전류 파형을 얻는다. 이때 입력 역율은 기존의 3상 AC-DC 컨버터 보다 1[%] 정도 떨어진다. 따라서 부피가 큰 LC필터를 제거하더라도 90[%]에 가까운 역율을 얻을 수 있다.

IV. 제안된 컨버터의 문제점 및 해결책

제안된 컨버터는 부피가 큰 LC필터를 제거했기 때문에 입력단에서의 서어지 전류가 내습할 경우 DC링크전압은 급격하게 상승하여 후단 DC/DC 컨버터의 전력소자를 파괴시킬 수 있다.

또한, 순간 정전시에도 DC링크 전압이 급속히 감소하여 출력전압을 일정하게 유지할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.

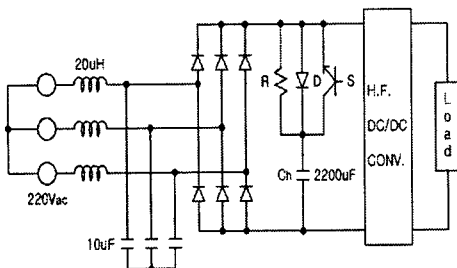


그림 4. 능동소자와 캐패시터를 추가한 회로
Fig. 4 The circuit added active filter and capacitor

이런 문제점을 해결하기 위하여 그림 4와 같이 DC링크단에 큰 캐패시터와 하나의 스위치와 저항으로 구성되는 보호회로를 추가하였다. 입력측으로부터 서어지가 내습하면 다이오드가 동작하여 DC링크단에 고전압이 걸리는 것을 막아주어 전력소자를 보호 해주고 순간 정전시에는 능동소자를 동작시킴으로써 요구되는 hold-up 시간 동안 출력전압을 일정하게 유지하도록 해준다. 이 경우 전해 캐패시터는 순간 정전시에만 충·방전을 하기 때문에 수명이 거의 반영구적이다.

V. 시뮬레이션 및 고찰

제안된 고역율 3상 AC-DC 컨버터에 대한 효율성과 타당성을 증명하기 위해서 PSpice를 이용하여 시뮬레이션을 하였다.

시뮬레이션에 사용한 회로와 파라미터들은 그림 5에 나타내었다. 후단의 DC/DC 컨버터는 단순한 Buck 컨버터를 사용하였으며 시뮬레이션을 용이하게 하기 위해 DC링크단에 작은 캐패시터(2uF)를 부착하였다.

그림 6은 그림 1과 같은 기존의 3상 AC-DC 컨버터에 대한 시뮬레이션 파형을 나타내고 있다. 인덕터가 아주 크기 때문에 입력전류 파형은 구형파에 가깝게 되고 이때 역율은 90.5[%] 정도가 된다.

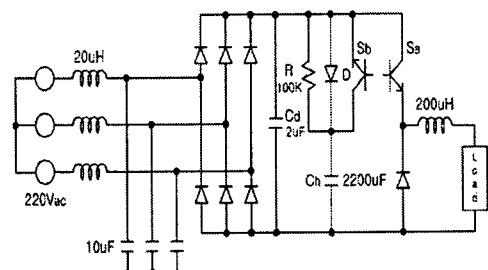


그림 5. 시뮬레이션에 사용된 고역율 3상 AC-DC 컨버터 회로

Fig. 5 The high power factor 3-phase AC-DC converter circuit for the simulation

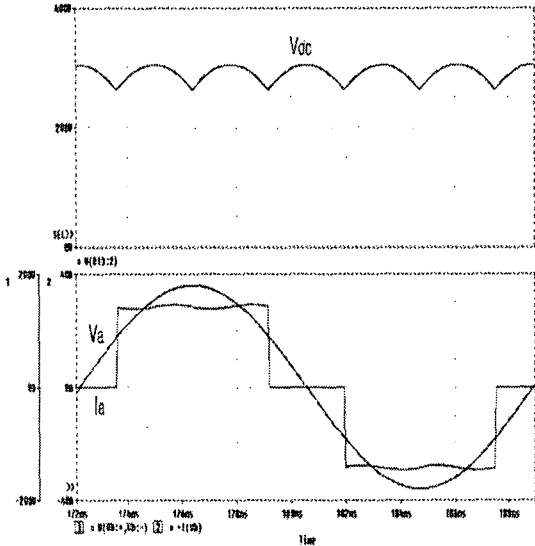


그림 6. 기존의 3상 AC-DC 컨버터 회로의 DC 링크 및 입력단의 전압·전류 파형

Fig. 6 DC link of conventional 3-phase AC-DC converter circuits and wave form of voltage and current at input terminal

그림 7은 제안된 3상 AC-DC 컨버터의 고주파 LC 필터가 없을 때의 시뮬레이션 파형을 보여 준다. 동작원리를 보기 위해서 입력단의 LC필터가 부착되지 않았을 경우이다. 출력측 초퍼의 입력전류가 120° 구간 동안 입력측으로 그림과 같이 흐르게 된다. DC 링크전압에 펄스성 노이즈가 보이는 것은 회로의 인덕턴스와 저항성분에 기인한 것이다.

그림 8은 제안된 3상 AC-DC 컨버터의 고주파 LC 필터가 있을 때의 시뮬레이션 파형을 나타내고 있다. DC 링크전압이 3상 정류된 전압과 같이 시간에 따라 변하기 때문에 일정한 출력전압을 얻기 위해서 duty cycle이 DC 링크전압의 변화에 역으로 조절되는 것을 볼 수 있다. 또한 고주파 LC필터에 의해 펄스성 노이즈가 제거된 것을 알 수 있다. 기존의 3상 컨버터에 비해 역율이 약간 떨어지는 것을 볼 수 있지만 거의 90[%] 정도의 역율을 나타내고 있으므로 성능 면에서 비교해 볼 때 거의 대등하다는 사실을 알 수 있다.

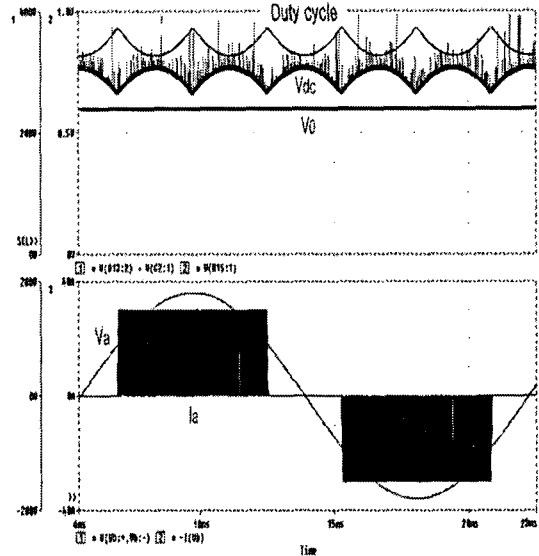


그림 7. 제안된 3상 AC-DC 컨버터 회로의 DC 링크 및 입력단의 전압·전류 파형 (고주파 LC 필터가 없을 때)

Fig. 7 DC link of the proposed 3-phase AC-DC converter circuits and wave form of voltage and current at input terminal (without high frequency LC filter)

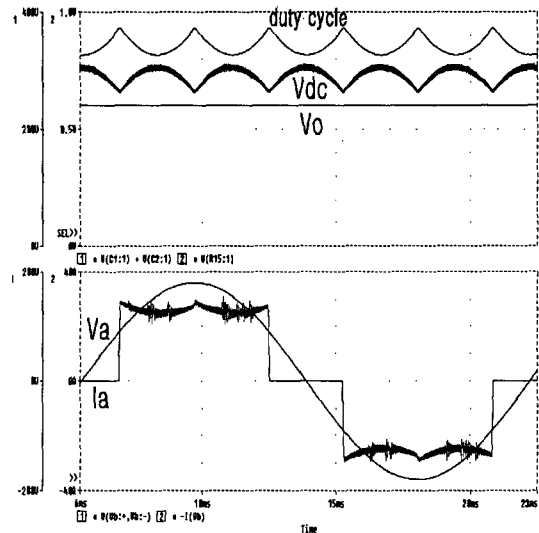


그림 8. 제안된 3상 AC-DC 컨버터 회로의 DC 링크 및 입력단의 전압·전류 파형 (고주파 LC 필터가 있을 때)

Fig. 8 DC link of the proposed 3-phase AC-DC converter circuits and wave form of voltage and current at input terminal (with high frequency LC filter)

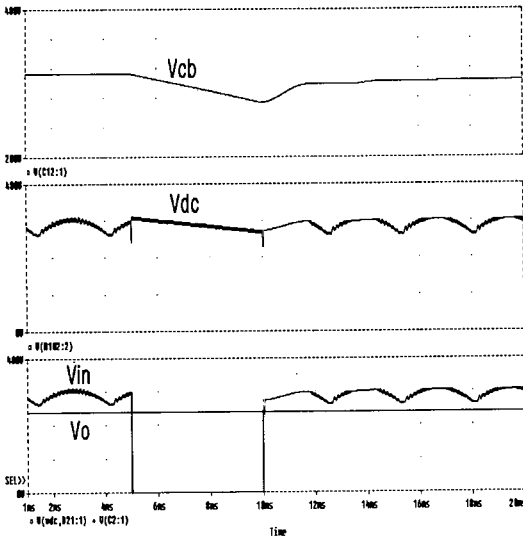


그림 9. 순간 정전시 출력 전압의 레귤레이션
 Fig. 9 Reguration of output voltage under instantaneous power failure

그림 9는 순간 정전시 출력전압의 레귤레이션을 나타낸 것이다. 그림 9에서와 같이 순간 정전이 발생되었을 경우에도 능동 소자를 동작시킴으로써 출력 전압이 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 기존의 3상 AC-DC 컨버터에서 LC 필터를 제거함으로써 무게와 부피를 획기적으로 줄일 수 있는 새로운 고역율 3상 AC-DC 컨버터를 제안하였다. 그리고 제안된 고역율 3상 AC-DC 컨버터에서 LC필터를 제거하였을 경우 발생되어질 수 있는 문제점과 해결책을 제시하였고, 이에 따른 효율성과 타당성을 검증하기 위해 PSpice로 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 고역율 3상 AC-DC 컨버터는 기존의 3상 AC-DC 컨버터에 비해 무게와 부피를 획기적으로 줄였음에도 불구하고 성능 면에서 거의 비슷한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 제안된 고역율 3상 AC-DC 컨버터는 고전력밀도· 고역율이 요구되는 항공·우주 분야에 널리 사용되어 질 수 있을 것으로 사료된다. 향후 연구 과제로는 실질적인 하드웨어의 구성을 통한 실험 및 적용이 요구된다.

참고문헌

- [1] P. Cheasty, J. Flannery, M. Meinhardt, A. Alderman, S.C. O'Mathuna, "Benchmark of power packaging for DC/DC and AC/DC converter," IEEE Transactions on power electronics, Vol.17(1), pp.141~150, 2002.
- [2] 김병철, "소형 전원용 스위칭 파워 모듈", 한국해양정보통신학회 논문지, 제8권 5호, pp. 1068~1078, 2004
- [3] J. W. Kolar, H. Ertl & F. C. Zach, "A novel single switch three phase AC/DC buck boost converter with high quality input current waveforms and isolated DC output". INTELEC, pp.407-414, 1993
- [4] 이현우 외, "소프트 스위칭 모드에 의한 고역률의 AC-DC 강압형 컨버터 토폴로지", 전력전자학회 종합학술대회 논문집, pp.417-422, 1997
- [5] 不連続 モト 動作 高力率 昇降壓形 AC-DC レギュレタ 特性解析 長尾道彦(大分大學) 今永定利 原田耕介(熊本大學)電子情報 通信學會 新學 技報93-9 12P-22P
- [6] 김준홍 외, "고출력화를 위한 부분공진형 AC-DC 컨버터", 전력전자연구회 춘계학술대회 논문집 pp.3 - 6, 1997
- [7] 김찬 외, "전원장치의 소형화와 고효율화를 위한 스위칭 파워 모듈의 제작과 특성에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회지 제7권 2호, pp.758-761, 2003

저자소개



남 정 략(Jing-Rak Nam)

1990 부경대학교 전기공학과 공학사
 1994 부경대학교 전기공학과 공학석사
 2004 창원대학교 전기공학과 공학박사
 1990~1998 한국전기안전공사

2000~동명대학교 정보통신대학 전기전자공학과 교수
 ※관심분야: 전력시스템, 제어 및 전력전자