

병렬 DC-DC 컨버터의 전류 맥동 저감을 위한 선택적 위상 제어 방법

***백승우, *김학원, **채수용
*한국교통대학교, **한국에너지기술연구원

Selective Phase Control Method of Parallel DC-DC Converter to Reduce the Ripple Current

***Seung Woo Baek, *Hag Wone Kim, **Su yong Chae
*Korea National University of Transportation, **Korea Institute of Energy Research

ABSTRACT

본 논문은 병렬로 운전되는 컨버터의 출력 전류 맥동을 감소시키기 위한 선택적 위상 지연 구동 방법을 제안한다. 병렬로 운전되는 컨버터는 부하의 크기 및 운전하는 컨버터의 개수에 따라 그 효율이 달라지므로, 기동되는 컨버터의 개수를 가변하여 운전하는 것이 효율적이다. 또한 전류의 맥동을 저감하기 위해서 일정한 위상 차이를 가지도록 제어하는 인터리브드 운전 기법이 널리 사용되고 있다. 따라서 병렬 운전되는 컨버터의 출력전류 맥동을 저감시키기 위해, 운전되는 컨버터의 개수에 따라 위상 간격을 조정해야 할 필요성이 있다. 본 논문에서는 구동되는 컨버터의 개수에 따라 위상 간격을 제어하여 출력 전류의 맥동을 저감하는 기법을 제안하며, 실험을 통해 제안된 알고리즘을 검증한다.

1. 서 론

최근 산업 전반의 모든 분야가 전산화됨에 따라 시스템 전원의 안정에 대한 요구가 급증하고 있을 뿐 아니라 필요 전력량 또한 증가하고 있다. 대전력 시스템을 구성하는 방법은 크게 두 가지 측면에서 접근할 수 있다. 하나는 대용량 단일 모듈을 통한 전원 공급 방식, 다른 하나는 소용량 전원장치들의 병렬연결을 통한 전원 공급 방식이 있다.

단일 모듈을 이용한 전원 공급방식을 적용할 경우 시스템 구성이 단순하며, 제어 회로를 비교적 쉽게 구성할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 고장에 대한 신뢰성 및 용량 가변성 측면에서 단점이 존재하게 된다. 복수의 병렬 모듈을 이용하는 전원 공급방식은 시스템 운전 신뢰성의 향상되며, 전력처리 용량 변화에 능동적 대응이 가능한 장점이 있다. 병렬 운전의 경우 전체 시스템 효율 향상과 안정성 확보를 위해 전체 회로의 특성을 고려한 제어회로의 구성이 필요하다.

그림 1은 병렬 컨버터의 구동 개수에 따른 효율 특성 곡선을 나타낸다. 경 부하 구간에서는 입력전력 대비 큰 스위칭 손실을 가지게 되므로 효율이 저하되며, 부하가 증가할수록 스위칭 손실의 비율은 감소하게 되어 컨버터의 효율은 증가하게 된다. 따라서 병렬 컨버터는 부하의 구간에 따라 구동하는 컨버터의 개수를 가변 하여 효율을 극대화 시키는 것이 일반적인 운전 방법이다.

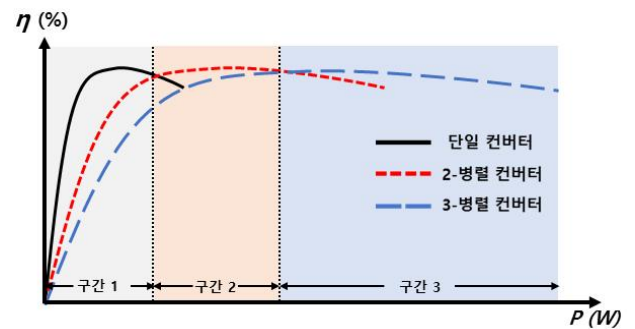


그림 1 병렬 컨버터의 구동 개수에 따른 효율 곡선

뿐만 아니라, 스위칭 전원장치를 병렬로 연결할 경우 전류 맥동을 줄이기 위해 각 컨버터가 동일한 위상 간격을 가지도록 운전하는 인터리브드 운전 기법이 널리 사용되고 있다. 인터리브드 운전 기법은 시비율 생성 시 사용되는 삼각파를 각 컨버터마다 일정한 위상 차이를 가지도록 하여 구현된다. 따라서 구동중인 컨버터의 위상 지연 정도를 변경할 때, 기존의 시비율을 유지하기 위해서, 위상 변화 시 제어기의 변화를 파악하고 적절한 보상이 필요하다.^[1]

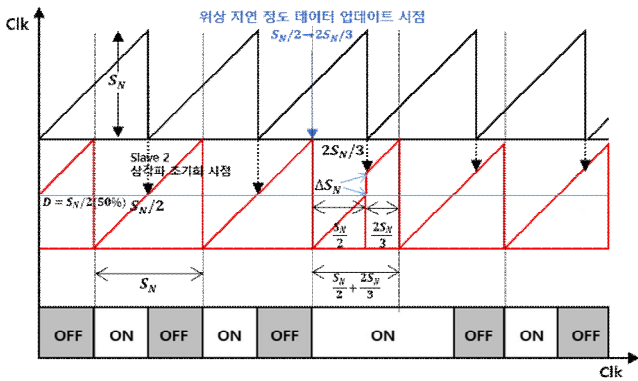
본 논문에서는 부하의 구간에 따라 구동되는 컨버터의 개수를 가변하며, 기동 모듈의 개수 및 위상 지연 정도 변경 시 과도 구간에 대해 분석하고, 모든 컨버터가 항상 동일한 위상 차이를 가질 수 있도록 제어하는 알고리즘을 제안한다.

2. 본 론

2.1 제안하는 컨버터의 운전 기법

병렬 컨버터는 1대의 마스터(Master) 모듈과 하위 N개의 슬레이브(Slave) 모듈로 구성된다. 마스터 모듈은 전압 제어 및 전류 제어를 수행하며, 출력 전력 계측을 통해 슬레이브 모듈의 운전 상태를 결정한다. 슬레이브 모듈은 마스터 모듈에서 전류 제어 기준 값과 위상 지연 정도를 부여받아 기동한다.

인터리브드 운전을 위한 삼각파는 마스터 모듈의 삼각파를 기준으로 설정한다. 슬레이브 모듈은 마스터 모듈 삼각파의 0 지점에서 각기 설정한 값으로 초기화되며, 최대치(S_N)가 되면 0으로 초기화된다.



2.2 위상 지연량 보상 제어 방법

그림 2는 마스터모듈의 삼각파와 180°의 위상차를 가진 슬레이브 모듈 1의 운전 중, 슬레이브 모듈 1의 위상차를 120°로 변경 시 삼각파를 나타낸다. T_c 시점에서 슬레이브 모듈 1에 대한 위상 지연 정도를 $S_N/2(180^\circ)$ 에서 $2S_N/3(240^\circ)$ 으로 변경하고, 이는 다음번 마스터 모듈 삼각파의 0 지점에서 모듈 1의 삼각파를 $2S_N/3$ 으로 초기화 한다. 따라서 슬레이브 모듈 1의 삼각파의 크기가 ΔS_N 만큼 순간적으로 증가하는 비선형적인 변동이 발생하게 되며, ΔS_N 은 위상 변동량과 같으므로 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta S_N = S_N/2 - 2S_N/3 \quad (1)$$

위상 변동 명령은 삼각파를 비선형적으로 만들기 때문에, MCU 내부적으로 게이트 출력을 위한 올바른 연산이 될 수 없게 된다. 따라서 삼각파의 변화를 예측하여 시비율을 적절하게 보상해야 한다.

보상기는 기존 시비율과 위상 변동량의 관계에 따라 다음 두 가지 경우로 나누어지게 된다.

$$D^* = \begin{cases} \left(\frac{S_N}{2} + \frac{2S_N}{3}\right)D, & D \leq \frac{S_N/2}{S_N/2 + 2S_N/3} \\ \left(\frac{S_N}{2} + \frac{2S_N}{3}\right)D + \Delta S_N, & D > \frac{S_N/2}{S_N/2 + 2S_N/3} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 D 는 시비율, D^* 는 위상 변동량을 보정한 시비율이다. 그림 3은 위상 변동량 보정 루프가 추가 된 제어 블록도를 나타낸다. Ph_{EN} 은 위상 변동 보상 루프 활성화 신호를 보상 루프를 실행하여 보정 된 D^* 를 출력한다.

2.3 실험 결과

제한한 제어기는 500 W 3병렬 DC DC 컨버터를 통해 검증되었으며, 입력전압 50 V, 출력전압 100 V, 65 kHz 스위칭 주파수의 조건에서 수행되었다. 프로세서는 TMS320C28377D가 사용되었으며, 인터리브드 운전은 Epwm 모듈의 Synchronous 기능을 이용하였다.

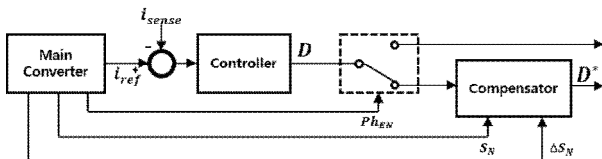


그림 3 위상 변동 보정 루프가 추가된 제어 블록도

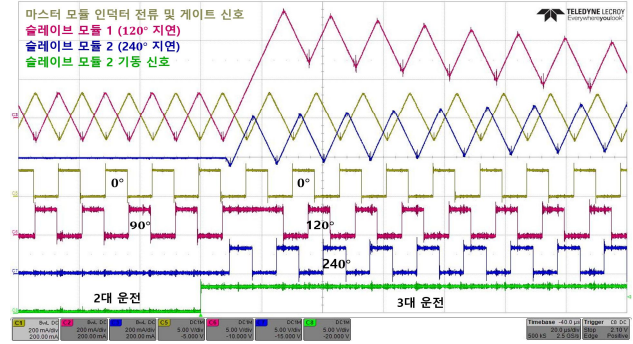


그림 4 위상 변동량 보상 전 각 부 파형

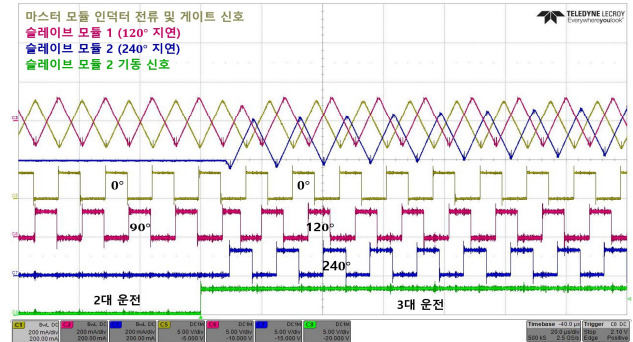


그림 5 위상 변동량 보상 후 각 부 파형

그림 4 및 그림 5는 180°의 위상 차이를 가지고 2대로 운전 중인 컨버터에서 슬레이브 모듈 3이 추가 기동 될 때의 파형을 나타낸다. 그림 3은 위상 변동량 보상이 포함되지 않은 제어기로 그림 2에서 분석한 것과 같이 도통 시간이 증가한 것을 나타낸다. 따라서 2번 모듈의 인덕터 전류가 급격히 증가하는 현상이 발생하게 된다. 그림 4는 위상 변동량에 대한 보상이 적용된 제어기로서, 위상 변동 시점에서도 전류제어기의 출력이 정상적으로 유지됨을 알 수 있다. 이는 안정적인 전류의 운용이 가능하므로 제어기의 안정성을 향상시킨다.

3. 결론

본 논문은 병렬 컨버터의 인터리브드 운전 시 전류맥동 저감을 위해 운전하는 컨버터의 운전 개수에 따라 위상 지연 정도를 선택적으로 사용하는 알고리즘이 제안되었다. 병렬 컨버터는 부하량 및 기동하는 컨버터의 개수에 따라 효율이 달라지며, 최적의 운전을 위해서는 부하 구간에 따라 모듈의 개수를 달리해야 한다. 따라서 전 영역에서 인터리브드 운전을 위해 위상 지연 정도를 제어할 필요성이 있으며, 위상 지연 변화량을 보상하여 안정적인 제어가 가능한 알고리즘이 제안되었다. 제안 한 알고리즘은 500 W DC DC 3병렬 컨버터를 통해 그 효과를 검증하였다.

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(B7 2417)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

참고 문헌

- [1] 박성우, 박희성, 장진백, 장성수, 이중인 (2006). 병렬운전 컨버터의 리플 저감을 위한 제어방법에 대한 연구. 한국조명·전기설비학회 학술대회논문집, 299-302.