

위상천이 방식의 모듈형 DC/DC 컨버터 설계

채용웅*

Design of Modular DC / DC Converter with Phase-Shifting Topology

Yong-Yoong Chai*

요 약

본 논문은 복수개의 스위칭모드 전원장치를 병렬 결선을 통하여 부하에 보다 큰 전력을 공급가능하게 하는 시스템 설계에 관한 것이다. 이를 위해 정전압조정기의 출력단에 션트저항을 직렬로 배치하고 아두이노를 이용하여 출력단 전압을 감지하고 제어하도록 하였다. 본 논문에서는 실험을 위해 두 개의 정전압조정기를 이용하였으나 그 이상의 보드에 대해서도 일반화가 가능할 것이다. 이와 같은 방식으로 제어되는 시스템을 통해 두 개의 시스템이 부하에 전달되는 전류의 합이 각각의 보드에서 나온 전류의 96%가 부하에 전달되는 것을 확인하였다. 효율의 경우 단위 보드에서의 효율은 92.4% 정도가 나왔으며 병렬결선 시에는 90% 정도가 나왔다.

ABSTRACT

This paper is concerned with a system design that enables a the plurality of switching mode power supplies to be supplied with larger power through a parallel connection. For this purpose, a shunt resistor is placed in series at the output of the constant voltage regulator and the output voltage is sensed and controlled using an arduino. In this paper, two constant-voltage regulators were used for the experiment, but it is possible to generalize for more boards. By using the method that controls the system, the sum of the currents delivered by the two systems to the load was found to be 96% of the current drawn from each board. In case of efficiency, 92.4% efficiency is achieved in the unit board and the efficiency in parallel connection is about 90%.

키워드

Converter, Module, Phase Shift, Arduino, Parallel, Power
컨버터, 모듈, 위상 천이, 아두이노, 병렬, 전력

1. 서론

SMPS(Switched Mode Power Supply)는 각종 전자시스템에 직류나 교류 전원을 안정적으로 공급하기 위한 전원공급장치로 널리 사용되어 왔으며, 지금까지의 SMPS는 부하의 용량에 따라 플라이백, 포워드, 푸쉬풀형, 프리지형 등의 다양한 형태로 개발되었다[1-6].

이와 같이 전원공급장치는 공급되는 전원과 사용 부하에 따라 정격의 A/D 컨버터, D/D 컨버터, 및 D/A 컨버터가 선택적으로 조합되어 사용되었으며, 최근에는 전원공급장치가 사용되는 전자기기에 따라 전력량을 증대시킬 수 있도록 모듈형 컨버터 형태로 구현되기도 하였다. 그러나 지금까지 모듈형으로 구현된 SMPS에서는 두 개 이상의 모듈을 병렬 연결하여

* 교신저자: 계명대학교 전자공학전공
· 접수일 : 2018. 11. 02
· 수정완료일 : 2018. 12. 24
· 게재확정일 : 2019. 02. 15

· Received : Nov. 02, 2018, Revised : Dec. 24, 2018, Accepted : Feb. 15, 2019
· Corresponding Author: Yong-Yoong Chai
· Dept. of Electronic Engineering, Keimyung University
· Email : yychai@kmu.ac.kr

전력을 증가시키고자 하는 경우, 컨버터 양단에 전위차가 있으면 전위가 높은 단자에서 전위가 낮은 단자로 전류가 역류하는 현상이 발생하는 문제가 있었다. 이러한 전류의 역류 현상은 다양한 전자기기의 사용에 대응한 모듈형 전원공급장치의 확산에 저해요인이 되어 왔다[7].

본 논문을 통해 제안되는 모듈형컨버터는 상기와 같은 문제를 해결하기 위해 제안된 것으로서, 모듈형 컨버터에서 두 개의 단자를 병렬 연결하여 전력을 증가시키고자 하는 경우에 발생하는 양단의 전위차를 동 전위가 되도록 병렬 결선 회로를 구성하고, 모듈형 인버터의 양단의 전위차로 인해 전위가 높은 단자에서 낮은 단자로 전류가 역류하는 현상이 방지되면서도 안정적으로 부하에 전력이 공급될 수 있도록 설계되었다.

II. 위상천이 방식의 SMPS

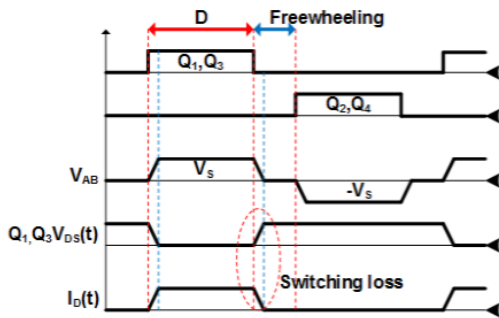


그림 1. 기존 풀브리지 컨버터의 파형
Fig. 1 A waveform of conventional full-bridge converter

기존의 풀브리지 컨버터와 위상천이 풀브리지 컨버터의 기본적인 회로 구성은 같다. 단지 차이점은 기존의 풀브리지 컨버터의 경우 하드 스위칭을 하는 반면 위상천이 풀브리지 컨버터는 소프트 스위칭을 한다는 점이다. 풀브리지 컨버터에서는 풀브리지 상에서 교차하는 두개의 스위치를 동시에 온 오프 시켜줌으로써 1차측에서 2차측으로 전력을 전달하고 스위치가 온 되어 있는 시간을 통하여 출력전압을 제어하는 방식이며 프리휠링 구간을 갖는다. 하드 스위칭의 경우 그림 1과 같이 스위치를 온 오프 하면서 스위치 드레

인-소스 양단에 걸리는 전압과 스위치 드레인에 흐르는 전류가 겹치면서 스위칭 손실을 발생시키며, 이러한 점 때문에 하드 스위칭은 컨버터의 효율을 감소시키는 단점을 가지고 있다.

이러한 하드 스위칭의 단점을 개선하기 위하여 소프트 스위칭 방식 중 하나인 위상천이 스위칭 방식이 제안되었다. 위상천이 스위칭 방식은 그림 2와같이 동작한다[8-9].

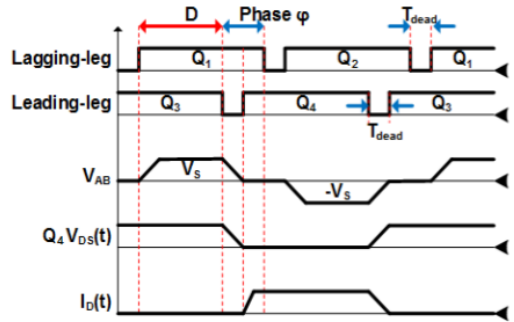


그림 2. 위상천이 토폴로지의 파형
Fig. 2 A waveform of phase shift switching topology

각 스위치는 듀티 0.5로 온 오프되며 리딩 레그 스위치(Leading-leg switch)와 레깅 레그 스위치(Lagging-leg switch)에 위상차를 줌으로써 1차측에서 2차측으로 전력을 전달하고 위상차를 조절하여 출력전압을 제어하는 방식이다. 소프트 스위칭의 경우 스위치를 온 시켜주기 전에 모스펫의 드레인 소스 양단에 걸리는 전압을 영전압으로 만든 후 스위치를 온 시켜 줌으로써 하드 스위칭에서 발생하던 스위치 드레인 소스 양단 전압과 스위치 드레인의 전류가 겹치면서 발생하던 스위칭 손실이 이론적으로는 0이 된다 [10].

이와 같이 위상천이 방식의 컨버터에서는 부하에 전달되는 전력량을 주파수나 전압의 크기를 통해서가 아니라 위상의 변화를 주어 제어할 수 있다. 따라서 위상천이 방식의 드라이버는 출력전압의 크기에 따라 풀브리지의 모스펫에 전달되는 신호에 위상차를 부여함으로써 트랜스를 거친 이차단의 전력량을 조절할 수 있다.

III. 모듈형 컨버터

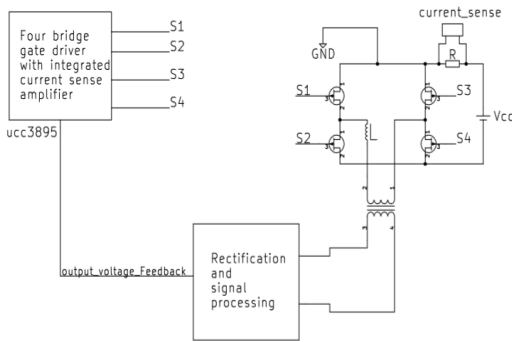


그림 3. DC/DC 컨버터 모듈의 블록도
Fig. 3 A block diagram of DC/DC converter modue

그림 3은 컨버터모듈의 블록도를 나타낸다. 그림에서와 같이 입력으로 DC전원이 인가되고 위상천이 토폴로지의 드라이버가 풀브리지 컨버터를 제어한다. 트랜스포머를 거친 2차단에서는 스위칭된 전압을 정류하여 고전압(360Vdc)을 만든다.

상기의 모듈을 복수개를 연결하여 출력단에 복수개 만큼의 전류가 전달되게 하였다. 예를 들어 두 개의 보드를 병렬 연결하여 부하에 두배의 전류를 보내려 한다고 가정하자.

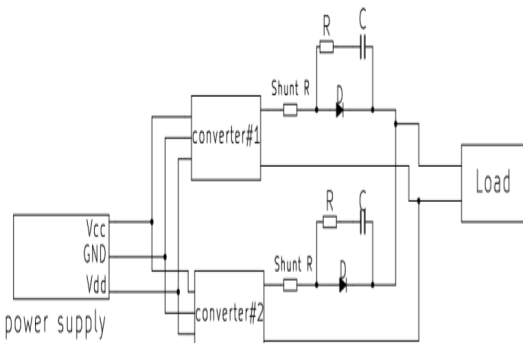


그림 4. 두 개의 모듈의 병렬결선
Fig. 4. A parallel connection of two modules

그림 4는 이와 같은 상황을 보여주는 블록도를 나타낸다. 블록도에서 다이오드는 병렬연결 시에 출력단의 전압은 각각의 보드의 출력에 비해 낮은 전압이 출력되어 역전류가 흐르는 것을 방지하기 위해 배치

되었으며, 저항과 커패시터는 스너버 기능의 회로이다.

그림 4와 같이 모듈러 컨버터의 출력은 선트저항과 다이오드를 거쳐 부하에 전력을 전달하게 된다. 이 때 양단의 출력은 병렬결선을 하며, 이로 인해 결국 두 모듈의 출력전압이 동일하게 한다.

이러한 병렬결선의 상황에서 한쪽의 전위가 병렬결선의 출력에 비해 낮아지게 되면 낮은 쪽에서는 부하 방향으로 전류가 흐르지 않게 된다. 선트저항을 통해 아두이노에서는 이를 감지하고 위상제어를 통해 두 개의 전압이 동일하게 되도록 구동될 것이다. 이 때 위상을 변화시켜야 하는 것은 전압이 낮은 모듈이 아니라 높은 전압을 출력하는 모듈이 되어야 할 것이다. 그 이유는 현재 두 개의 각기 다른 모듈이 동작하는 위상은 최대로 전력을 내보내도록 하는 위상으로 설정되어 있기 때문이다. 따라서 위상제어를 통해 전압을 제어하는 것은 낮은 것을 높이는 것이 아니라 높은 전압을 낮추는 방향으로 제어가 되어야 할 것이다.

예를 들어 블록도에서 보드#1의 출력이 보드#2에 비해 출력전압이 낮아서 보드#1의 출력전류가 부하로 제대로 전달되지 못하고 있다고 가정하자. 이 때 아두이노에서는 두 보드의 출력차를 감지하여 보드#2의 위상을 제어하여 출력전압이 낮아지도록 한다. 이러한 동작은 두 개의 보드의 출력이 같아 질 때까지 지속될 것이다.

컨버터에서 사용한 위상천이 토폴로지 드라이버는 TI:(Texas Instrument)사의 ucc3895이다. ucc3895는 ADS(핀 11번)을 통해 컨버터의 트랜스포머 두 레그 내에서 스위치 간 지연 시간 변조 기능을 갖는다. 지연 시간 변조는 V_{ADS} 를 설정하기 위해 ADS와 CS (핀 12번) 간을 저항 분배기로 연결하여 V_{ADS} 를 설정함으로써 구현된다.

ADS가 CS와 접지 사이에서 저항 분배기에 의해 연결되면 $V_{CS} - V_{ADS}$ 가 더 작아지고 V_{ADS} 이 감소하며 지연 변조폭을 감소시킨다. ADS가 CS에 직접 연결되면 $V_{ADS} = 0.5V$ 이 되며 지연 변조가 발생하지 않는다.

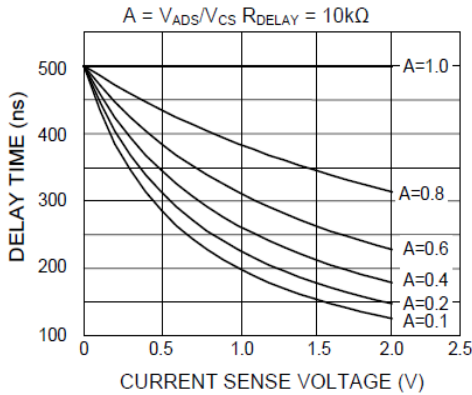


그림 5 전류센스 전압과 지연시간간의 비
Fig. 5 Ratio between voltage of current sensor and delay time

그림 5)는 ucc3895의 지연을 설정하는 V_{ADS} 에 대한 지연 시간 대 부하간의 관계를 보여준다. 그림에서 A는 식(1)을 나타낸다.

$$A = V_{ADS} / V_{CS} \quad (1)$$

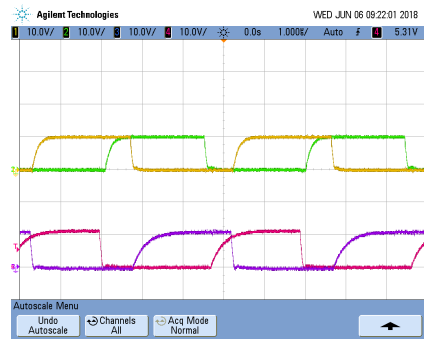
그림으로부터 $V_{ADS} = V_{CS}$ 이면 위상지연변조는 없으며 그 비가 크면 클수록 위상변조가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

이와 같은 드라이버의 지연시간 특성을 이용하여 병렬 결선 시에 두 모듈간의 전위차를 보상하였다. 따라서 앞에서 본 사례에서 각 모듈의 출력단자에 있는 센서를 이용하여 출력전압을 감지한 아두이노는 두 모듈간의 전위차를 상쇄하기 위해 이에 부합되는 V_{ADS} 를 출력한다. 이와 같은 방식으로 두 단자의 출력이 동일하도록 높은 전압이 나오는 출력단의 모듈의 위상을 제어하여 출력전압을 낮추는 것이다.

III. 시험결과



(a)



(b)

그림 6. 출력전압의 크기에 따른 MOSFET 게이트단자의 위상변화를 나타내는 파형[9]
Fig. 6 Waveform at MOSFET's gate according to the output voltage

그림 6은 ucc3895의 제어기에서 나온 폴브리지를 구동하는 모스펫에 인가되는 신호의 변화를 나타낸다. 그림 6(a)와 (b)에서 보는 바와 같이 V_{ADS} 에 의해 위상이 변화되는 것을 알 수 있다.

그림 7은 각각의 모듈에서 나온 출력전류와 병렬결선을 통해 부하로 들어가는 출력전류 파형을 나타낸다. 그림 7에서 아래의 두 선은 보드#1과 보드#2의 출력전류의 크기를 나타내며 상위의 두 개의 선은 보드 #1과 보드#2의 전류를 합한 크기와 실제로 병렬 연결시에 나온 출력전류의 크기를 나타낸다. 그림에서 x 축은 부하의 출력전압을 나타낸다. 출력파형의 결과로부터 두 개의 보드의 전류를 합한 것의 약 96%정도가 출력 부하로 들어가는 것이 확인되었다.

1) <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ucc3895.pdf>

V. 결 론

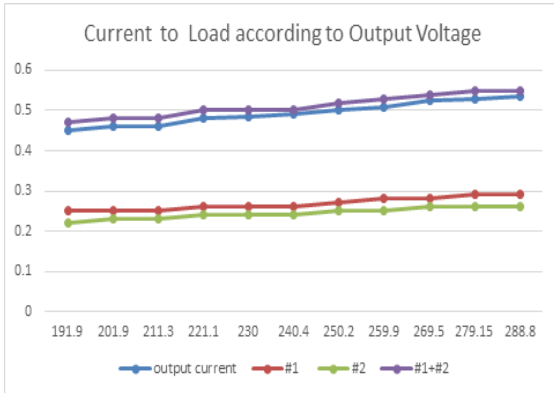


그림 7. 두 개의 각각의 모듈에서 나오는 출력전류의 합과 병렬 결선 시의 출력전류 크기 비교

Fig. 7 Comparison of output current between the sum of the output current from each module and the output current in parallel connection

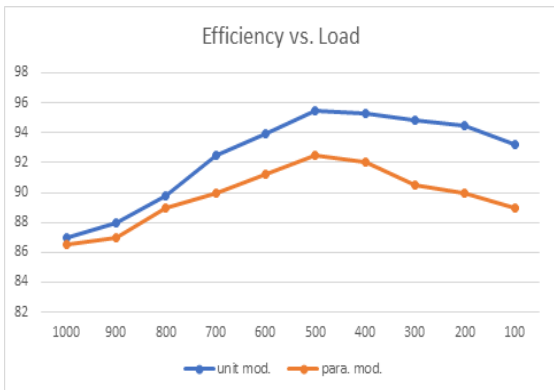


그림 8. 단일 보드와 멀티보드 간의 효율 비교
Fig. 8. Comparison of efficiency between single and multi board

그림 8은 하나의 보드 효율과 두 개의 보드를 병렬로 결선했을 경우의 효율을 나타낸다. 그림에서 x축은 컨버터의 부하의 크기를 나타내며 y축은 효율을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 효율은 병렬결선으로 인해 다소 떨어지는 것으로 볼 수 있다.

본 논문을 통하여 위상천이 방식의 DC/DC컨버터를 모듈화하여 병렬접속을 통해 컨버터의 정격을 증가시킬 수 있는 방안을 제안하였다. 본 고에서는 두 개의 모듈을 통해 병렬접속이 이루어지는 것을 보았으나 모듈의 숫자는 일반화가 가능할 것이다.

출력단자를 부하에 대해 병렬로 결선 했을 때 부하에서의 출력 전압의 변화에 따른 각 보드에서의 전류의 크기와 각 보드의 전류가 합쳐져서 부하로 흐르는 전류의 크기를 관찰하였다. 그 결과 두 개의 보드에서 나오는 전류의 합이 부하로 약 96%가 전달되고 효율은 평균 약 90% 정도가 되는 것으로 확인되었다.

이와 같이 모듈화된 컨버터를 이용하여 컨버터의 정격출력을 향상시키는 방식은 향후 컨버터 시장에서 시장진입을 용이하게 하고 금형 등으로 인한 비용손실을 최소화하는데 기여할 수 있을 것이다.

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2017년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0563714)의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

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] 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.
- [3] 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.
- [4] Y. Chai and W. Do, "Development of a Programmable Multi-Output Adapter," *J. of*

- the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 10, no. 6, June: 2015, pp. 699-706.
- [5] 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.
- [6] K. Billings and T. Morey, *Switchmode Power Supply Handbook 3rd ed.*, New York: McGraw-Hill, 2011.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Y. Chai, "Design and Implementation of PRA for a Power Supply of Electrical Vehicle," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 7, July 2016, pp. 653-658.
- [10] Y. Chai, "Development of 500W inverter with pure sine wave output," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 1, Jan. 2016, pp. 61-68.

저자소개



채용응(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