모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율 추종을 위한 전력 분배 알고리즘

김민아
한국전자기술연구원

Power Management Algorithm for Tracking Maximum Power Conversion Efficiency in Modular Power Conversion System

Mina Kim
Korea Electronics Technology Institute (KETI)

ABSTRACT

대용량 대전류 응용 분야에 널리 사용되는 모듈형 전력변환 시스템은 전력변환기 간 전력 부담을 분배하기 위해 전력 분배 알고리즘이 필수적이다. 하지만 기존의 전력 분배 알고리즘은 경부하 시 전력변환기 동작 개수를 임의로 선정하고, 동작 중에는 전력변환기 간 출력 전력을 고르게 분배하기 때문에 최대 효율을 추종하기 어렵다. 또한, 전력변환기 간 노후화 편차, 제조 공차에 따른 효율 편차가 발생할 시에도 최대 효율을 추종하기 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율을 추종하기 위한 지능형 최대 효율 추종 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 부하에 따라 최대 효율을 추종할 수 있는 전력변환기의 개수와 부하량을 추적하여 모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율을 추종할 수 있다. 제안하는 알고리즘은 200-W급 벅 컨버터로 구성된 모듈형 전력변환 시스템을 통해 검증하였다.

1. 서 론

입력-병렬-출력-병렬식 모듈형 전력변환 시스템은 대용량 전력변환 시스템 구현에 널리 사용되고 있다. 모듈형 전력변환 시스템의 전력변환 효율 및 동적 성능을 향상하기 위해 이종의 전력변환기를 사용하거나, 모듈형 전력변환기의 수명을 증가하기 위해 다양한 전력 분배 알고리즘이 사용된다[1]-[3]. 하지만 산업계에서는 전력변환기의 부하 부담을 균등하게 분배하는 출력 전력 균등화 알고리즘이 널리 사용된다.

본 논문에서는 모듈형 전력변환 시스템의 최대 전력변환 효율을 추종하기 위해 수학적 분석을 기반으로 최대 효율 추종이 가능한 전력 분배 알고리즘을 제안한다. 제안하는 전력 분배 알고리즘은 Perturb & Observe (P&O) 기법을 이용하여 전력변환 효율의 증감을 관찰하고 최대 효율을 추종하는 방향으로 전력 분배 알고리즘을 시행한다. 제안하는 알고리즘은 전력변환기의 효율이 모두 같은 이상적인 동작 조건과 노후화에 따라 전력변환기의 효율이 각기 다른 실제적인 동작 환경에서도 모두 최대 전력변환 효율을 추종할 수 있다. 또한, 전력변환기의 개수에 따라 달라지는 전력변환 효율을 고려하여 최대 전력변환 효율을 달성할 수 있는 전력변환기의 개수를 선택할 수 있다. 제안하는 모듈형 전력변환 시스템의 최대 전력변환 효율 추종을 위한 전력 분배 알고리즘은 PSIM 시뮬레이션을 이용하여 검증하였다.

2. 라그랑주 승수법을 이용한 최대 효율 추종 알고리즘

2.1 모듈형 전력변환 시스템 분석

모듈형 전력변환 시스템의 전체 전력변환 효율은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_t = \frac{P_{o1}+P_{o2}+\cdots+P_{on}}{\frac{P_{o1}}{\eta_1(P_{o1})}+\frac{P_{o2}}{\eta_2(P_{o2})}+\cdots+\frac{P_{on}}{\eta_n(P_{on})}} \quad (1)$$

이때, η_t는 모듈형 전력변환 시스템의 전력변환 효율, P_{ox}는 전력변환기의 출력 전력, η_x는 전력변환기의 출력 전력에 대한 전력변환 효율 함수를 나타낸다. 또한, 모듈형 전력변환 시스템의 최대 전력변환 효율을 달성할 수 있는 동작점의 특징을 라그랑주 승수법을 이용하여 분석한 결과, 모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율을 달성할 수 있는 동작점은 모든 전력변환기의 동작점이 식 (2)을 만족함을 도출할 수 있다.

$$\frac{1}{\eta_1(P_{o1})}-\frac{\eta_1'(P_{o1})}{\{\eta_1(P_{o1})\}^2}=\cdots=\frac{1}{\eta_n(P_{on})}-\frac{\eta_n'(P_{on})}{\{\eta_n(P_{on})\}^2} \quad (2)$$

따라서 식 (3)을 모듈형 전력변환 시스템의 효율 추종 함수라 정의하였다.

$$f_x(P_{ox})=\frac{1}{\eta_x(P_{ox})}-\frac{\eta_x'(P_{ox})}{\{\eta_x(P_{ox})\}^2} \quad (3)$$

2.2 모듈형 전력변환 시스템의 효율 추종 함수

그림 1은 같은 효율을 가지는 2개의 전력변환기로 이루어진 모듈형 전력변환 시스템의 전체 효율 곡선과 효율 추종 함수 추이를 나타내었다. 단일 전력변환기 동작이 유리한 경우와 2개의 전력변환기 동작이 유리한 경우 모두 모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율을 추종하기 위해서는 효율 추종 함수가 낮은 전력변환기의 출력을 낮추고 효율 추종 함수가 높은 전력변환기의 출력을 높여야 함을 알 수 있다.

3. PSIM 시뮬레이션 검증

그림 2와 그림 3은 제안하는 전력분배 알고리즘을 PSIM 시뮬레이션을 통해 시험한 결과를 나타낸다. 제안하는 알고리즘과 성능 비교를 위해 사용한 기존의 전력분배 알고리즘의 경우

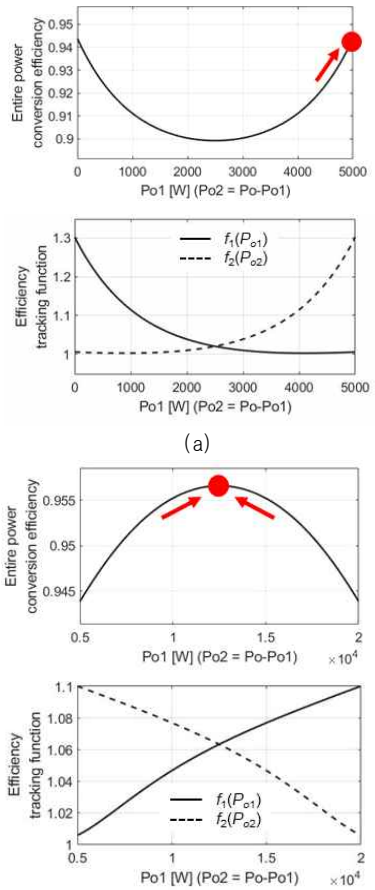

그림 1 모듈형 전력변환 시스템의 전체 효율 곡선과 효율 추종 함수 추이: (a) 단일 전력변환기 동작이 유리한 경우, (b) 2개의 전력변환기 동작이 유리한 경우.

식 (6)과 같이 동작한다.

$$\text{if } (k-1)P_{\max} < P_o < kP_{\max} \quad (4)$$
$$P_{o1} = P_{o2} = \cdots = P_{ok} = P_o/k$$
$$P_{o(k+1)} = \cdots = P_{on} = 0$$

그림 2와 같이 전력변환기가 모두 같은 효율을 가지는 경우 제안하는 전력 분배 알고리즘이 기존의 출력 전력 분배 알고리즘보다 최대 0.9%의 전력변환 효율 향상을 달성할 수 있음을 알 수 있다. 그림 3과 같이 전력변환기의 효율이 모두 다른 경우 제안하는 전력 분배 알고리즘이 기존의 출력 전력 분배 알고리즘보다 최대 5%의 전력변환 효율 향상을 달성할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 대용량 대전류 응용 분야에 널리 사용되는 입력-병렬-출력-병렬식 모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율을 추종하기 위한 전력 분배 알고리즘을 제안하였다. 모듈형 전력변환 시스템의 전력변환 효율을 라그랑주 승수법을 이용하여 분석한 결과 모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율 점에서 모든 전력변환기의 효율 추종 함수가 0이 됨을 알 수 있다. 따라서 효율 추종 함수의 추이를 이용하여 각 전력변환기의 출력 전력 증감을 결정하고, 이를 통해 모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율을 추종할 수 있음을 수학적으로 검증하였다. 제안하

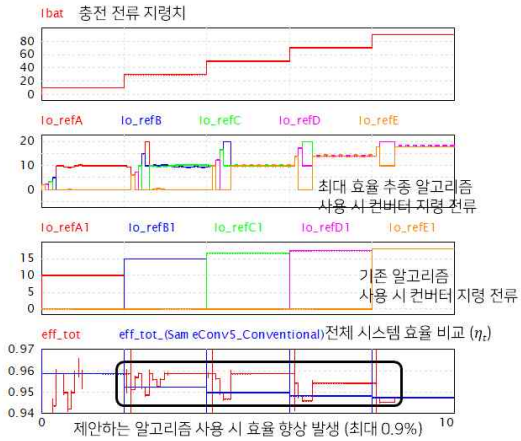

그림 2 모듈형 전력변환기가 모두 동일한 전력변환 효율을 가지는 모듈형 전력변환 시스템의 PSIM 시뮬레이션 결과

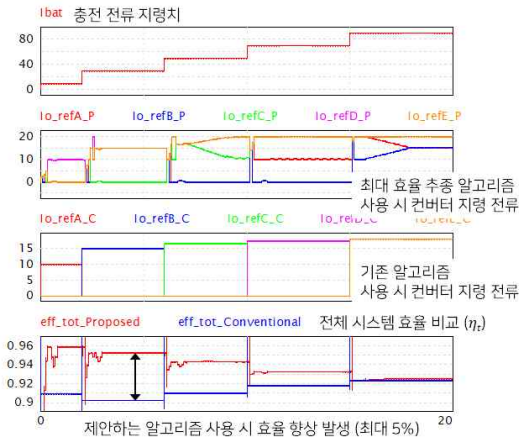

그림 3 모듈형 전력변환기간 효율 편차가 존재하는 모듈형 전력변환 시스템의 PSIM 시뮬레이션 결과

는 모듈형 전력변환 시스템의 최대 효율 추종을 위한 전력 분배 알고리즘은 PSIM 시뮬레이션을 이용하여 검증하였다. 제안하는 알고리즘을 사용하였을 때, 실제적인 전력변환기 간 효율 편차가 존재하는 경우 기존의 전력분배 알고리즘보다 최대 5%의 효율 향상을 달성함을 확인할 수 있다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20193810100010)

참 고 문 헌

[1] G. Chen and X.Cai, “Adaptive control strategy for improving the efficiency and reliability of parallel wind power converters by optimizing power allocation,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6138.6148, 2018.

[2] P. Bartal and I. Nagy, “Game theoretic approach for achieving optimum overall efficiency in DC/DC converters,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 7, pp. 3202.3209, Jul. 2014.