

단일 PWM으로 임의의 개수의 출력제어가 가능한 다출력 전력 변환 회로

박종후, 최규식, 조보형

서울대학교 공과대학 전기컴퓨터공학부 전력전자시스템 연구실

The Single PWM Multi-output Converter with an Arbitrary Number of Output Regulation

Joung-Hu Park, Kyusik Choi, and Bo-Hyung Cho

School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

Abstract - 기존에 사용되고 있는 다중출력 전력변환장치 제어에는 크게 크로스 레귤레이션 방식과 포스트 레귤레이션 방식이 있다. 크로스 레귤레이션의 경우 부품수를 최소화하여 가격 및 사이즈를 절감할 수 있으나, 개별 출력들을 독립적으로 제어하는 정밀한 출력제어는 불가능하다. 포스트 레귤레이션의 경우 정밀한 제어는 가능하나, 여분의 제어스위치를 사용함으로써 효율이 감소하고, 가격이 올라가는 단점이 있다. 본 논문에서는 2개 이상의 다중 출력을, 단일 스위치 혹은 단일 스위치쌍으로 제어함으로써 이러한 문제점을 해결하고, 궁극적으로 최소의 비용으로 최대의 제어효과를 얻기 위한 단일 PWM 스위칭단을 이용한 다중출력 전력변환회로를 제안하고자 한다. 본 논문에서는 제안된 다중출력 제어 방식의 원리를 설명하고, 다출력 절연형 하프브리지 직류변환기 하드웨어를 제작함으로써 제안된 방식의 가능성을 실험으로 검증하였다.

1. 서 론

최근 다양하고 강력한 기능을 가지는 전기기기가 등장함에 따라, 단일기기 안에 다양한 전압레벨 혹은 전류레벨을 요구하는 경향이 나타나고 있다. 이러한 요구를 만족시키고 동시에 저가격, 소형화라는 업계의 요구사항을 충족하기 위해서는 다양한 전원회로를 하나로 통합하는 다중출력 전력변환구조에 대한 연구가 활발해지고 있다. 기존에 사용되고 있는 다중 출력 전력변환 방식에는 그림 1에 나와 있는 것과 같은 가중치 제어 방식과 그림 2에 나와 있는 것과 같은 포스트 레귤레이션 방식이 있다[1-7].

가중치 제어 방식은 각 출력에 가중치를 부여하여 제어하는 방식으로, 제어변수가 하나뿐이므로 크로스 레귤레이션 방식과 같이 정밀한 출력 제어가 어려우며, 입출력 변동에 대응하는 레귤레이션 성능이 떨어진다. 이에 반하여, 포스트 레귤레이션의 경우에는 여분의 레귤레이터가 들어감으로써 출력을 제어하는 방식으로, 정밀한 출력 제어가 가능하지만 추가적인 회로가 들어가게 됨으로써 효율이 감소하고 가격이 올라가는 단점이 존재한다.

이러한 기존 회로의 문제점을 개선하고자 새로운 다중출력 전력변환 회로를 제안한다. 본 회로는 다양한 주파수 성분을 중첩시켜 단일 PWM 신호에 실어줌으로써, 각각의 출력부에서 해당되는 주파수 성분을 필터링하여 부하에 전달하게 된다. 이렇게 함으로써 단일 전력용 스위치(혹은 스위치쌍)으로 임의의 개수의 다출력을 독립적으로 제어가능하며, 궁극적으로 최소의 비용으로 최대의 제어효과를 얻게 된다.

본 논문에서는 이러한 다출력 전원회로의 원리를 소개하고, 하드웨어 제작 및 실험을 통하여 본 회로를 검증하고자 한다.

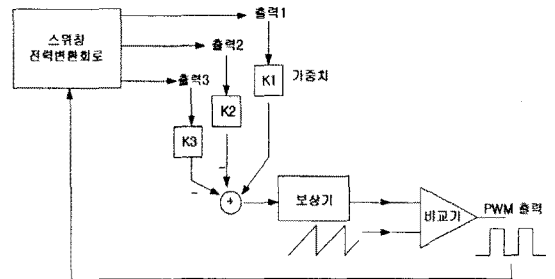


그림 1. 기존의 다출력 제어방식: 가중치 제어방식

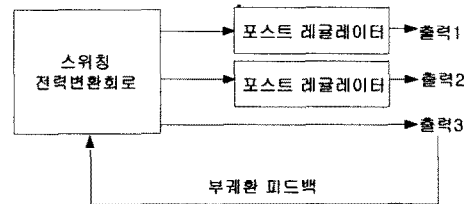


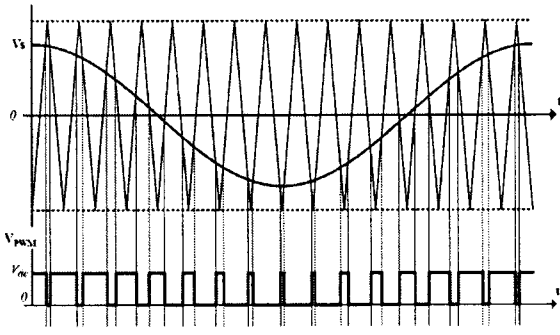
그림 2. 기존의 다출력 제어방식: 포스트 레귤레이터 제어방식

2. 제안된 방식의 원리 및 시스템 구성

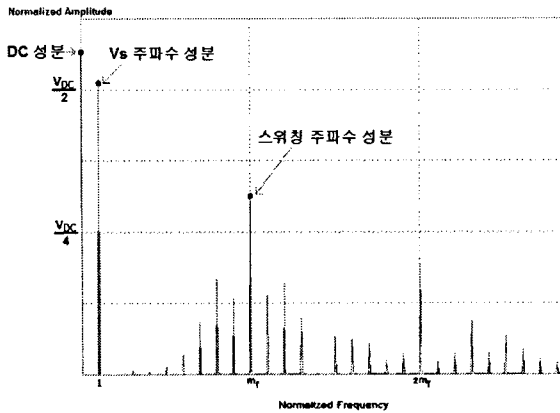
2.1 제안된 방식

제안된 회로는 정현파를 이용하여 펄스폭 제어신호를 발생시키는 정현파 펄스폭 변조회로(SPWM)를 이용한다. 그림 3(a)에 삼각파와 정현파 및 펄스폭 변조파형을 나타내었다. 변조된 파형의 주파수 성분은 그림 3(b)와 같이 주로 DC 성분과 정현파 V_s 의 주파수 성분 및 스위칭 주파수 성분으로 구성된다 (단, $m_f = f_{sw}/f_s$, f_{sw} = 스위칭 주파수, f_s = V_s 의 주파수). 이를 통해서, 서로 다른 주파수의 정현파(V_{s1} , V_{s2} , 등)를 중첩시켜 변조시키면 변조파형에 V_s 의 각각의 주파수 성분이 포함될 것을 예상할 수 있다.

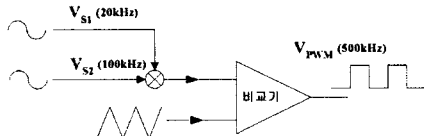
그림 4에 중첩된 SPWM 파형을 생성시키는 원리와 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 20kHz 파형과 100kHz 정현파를 중첩시킨 후, 500kHz 삼각파와 비교하여 변조파형을 생성하는 시뮬레이션을 수행하였다 (그림 4(a)). 중첩된 신호와 변조신호의 시간 영역 및 주파수 영역에서의 파형은 그림 4(b) 및 4(c)와 같다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 변조된 SPWM 신호에 지령치 성분(V_{s1} , V_{s2})인 20kHz와 100kHz 성분이 실려 있는 것을 확인할 수 있다.



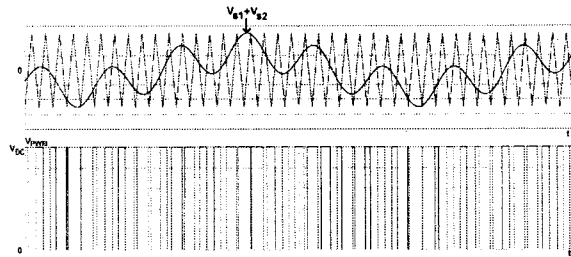
(a) 단상 펄스폭 변조를 위한 삼각파 및 변조파형



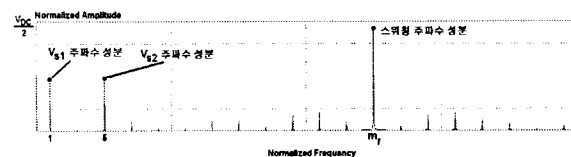
(b) 정현파 변조파형의 주파수 영역 성분분석
그림 3. 정현파 펄스폭 변조신호의 주파수 성분



(a) 정현파 중첩 펄스폭 변조파형의 생성원리



(b) 중첩신호와 변조신호의 시간영역 파형



(c) 펄스폭 변조 파형의 주파수 성분

그림 4. 두 개의 정현파를 중첩시킨 펄스폭 변조파형의 주파수 성분분석

2.2 밴드패스 필터링

위와 같은 방법으로 변조된 PWM 신호를 밴드 패스 필터링을 통하여 각각의 출력으로 전달하게 된다. 그림 5를 보면 지령치 성분 및 스위칭 성분에 대하여, 전력변환기 각각의 출력에서 필요한 주파수 성분만을 통과시켜 출력으로 나오게 된다. 밴드패스 필터는 일반적으로 인덕터(L)와 커패시터(C)의 직병렬로 구성할 수 있지만, 압전소자나 기타 전력전달용 필터도 사용가능하다. LC 필터 설계시 필요한 정보는 Q값과 주파수이므로, 부하변동 및 입력 변동을 고려하여야 한다. 부하 변동이 심한 경우 LLC 필터를 사용할 수도 있다. 이렇게 통과된 AC 출력을 직접 부하에 전달하면 인버터로 사용될 수 있고, 정류 및 저역통과 필터를 거치면 DC출력 컨버터가 된다.

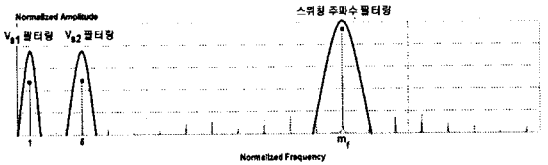


그림 5. 각각의 주파수 성분별로 출력에 전달하기 위한 밴드패스 필터링

2.3 제안된 다출력 회로의 전체구성

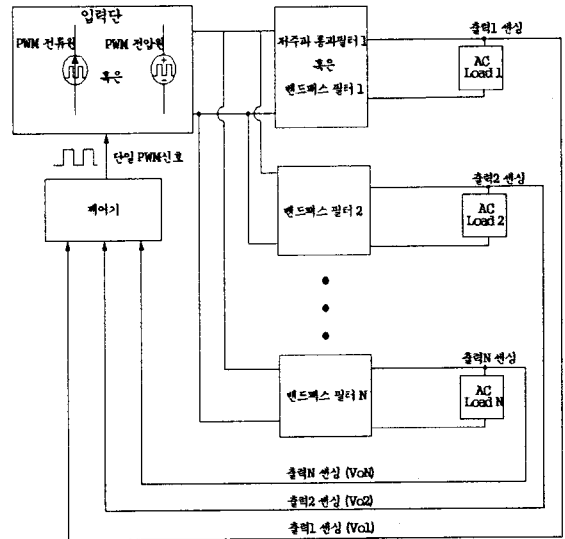


그림 6. 정현파 신호를 중첩시켜 변조파형을 생성시키는 단일 PWM 신호를 이용한 다출력 회로 구성

제안된 다출력 회로의 전체 구성을 살펴보면 그림 6과 같다. 제어기에서 나오는 PWM 신호를 전류원 혹은 전압원을 이용하여 전력증폭하고, 이를 필터링하여 각 출력에 제공하는 다출력 인버터 회로이다. 각각의 출력은 레귤레이션을 위하여 피드백으로 제어기에 전달된다. 제어기의 구성은 아래와 같다.

2.4 제어부

각각의 출력 성분을 일정하게 제어하기 위해서는 피드백을 통한 제어루프가 필요하다. 제어방식은 크게 주파수 제어와 변조 지수 (Modulation Index)제어로 나뉜다. 주파수 제어는 지령치 신호의 주파수를 변동함으로써 밴드패스 필터의 전달이득차를 이용하여 출력을 조정한다. 이와 달리, 변조 지수 제어는 지령치의 진폭을 변화시킴으로써 변조신호의 지령치 주파수 성분량을 조절하여 출

력을 조정한다. 이론적으로는 변조지수에 정비례한 출력 값이 나오게 된다. 이와 같은 두 가지 제어 방식 중에서 적절히 선정하여 제어기를 구성한다. 그 중에서 주파수 제어와 진폭변조 제어를 혼합한 예를 그림 7에 나타내었다. 다중출력 제어를 위해서 복수의 피드백 루프가 존재하며, 보상기 출력은 비교기 입력단에서 중첩되어 최종적으로 하나의 PWM 신호가 생성되고 이는 전력 증폭 단으로 전달된다.

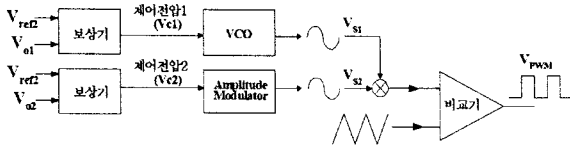


그림 7. 각각의 출력을 독립적으로 제어하기 위한 피드백 루프 제어기 구성

3. 실험 결과

제한한 정현파 중첩식 펄스폭 변조방식을 적용하여 다중출력 직류변환 컨버터를 제작하였다 (그림 8). 컨버터는 3개의 직류출력을 가지며, 멀티 권선형 변압기를 통하여 절연되어 있고, 출력부 1, 2, 3의 밴드패스 필터링 주파수는 각각 175kHz, 35kHz, 7kHz이다 (단, 스위칭 주파수(f_{sw})는 200kHz). 출력부1은 스위칭 주파수 부근의 주파수 제어를 통하여 출력값이 조절되며, 출력부 2와 3은 중첩된 정현파 신호(V_{c2} , V_{c3})의 진폭에 의한 변조지수 조절로 제어된다.

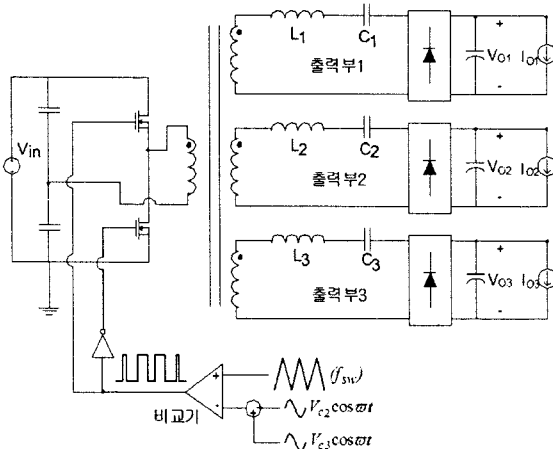
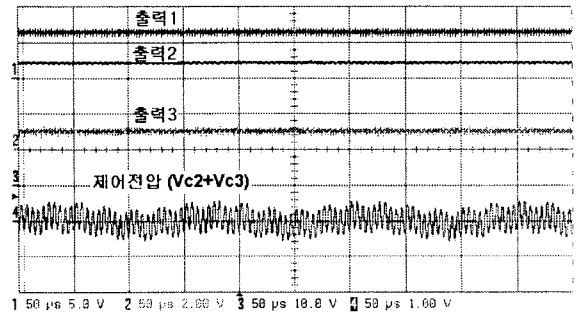


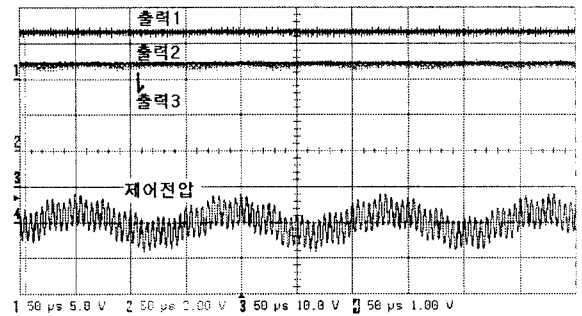
그림 8. 3개의 다중출력 제어를 위한 절연형 하프브리지 직류-직류 변환기

변조지수 조절에 의한 출력전압 제어의 실험 결과를 그림 9에 나타내었다. 제어전압의 변조지수를 각각 0.1과 0.4로 변화시켰을 때, 세 출력전압의 파형을 본 것이다. 그림 9(a)를 보면, 출력2와 3을 위한 변조지수가 모두 0.1로 낮으므로, 두 출력 전압은 그라운드 부근으로 낮은 것을 알 수 있다. 그러나, 그림 9(b)를 보면, 출력 3을 위한 변조지수가 0.4로 증가하므로, 제어전압의 7kHz 성분의 진폭이 커지게 되면서, 출력 3의 전압이 5V부근으로 상승한 것을 확인할 수 있다. 이 때, 출력 1과 출력 2의 전압은 변동하지 않는다. 마찬가지로, 출력 2를 위한 변조지수를 0.4로 하면, 그림 9(c)와 같이 제어전압의 35kHz 성분이 증가하며, 출력 2의 전압이 5V부근으로 이동하고, 나머지 출력은 변동하지 않는 것을 알 수 있다. 끝으로, 출력 2, 3의 변조지수를 모두 0.4로 하게 되면, 출력 2, 3 모두 상승하며, 출력 1의 전압만 그대로 유지가 되는 것을 확인하였다. 따라서, 중첩된 제어신호

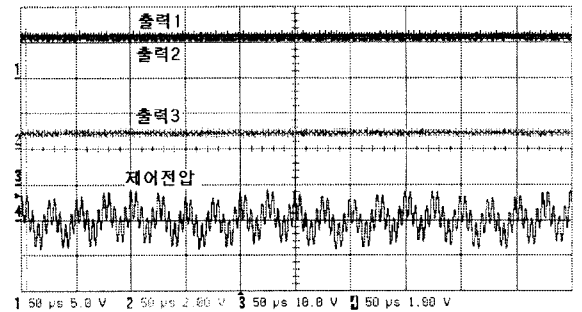
의 각각의 주파수 성분들은 독립적인 제어변수로 생각할 수 있고, 이러한 제어변수를 통하여 복수 개의 피드백 제어가 가능해진다. 제안된 컨버터는 밴드패스 필터에 의한 순환에너지를 이용하여 전력단 스위치의 소프트 스위칭이 가능하며, 이를 통하여 스위칭 손실을 없애고, 궁극적으로 고효율 고주파 스위칭을 가능하게 한다.



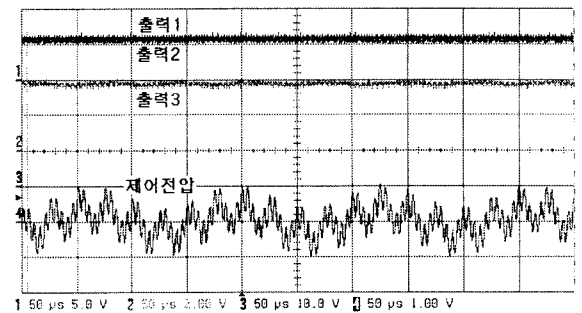
(a) 변조지수(출력2=0.1, 출력3=0.1)의 파형



(b) 변조지수(출력2=0.1, 출력3=0.4)의 파형



(c) 변조지수(출력2=0.4, 출력3=0.1)의 파형



(d) 변조지수(출력2=0.4, 출력3=0.4)의 파형

그림 9. 제안된 다중출력 컨버터의 주요 실험 파형 (파형1: 출력2, 파형2: 출력3, 파형3: 출력1, 파형4: 제어전압)

4. 결 론

본 논문은 단일 펄스폭변조 신호만으로 두 개 이상의 출력을 정밀하게 제어하는 새로운 다중출력 전력변환회로를 제안하였다. 본 회로는 다양한 주파수의 정현파 지령치들을 중첩시켜 펄스폭변조 신호를 생성하며 이를 각 출력에서 특정 주파수 성분만을 밴드패스 필터링하여 출력시킨다. 출력을 제어하는 방식은 지령치 신호의 진폭을 조절하는 변조 지수 제어와 주파수를 조절하는 주파수 제어가 모두 가능하다. 이러한 방식은 단일 PWM 생성단으로 충분하므로 회로가 단순해지고, 가격적으로 유리하면서도, 각각의 출력이 독립적으로 제어가 가능함으로 정밀한 제어가 가능해진다. 본 논문에서는 제안된 다출력 제어방식의 원리를 설명하고, 세 개의 출력을 가지는 절연형 하프브리지 직류변환기를 제작 및 실험함으로써 제안된 방식의 타당성을 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강성인, 김주훈, 김은수, 박준호, 이현관, 허동영, “다 출력 LLC 직렬 공진 컨버터”, 추계 전력전자 학술대회, pp. 29-32, 2008.
- [2] Kim, E. -H. Lee, J. -J. Kwon, J. -M. Choi, W. -Y. Kwon, B. -H., “Asymmetrical PWM half-bridge convertor with independently regulated multiple outputs”, Electric Power Applications, IEE Proceedings, Volume: 153, Issue: 1, p p. 14-22, Jan. 2006.
- [3] 현병철, 조보형, “The study of the asymmetrical half-bridge converter with magnetic coupled post regulator”, 전력 전자학회, pp. 121-123, 2007. 11.
- [4] 김성민, 차영길, 김홍근, “PC 전원용 다중출력 포워드 컨버터의 가중치 전압 모드 제어”, 전력전자학회 2000년 학술대 회논문집, pp. 501-504, 2000. 7.
- [5] 김희준, “다출력 전류환류형 DC-DC 컨버터의 정상특성”, 전자공학회논문지, 제25권 5호, pp. 536-541, May 1988.
- [6] Chong-Eun Kim, Ki-Burn Park, Gun-Woo Moon, and Jun-Young Lee, “New Multi-output LLC Resonant Converter for High Efficiency and Low Cost PDP Power Module”, PESC, pp. 1-7, June 2006.
- [7] 조상호, 신용생, 윤종규, 한상규, 노정욱, 홍성수, 김종해, 이효범, “독립된 다중출력을 위한 영전류 스위칭 LLC 공진형 Post-Regulator”, 전력전자 학술대회 논문집, pp. 481-483, 2008.