

경부하 성능 향상을 위한 3상 PWM 컨버터의 2상 운전모드

구근완¹, 곽철훈¹, 김동희², 이병국^{2†}
와이피피(주)¹, 성균관대학교 정보통신대학²

2-Phase Operation of 3-Phase PWM Converter for Improving Performance at the Light Load Conditions

Keun Wan Koo¹, Cheol Hun Kwak¹, Dong Hee Kim², and Byoung Kuk Lee^{2†}
Research & Development Center, YPP Corporation¹,
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University²

ABSTRACT

본 논문에서는 신재생에너지에 적용되는 3상 PWM 컨버터의 경부하 운전 성능향상을 위해 2상 모드 제어를 제안하며, 제안하는 운전모드의 성능을 검증하기 위해 각 운전모드에 따라 이론적으로 손실을 분석한다. 또한 제안하는 운전기법의 모드 절체에 관한 시뮬레이션을 진행하여 시스템이 정상적으로 운전될 수 있음을 검증한다.

1. 서론

최근 전기에너지의 효율적인 사용에 대한 관심이 신재생에너지 시스템 및 에너지저장 시스템에 대한 연구로 활발히 이어지고 있다.^[1] 신재생에너지 시스템 및 에너지 저장 시스템의 경우 현재는 기존의 계통과 연계하여 운전하는 시스템에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 신재생에너지와 energy storage system (ESS) 연계형 시스템의 경우 풍력발전을 DC bus로 보낼 때, 혹은 계통의 전원으로 배터리를 충전하기 위해 계통의 전원을 DC bus로 보낼 때 AC DC 컨버터를 사용하게 된다. 이러한 계통과의 연계 동작을 위해 필수적으로 3상 PWM 컨버터가 사용된다. PWM 컨버터의 경우 풍속이 느려 풍력발전의 발전량이 적거나 ESS용 배터리가 CV모드로 충전되는 경우에 따라 3상 PWM 컨버터가 경부하에서 운전하는 구간이 발생한다.

3상 PWM 컨버터가 경부하 영역에서 운전할 경우 스위칭 손실과 철손이 효율에 주로 작용하며 전류의 크기가 작아 입력 고조파 제어에도 불리해 낮은 PF, 낮은 THD를 가지게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 기존의 연구에서는 추가적인 하드웨어나 복잡한 알고리즘을 통해 3상 PWM 컨버터의 경부하 영역의 성능을 개선하고자 했다. 이러한 방법을 통해 PWM 컨버터의 성능을 개선할 경우 3상 PWM 컨버터는 추가적인 하드웨어 사용에 대한 비용 측면이나 복잡한 알고리즘에 의한 제어 신뢰도 문제를 야기 할 수 있다.^[2]

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 3상 PWM 컨버터의 경부하 운전 시 2상 모드운전을 제안한다. 제안하는 운전방법의 성능을 검증하기 위해 이론적인 방법으로 3상 PWM 컨버터의 2상 운전모드와 3상 운전모드의 손실을 분석하며 모드 변환시 안전성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 진행한다.

2. 3상 PWM 컨버터의 운전모드 분석

3상 PWM 컨버터

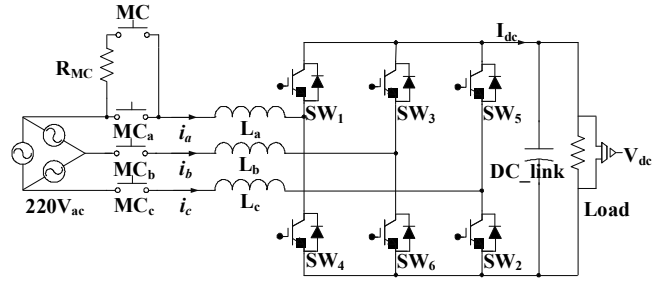


그림 1 일반적인 3상 PWM 컨버터

Fig. 1 conventional 3-phase PWM converter

일반적인 3상 PWM 컨버터는 그림 1과 같이 하나의 스위치 암에 입력측에 magnetic contactor (MC), 인덕터를 각각 가지는 구조로 구성된다. 이러한 경우 3상 PWM 컨버터 동작을 위해서는 6개의 스위치, 3개의 인덕터가 사용된다. 하지만 이러한 많은 소자들은 경부하 영역에서 손실을 증가시키는 요소로 작용한다. 따라서 경부하 영역 운전에서 하나의 MC를 오픈 하므로 1개의 인덕터와 2개의 IGBT를 운전에서 제외하고 2상 모드로 동작시키면 효율과 THD, PF 특성을 향상시킬 수 있다.

2.1 3상 PWM 컨버터의 손실 분석

3상 PWM 컨버터가 표1과 같은 파라미터를 가질 때, 주 손실원인 스위치, 인덕터의 손실을 분석한다. 식 (1)은 3상 PWM 컨버터의 스위치 손실을 구하기 위해 사용되며 식 (2)는 인덕터의 손실을 구하기 위해 사용된다. 이때 식 (1)에서 R_C 는 IGBT의 도통시 저항성분, 식 (2)에서 R_{line} 은 인덕터 권선의 저항성분, T 는 인덕터의 턴수, A 는 인덕터의 면적을 나타낸다. 인덕터의 손실을 구하기 위해서는 인덕터에 흐르는 전류에 대한 포화되는 정도를 고려하여 손실을 구한다.

$$P_{loss,sw} = R_C \times I_{RMS}^2 + t_{on+off} \times I_{RMS} \times V_{out} \times F_{sw} + I_{RM} \times T_{rr} \times V_{out} \times F_{sw} \quad (1)$$

$$P_{loss,L} = R_{line} \times I_{in}^2 + L_{volume} \times 0.39 \times \left\{ \frac{L \times I_{in} \times 0.3 \times 100}{T \times A} \right\}^{2.18} \times \left\{ \frac{F_{sw}}{1000} \right\}^{1.69} \quad (2)$$

표 1 3상 PWM 컨버터의 파라미터
Table 1 parameters of 3-phase PWM converter

입력전압 [Vrms]	3 ϕ , 220	인덕턴스 [mH]	2.3
출력전압 [V]	380	커패시턴스 [mF]	2.2
출력전력 [W]	5000	스위치	PM50CL1A120

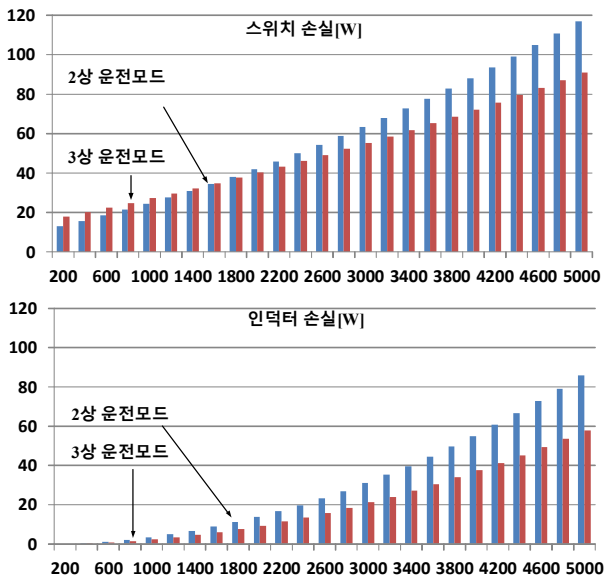


그림 2 3상 PWM 컨버터의 스위치 손실과 인덕터 손실
Fig. 2 switch loss and inductor loss of 3-phase PWM converter

그림 2은 부하에 따른 3상 PWM 컨버터의 3상 운전 모드, 2상 운전모드의 스위치 손실과 인덕터 손실을 나타낸다. 1.2 kW를 기준으로 3상 운전 모드의 경우 2상 운전모드에 비해 낮은 전류를 가지게 되어 정격부하 운전 시 2상 운전모드에 비해 낮은 손실을 가지게 된다. 반면 경부하에서는 2상 운전모드로 동작하는 경우 적은 수의 반도체 소자를 사용하기 때문에 더 낮은 손실을 가진다.

2.2 3상 PWM 컨버터 시뮬레이션

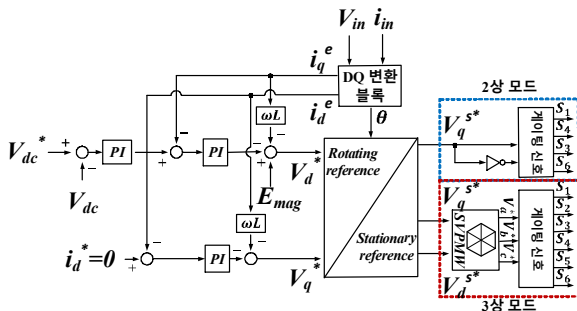


그림 3 3상 PWM 컨버터의 제어 블록도
Fig. 3 control block diagram of 3-phase PWM converter

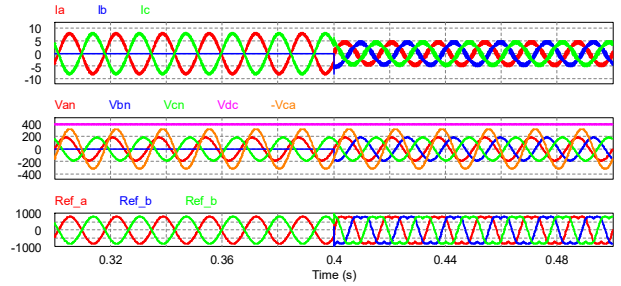


그림 4 3상 PWM 컨버터의 모드 변환시 시뮬레이션 과정
Fig. 4 simulation results of 3-phase PWM converter at the mode conversion

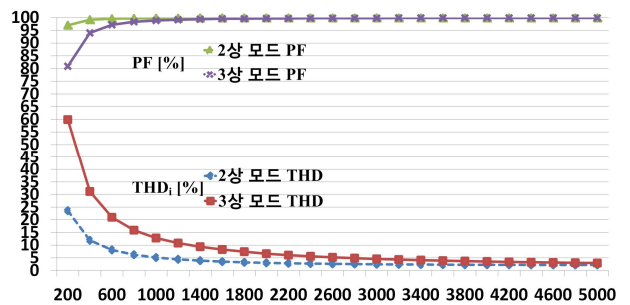


그림 5 3상 PWM 컨버터의 THD, PF 특성
Fig. 5 THD, PF characteristic of 3-phase PWM converter at

그림3은 시뮬레이션에 사용된 제어 다이어그램을 나타내며, 그림 4는 3상 PWM 컨버터의 1.2 kW 시뮬레이션 과정을 나타내고 그림 5는 전체 부하에서 THD, PF 특성을 나타낸다. 그림 4에서 V_{ca} 는 단상의 입력전압을 나타내며 V_{an} , V_{bn} , V_{cn} 은 3상의 입력전압을 나타낸다. 시뮬레이션 결과로부터 3상 PWM 컨버터의 입력전류와 각각의 입력전압의 위상이 같고 DC 링크인 V_{dc} 가 안정적으로 제어됨을 확인할 수 있다. 또한 그림 5로부터 경부하에서 3상 PWM 컨버터의 2상운전은 기존의 3상 운전에 비해 5%이하 THD 구간이 33% 넓어졌고, PF가 99%를 넘는 구간 또한 증가함을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 경부하 성능향상을 위한 3상 PWM 컨버터의 2상 운전을 제안하고, 제안하는 운전기법의 향상된 성능을 검증하기 위해 손실분석 및 시뮬레이션을 진행하였다. 분석결과로부터 경부하 영역에서 운전 시 3상 PWM 컨버터의 2상운전은 기존의 3상 운전에 비해 효율, THD, PF 측면에서 이점을 가지는 것을 검증 하였다.

참고 문헌

- [1] Sharad W. Mohod, and Mohan V. Aware, "Micro Wind Power Generator with Battery Energy Storage for Critical Load," *IEEE Systems Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 118-125, March. 2012.
- [2] 전태원, 이홍의, 김응근, 노의철, "단상 그리드 연결형 인버터의 동기화를 위한 PLL시스템 해석", *전력전자학회 논문지*, 제16권, 제4호, pp. 309-316, 2011, 8.