

3상 인터리브드 부스트 컨버터의 효율 상승을 위한 상 제어 알고리즘

이강현, 이순령, 백승호, 이종영, 원충연
성균관대학교

A Phase Shedding Control Algorithm to Increase Efficiency of 3-Phase Interleaved Boost Converter

Kanghyun Lee, Soon-Ryung Lee, Seung-Ho Baek, Jong-Young Lee, Chung-Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

A phase shedding control algorithm to increase efficiency of 3-Phase interleaved boost converter is proposed. Conventional interleaved converter has low efficiency under the light load condition. In this paper, the number of phase is controlled in accordance with the load condition to increase the light load efficiency. The validity of proposed phase control algorithm is verified by simulation results based on measured efficiency.

1. 서론

일반적인 컨버터는 경부하에서 낮은 효율을 갖는다. 때문에 컨버터를 다상 인터리브드 방식으로 사용하면 경부하에서의 효율은 더욱 낮아지게 된다^[1]. 본 논문에서는 이러한 다상 인터리브드 방식의 컨버터의 경부하에서의 효율을 높이기 위해 부하 용량에 따라 동작하는 상의 개수를 제어하는 상 제어 기법을 제안하며, 이에 대한 타당성은 측정된 효율을 이용한 PSIM 시뮬레이션 결과를 통해 검증하였다.

2. 본문제목

2.1 인터리브드 부스트 컨버터

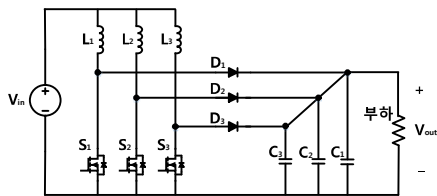


그림 1 3상 인터리브드 부스트 컨버터의 구성
Fig. 1 Configuration of 3-Phase interleaved boost converter

인터리브드 방식은 전류 분배와 위상차 동작으로 인한 전류 간 리플 전류의 상쇄효과를 통해 전체 전류의 리플 크기를 감소시켜준다. 따라서 인덕터, 스위치 및 커패시터 등의 전력용 소자들에 발생하는 스트레스를 최소화 할 수 있고, 입·출력 필터의 용량과 체적을 줄일 수 있다.

하지만 상의 수가 증가할수록 시스템의 손실이 커져 경부하

에서 효율이 매우 낮아지게 된다. 따라서 본 논문에서는 부하의 용량을 고려하여 동작하는 컨버터의 개수를 제어하는 알고리즘을 제안하였고, 이때의 각 컨버터의 효율은 다음 표 1의 효율 테이블을 이용하였다.

표 1 3상 인터리브드 컨버터 각 상의 효율

Table 1 Efficiency of the 3-Phase interleaved converters

	1 st	2 nd	3 rd
50W	89.5	88	85.5
100W	93.5	93.3	92.5
150W	95.5	94.6	93.7
200W	95.7	95	94.5
250W	96.5	95.5	95
300W	96.8	95.9	95.4
350W	95.7	95.2	94.7
400W	94.3	93.6	93.4
450W	93.2	92.5	92
500W	92.6	92.1	91.7

2.2 제안하는 상 제어 알고리즘

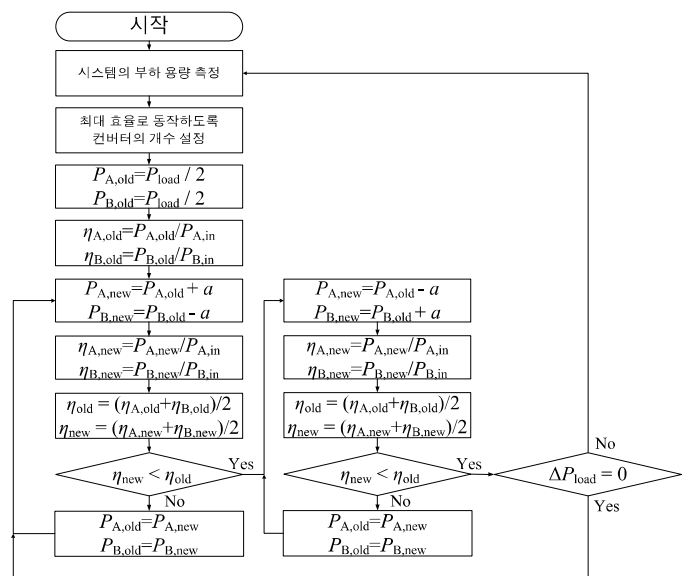


그림 2 제안하는 상 제어 알고리즘

Fig. 2 Proposed phase shedding control algorithm

제안하는 상 제어 알고리즘은 인터리브드 컨버터의 경부하에서의 효율을 높이기 위해 그림 2와 같이 부하 용량 조건에 따라 인터리브드 컨버터가 최대 효율로 동작하기 위한 상의 개수를 제어한다. 이때 동작하는 상의 개수 'N'은 다음과 같다.

$$N = \frac{P_{load}}{P_{max,eff}} + 1 \quad (1)$$

'N'이 2 이상일 경우 동작하는 컨버터의 순서는 표 1에 첨부된 효율에 의거하여 경부하부터 최대 효율을 갖는 부하 용량인 300W까지 효율의 평균을 비교하여 평균 효율이 가장 높은 순서부터 동작시킨다. 평균 효율은 다음 식 (2)를 이용해 구하고, 표 1에 따라 경부하에서 가장 평균 효율이 높은 컨버터 1부터 동작시킨다.

$$\eta_{X,avg} = \frac{\eta_{X,50W} + \eta_{X,100W} + \dots + \eta_{X,300W}}{6} \quad (2)$$

상의 개수를 결정하고 나면, 초기 출력 전력과 효율을 다음과 같이 정해주어야 한다.

$$P_{A,old} = P_{load} / 2 \quad (3)$$

$$P_{B,old} = P_{load} / 2 \quad (4)$$

$$\eta_{A,old} = P_{A,old} / P_{A,in} \quad (5)$$

$$\eta_{B,old} = P_{B,old} / P_{B,in} \quad (6)$$

식 (3), (4)에서 $P_{X,old}$ 는 X상의 제어하기 전의 출력 전력 값을 의미한다. 알고리즘 초기에 300W의 부하가 이미 존재한다고 가정하여 A, B상이 동작하고 있다고 했을 때, 각 상의 효율은 식 (5), 식 (6)과 같다. $\eta_{X,old}$ 는 기존의 효율이고, $P_{X,in}$ 은 X상의 입력 전력을 의미한다. 동작하는 컨버터의 개수 'N'이 2 이상일 때 부하 용량이 변동하게 되면 각 컨버터의 출력 전력은 다음과 같이 증가하거나 감소한다.

$$P_{A,new} = P_{A,old} \pm \alpha \quad (7)$$

$$P_{B,new} = P_{B,old} \mp \alpha \quad (8)$$

여기서 α 값은 제어 주기와 정확도를 결정하는 상수값이다. 만약 α 값이 큰 값이면 최대 효율 지점에 도달하는데 적은 시간이 걸리지만 정확한 값을 추적하지는 못한다. 이와 대조적으로 작은 값을 갖게 되면 정확한 최대 효율 지점을 찾을 수 있지만 최대 효율 지점을 추적하는데 많은 시간이 걸리게 된다.

α 값에 따라 출력 전력이 조정되고 나면 다음과 같이 현재의 효율과 이전의 효율값을 비교한다.

$$\eta_1 = (\eta_{A,old} + \eta_{B,old}) / 2 \quad (9)$$

$$\eta_2 = (\eta_{A,new} + \eta_{B,new}) / 2 \quad (10)$$

이전의 효율 η_1 이 조정 후의 효율 η_2 보다 높다면 이때의 효율 η_1 이 시스템의 최대 효율 지점이다. 따라서 η_1 이 η_2 보다 높을 때 제어가 완료되고, 만약 효율 η_1 이 η_2 보다 낮다면 η_1 가 η_2 보다 높아 때 까지 반복해서 제어를 수행한다.

2.3 시뮬레이션 결과

제안하는 알고리즘을 입증하기 위해 PSIM 시뮬레이션을 이용하였다. 시뮬레이션에 사용한 3상 인터리브드 부스트 컨버터는 입력 12V, 출력 48V, 상 당 150uH의 인덕턴스, 90uF의 출력 커패시턴스를 가지며 스위칭 주파수는 100kHz로 제어하였다.

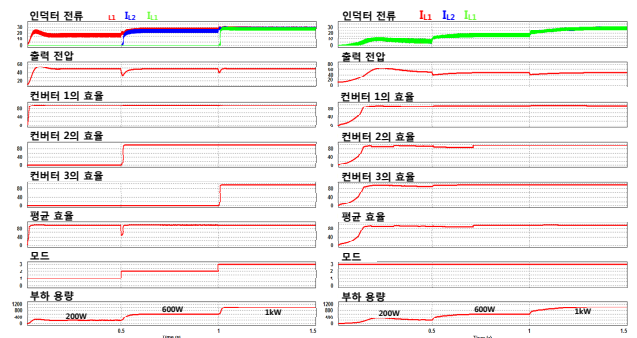


그림 5 (a) 제안한 알고리즘을 적용한 파형 (b) 적용하지 않은 파형
Fig. 3 (a) Waveforms with proposed algorithm
(b) Waveforms without proposed algorithm

표 2 (a) 제안한 알고리즘을 적용한 경우 (b) 적용하지 않은 경우
Table 2 (a) Simulation results with proposed algorithm
(b) Simulation results without proposed algorithm

(a)				(b)			
N	1	2	3	N	1	2	3
부하	200W	600W	1kW	부하	200W	600W	1kW
손실	9.2W	24.4W	44W	손실	19.1W	29.1W	45.6W
효율	95.7%	96.1%	95.7%	효율	90.1%	95.2%	95.6%

일반적인 제어 방식과 제안한 상 제어 알고리즘을 적용한 방식의 시뮬레이션을 비교하였다. 그림 5의 (a)에서는 부하 용량에 따라 컨버터가 순차적으로 동작하지만 (b)에서는 동시에 모든 컨버터가 동작한다. 이러한 이유로 알고리즘을 적용했을 시 부하 용량이 200W일 때 5.6%, 600W에서 0.9%의 효율이 증가했음을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 부하 용량에 따라 동작하는 상의 개수를 제어해주는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 적용함으로써 3상 인터리브드 부스트 컨버터의 효율이 경부하에서는 약 5%, 중간 부하에서는 약 1%정도 향상되었다. 제안하는 기법의 타당성은 측정된 효율을 기반으로 한 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

본 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임(No. 2014R1A2A2A05006744)

참고 문헌

[1] J. T. Su and C. W. Liu, "A novel phase-shedding control scheme for improved light load efficiency of multiphase interleaved DC-DC converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 10, pp. 4742-4752 2013.