

출력전압 제어 가능한 모듈형 DC/DC 컨버터 설계

채용웅*

Design of Modular DC / DC Converter Design with Programmable Output Voltage

Yong-Yoong Chai*

요 약

본 연구는 부하의 크기에 따라 출력전압이 변환 가능한 모듈형 컨버터 설계에 관한 것이다. 컨버터는 부하의 크기에 따라 효율이 결정되며 낮은 부하에 대해서는 일반적으로 효율이 낮다. 따라서 대용량의 컨버터를 제작하는 것보다는 소용량의 모듈형 컨버터를 제작하여 부하의 크기에 따라 컨버터 모듈의 병렬결선을 통해 시스템의 용량을 결정하는 것이 효율적인 측면에서 유리할 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 부하에 따라 모듈의 수를 조절 가능하도록 설계된 모듈형 DC/DC 컨버터를 소개할 것이다. 모듈의 병렬결선을 위해 출력단에는 프로그램 가능한 저항을 배치하고 이 가변저항을 조절하여 전압의 크기를 조절 가능하게 하였다. 이와 같은 방식으로 제어되는 시스템은 경부하의 경우에 약 32% 가량의 효율 개선을 나타내는 것으로 확인되었다.

ABSTRACT

This study deals with the design of a modular converter that can convert the output voltage according to the size of the load. The efficiency of the converter depends on the size of the load and is generally less efficient for lower loads. Therefore, it is more efficient to construct a small capacity modular converter than to manufacture a large capacity converter and it determines the capacity of the system through the parallel connection of the converter module according to the load size. In this paper, we will introduce a modular DC / DC converter designed to control the number of modules according to the load. A programmable resistor is placed at the output of the module for parallel connection of the module, and the voltage is regulated by adjusting the variable resistor. A system controlled in this way was found to exhibit an efficiency improvement of about 32%.

키워드

Converter, Module, Programmable Resistor, Efficiency, Parallel, Power
컨버터, 모듈, 가변 저항, 효율, 병렬, 전력

1. 서론

최근의 회로는 일반적으로 마이크로컨트롤러, DSP, FPGA 등과 같은 많은 구성 요소를 포함한다. 이러한 각 구성 요소에는 특정 전압 요구 사항이 있는데, 이를 위해 가장 효율적인 솔루션은 중앙의 대용량 전원

공급 장치와 다수의 로컬 컨버터 모듈로 구성된 분산 전원 시스템이다. 최근 들어 제조업체는 많은 양의 장치가 필요한 경우에 모듈형을 선택하였다. 이러한 경향은 모듈의 가격이 꾸준히 하락함에 따라 이제는 실용적인 대안이 되고 있기 때문이다[1-2].

이러한 모듈형에 대한 관심은 최근 전원장치 관리

* 교신저자: 계명대학교 전자공학전공

· 접수일 : 2018. 12. 24
· 수정완료일 : 2019. 02. 18
· 게재확정일 : 2019. 04. 15

· Received : Dec. 24, 2018, Revised : Feb. 18, 2019, Accepted : Apr. 15, 2019

· Corresponding Author: Yong-Yoong Chai
· Dept. of Electronic Engineering, Keimyung University
· Email : yychai@kmu.ac.kr

분야에서도 나타나고 있다. 예를 들어, 대용량의 전원 장치의 경우에 모듈형의 전원장치를 통해 전력을 분산하여 관리하게 함으로서 효율적인 면이나 열관리 측면에서 장점이 있기 때문이다. 또한 개발 비용이 계속 증가하고 있음에도 불구하고 인증 모듈의 가격은 지난 몇 년 동안 현저하게 하락하고 있으며, 시장 출시와 같은 다른 문제를 고려할 경우에도 모듈식 컨버터의 이점이 부각될 수 있을 것이다[3].

이러한 이점은 설계적인 측면에서도 나타나게 되는데, 이제는 보편화되어 있는 DC/DC 컨버터 개발도 비교적 쉬운 일인 것처럼 보이나 실상은 그렇지 않다. DC/DC 컨버터를 설계 할 때 아날로그 기술의 특수성은 종종 심각한 문제를 일으킨다. 예를 들어, 회로 상에는 없는 커패시턴스 또는 인덕턴스 성분이 회로에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 또한 변압기의 성능은 선택된 페라이트 재질에 의해 결정될 뿐만 아니라 장치가 작동되는 히스테리시스 루프 범위에 의해 결정되는데, 이로 인해 높은 간섭 수준이 생길 수 있으므로 반복적인 재설계가 발생 할 수 있다. 결과적으로 용량에 따라 새로운 컨버터를 제작하는 등의 개발은 제품의 시장진입에 큰 지연요소가 될 수 있는 것이다[4].

대형 컨버터는 일반적으로 90 % 이상의 효율 수준에서 작동하지만, 부하가 낮은 경우에는 이러한 정격을 훨씬 더 달성하기 어려우며, 그와 같은 높은 효율도 기대하기 어렵다. 따라서 최적화된 DC/DC 컨버터라고 해도 실제 효율은 전력 및 토폴로지에 따라 약 85% 미만이 된다. 이러한 맥락에서 낮은 부하 범위의 효율을 고려하지 않고 전 부하 하에서의 절대 최고 정격만을 보는 것은 비효율적이라고 할 수 있다. 즉, 컨버터는 정격 부하에 가까운 부하로 작동 할 때 가장 큰 효율을 나타내며, 부하가 낮을수록 효율이 떨어지게 된다. 잘 설계된 컨버터는 일관된 고효율을 제공해야하며, 이러한 특성은 특히 중요한 중저 부하 대역에서 일관되게 나타나야 할 것이다[5-6].

이에 본 연구에서는 부하의 크기에 따라 병렬결선이 가능한 소용량의 컨버터를 제작하였다. 이러한 모듈형의 컨버터는 부하의 용량의 크기에 따라 모듈의 수가 결정되는 가변적 시스템의 제작을 가능하게 할 것이다. 개발된 컨버터는 모듈의 병렬결선 시에 각 모듈의 전압차로 인한 역전류현상을 제어하기 위해 프로그램 가능한 가변저항을 사용하였다.

II. 모듈형 컨버터

모듈러 변환기는 소용량의 전력 단위를 이용하여 고용량의 변환기의 제작을 가능하게 하였다. 고효율 애플리케이션에 사용 가능한 모듈러 변환기는 이미 학계 및 산업계에서 큰 관심을 가지고 있다[1-4]. 낮은 열특성, 고품질 파형, 낮은 디바이스 정격, 내결함성, 용량 및 전압 확장성의 측면이 모듈러 변환기의 강점이라고 하겠다. 이 개념은 이미 고전압전력변환 응용에서 이미 널리 활용되고 있으며, 이미 상당한 연구가 DC/DC 변환기 의 토폴로지로 널리 사용되고 있다[7-10].

본 연구에서 제시하는 방법은 기존에 모듈형 컨버터의 출력전압을 제어하기 위한 복잡한 구성없이도 병렬구성을 가능하게 하는 것이다. 그림 1은 모듈형 컨버터의 기본 구성을 나타내며, 출력전압은 샘플되어 1차단의 드라이버의 듀티를 조절하는데 사용되는 일반적인 부귀환 방식의 컨버터 블럭을 나타낸다.

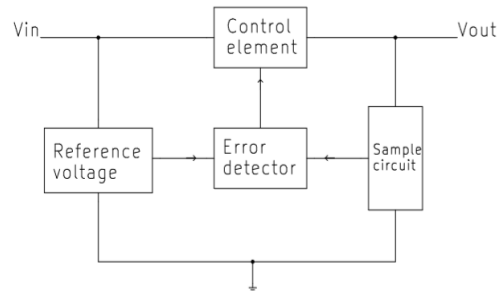


그림 1. 모듈형 DC/DC 컨버터의 블록도
Fig. 1 A block diagram of modular DC/DC converter

본 연구에서는 모듈형 컨버터가 병렬로 결선되는 경우를 위한 컨버터 설계에 한정될 것이다. 컨버터 용량의 증가를 위해 복수개의 모듈형 컨버터를 병렬로 결선하게 되면 각 모듈의 출력전압이 정확하게 일치할 수 없기 때문에 전류의 흐름에 문제가 발생하게 된다. 다시 말해 병렬 결선된 출력에 비해 낮은 출력 전압의 크기를 갖는 모듈에서는 역전류가 발생하거나 부하가 아닌 모듈간의 전류의 교환이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 제어하기 위해서는 복수개의 모듈의 각각의 출력전압을 동일하게 가져가도록 해야 할

필요가 있다. 이를 위해 기존에서는 다양한 형태의 접근을 해 왔으나 그 방식이 지나치게 복잡해서 실용하는 데에 한계가 있었다.

본 연구에서는 그림 1의 샘플링 블록에 전기적으로 프로그램 가능한 저항을 배치하고 출력전류의 상황에 따라 부하의 크기를 조절하여 각 모듈의 출력전압이 동일하도록 가져가는 설계방식을 채택하였다.

그림 2는 풀브리로 운용되는 DC/DC 컨버터의 출력전압을 샘플링하는 회로를 나타낸다. 출력전류는 선트저항 양단의 차에 의해 감지되고 마이컴에서는 감지된 전류의 크기에 따라 출력단의 가변저항을 조절한다. 이 때 가변저항의 크기조절은 마이컴에 내장된 LUT(look up table)에 의해 자동으로 설정된다. 이러한 가변저항으로 analog device사의 AD5246을 사용하였다. AD5246은 I^2C 의 통신 인터페이스를 가지며 $10K\Omega$ 의 저항을 128개로 분할할 수 있는 프로그램 가능한 가변저항이다. 그림 2에서 R2인 AD5246은 TL431의 분할저항의 한 부분을 차지하고 있으며, 마이컴으로 R2의 크기를 조절함으로써 출력 전압을 제어 할 것이다.

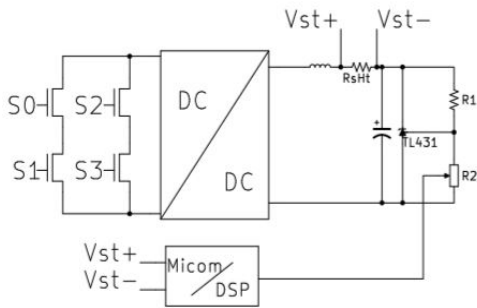


그림 2. 풀브리로 운용되는 DC/DC 컨버터의 출력전압을 샘플링하는 회로

Fig. 2 Full bridge that collects the output voltage of DC/DC converter

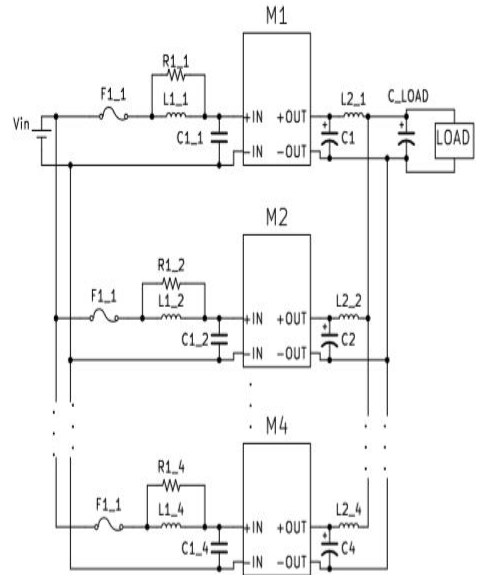


그림 3. 복수개의 모듈에 대한 병렬결선도
Fig. 3 Parallel wiring diagram for multiple modules

그림 3은 복수개의 컨버터 병렬결선을 나타낸다. 그림에서와 같이 복수개의 컨버터는 출력단에서 하나의 커패시터를 공유하도록 설계하였으며, 두개의 모듈은 하나의 선트저항을 공유하고 있다. 만일 두 개의 모듈에서 출력되는 모든 전류가 부하로 흐르지 못하게 되면, 부하로 전달되지 못한 나머지 전류는 두 모듈 간에 흐르게 될 것이다. 이것은 두 모듈 간에 위치한 선트저항에 의해 감지되며, 전류의 방향과 크기에 따라 마이컴은 전류를 보내는 모듈의 AD5246을 제어하여 두 모듈 간에 흐르는 전류가 허용범위 안으로 들어올 때까지 출력전압을 조정할 것이다.

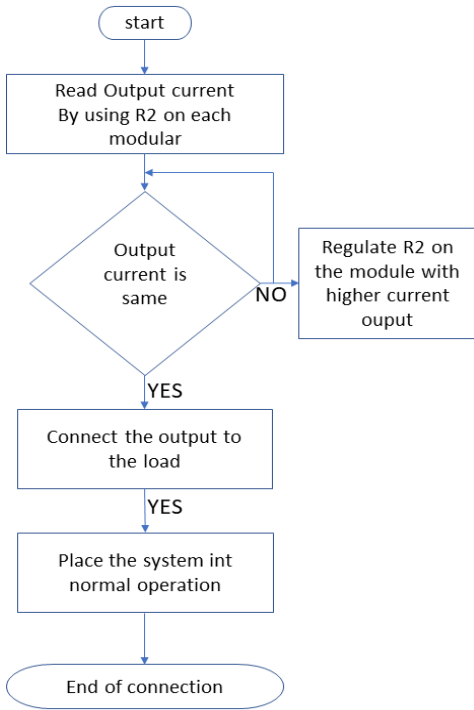


그림 4. 병렬결선 모듈형 시스템의 동작흐름도
Fig. 4 Operation flowchart of parallel-connected modular system

그림 4는 상기의 운용을 가능하게 하는 흐름도를 나타낸다. 만일 모듈이 세 개 이상일 경우에도 위에서 부터 모듈간 전류의 흐름을 조종하여 오차범위 안에 들어오도록 한 후에, 순차적으로 아래의 모듈로 이어 지도록 하였다.

대부분의 시스템은 하나의 전압에서 작동되지만, 새로운 구성 요소가 다른 구성 요소에서 최적화 될 수 있다. 즉, AD5246이 데이터를 전달하는 컨버터의 드라이버에서 사용되는 전압레벨이 AD5246과 다른 경우에는 레벨 쉬프팅 회로가 필요하다. 그림 5는 이러한 경우를 한 사례를 보여준다. 데이터를 수용하는 시스템이 +3V에서 동작하고 AD5246이 +5V에서 동작 한다고 할 때 원활한 데이터의 전송을 위해서 그림 5와 같이 FET소자를 두 개의 버스 상에 직렬로 배치 하여 드레인과 소스간에 전위차를 부여하는 방식으로 레벨 쉬프팅을 하였다.

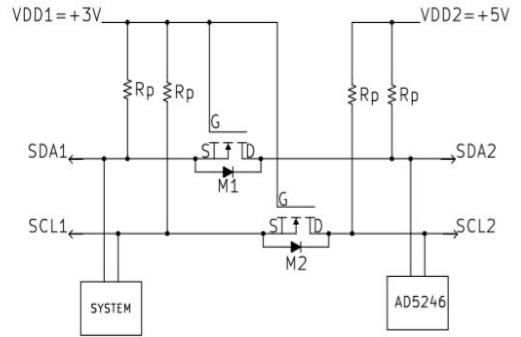


그림 5. AD5246이 전원이 다른 시스템에 데이터를 전달하기 위한 레벨쉬프팅 회로
Fig. 5 AD5246 level shifting circuit for data transfer to other systems with power

III. 실험결과

그림 6은 단일 컨버터의 부하에 대한 효율의 비를 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 부하가 낮을수록 효율은 낮으며 부하가 증가할수록 효율은 증가한다. 본 연구에서 최소한의 정격을 갖는 모듈형 컨버터를 제작하여 병렬로 정격을 증가시켜야 하는 이유가 여기에 있다. 즉 정격이 낮은 모듈형 컨버터는 정격이 큰 컨버터에 비해 경부하에 대해서도 상대적으로 높은 효율을 보일 수 있기 때문이다.

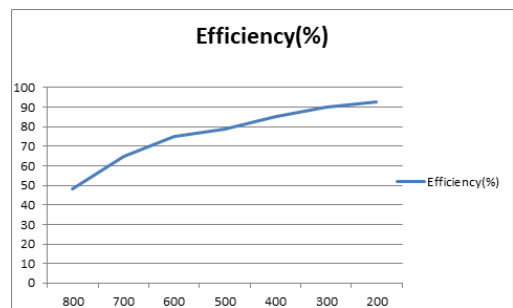


그림 6. 부하에 따른 효율의 변화
Fig. 6 Efficiency change according to load

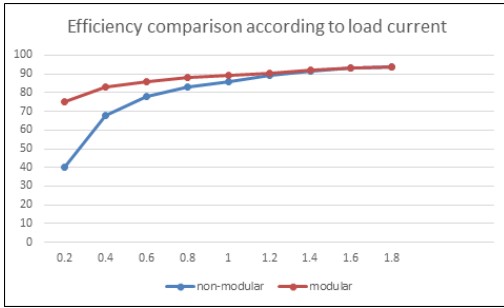


그림 7. 부하전류에 따른 모듈러와 비모듈러의 효율비교

Fig. 7 Efficiency comparison between modular and non-modular according to load current

그림 7은 부하의 크기에 따른 모듈형과 비모듈형 컨버터의 효율의 차이를 나타낸다. 그림 7에서 보는바와 같이 부하의 크기가 낮을 때에는 모듈형과 비모듈형 간에 효율의 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 비모듈형의 경우에 부하의 크기가 컨버터의 용량에 비해 상대적으로 너무 낮아서 낮은 부하에 대해 적절하게 대응하지 못하고 있기 때문이다.

IV. 결 론

모듈형 컨버터의 병렬결선을 가능하도록 하는 방안을 제안하였다. 지금까지 살펴본 바와 같이 프로그램 가능한 저항을 사용하여 병렬결선의 전위차를 줄임으로서 경부하의 경우에 병렬결선을 통해 효율을 높이는 방안이 제안되었다. 실험 결과 경부하의 경우에는 약 32% 정도의 효율에 차이가 나는 것을 확인하였다. 이와 같은 토폴로지의 또 다른 장점은 효율이 부하에 따라 크게 변하지 않는다는 점이다. 즉, 단일형 컨버터에서는 부하에 따라 효율이 크게 차이가 있을 수 있으나 병렬결선을 통한 모듈형의 구성에서는 효율에서 큰 차이가 없기 때문이다. 이러한 효율의 개선은 결국 모듈형 컨버터의 확산에 기여하게 될 것이다.

향후 과제로는 부하의 전류를 감지하고 부하의 전류량에 따라 모듈의 개수를 결정하는 방안이 연구될 것이다.

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

References

- [1] J. Rodriguez, J. S. Lai, and F. Z. Peng, "Multilevel inverters: A survey of topologies controls and applications", *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 49, no. 4, Aug. 2002, pp. 724-738.
- [2] Z. Chen and E. Spooner, "Grid power quality with variable speed wind turbines", *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 16, no. 1, June 2001, pp. 148-154.
- [3] C. Hochgraf and R. H. Lasseter, "Statcom controls for operation with unbalanced voltages", *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 13, no. 2, Apr. 1998, pp. 538-544.
- [4] K. Billings and T. Morey, *Switchmode Power Supply Handbook 3rd ed.*. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [5] Y. Chai, "Design of ZVS DC / DC converter with phase-shifting topology," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 6, Dec. 2018.
- [6] S. Son, Y. Park, and I. Choy, "Four-switch Three-phase inverter control method applied by simplified Space Vector PWM," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 3, Mar. 2016, pp. 283-291.
- [7] Y. Chai and W. Do, "Development of 2KW Power Bidirectional LDC for Electrical Vehicle," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 12, no. 5, Oct. 2017, pp. 845-850.
- [8] K. Lee, "Design and Implementation of a Current Controller for Boost Converters

Using a DSP," *The Korean Institute of Power Electronics*, vol. 17, no. 3, 2012, pp. 259-255.

- [9] Y. Moon, Y. Bae, Y. Park, S. Nho, and K. Cho, "Design of 7 D.O.F Manipulator Cooperation Robot," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 5, no. 1, Feb. 2010, pp. 37-43.
- [10] W. Do and Y. Chai, "Design of DC-DC converter controller implemented with analog memory," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 3, 2015, pp. 357-364.

저자소개



채용웅(Yong-Yoong Chai)

1985년 8월 서강대학교 졸업 (공학사)

1991년 4월 Oklahoma State Univ. 졸업(공학석사)

1994년 12월 Oklahoma State Univ. 졸업(공학박사)
계명대학교 전자공학과 교수

※ 주 관심분야 : DC-DC컨버터