

고속철도 피크전력보상을 위한 단상 멀티레벨 인버터

권경민*, 전병진*, 이은규*, 이병곤**, 최재호***

(주)우진산전*, 한국철도공사**, 충북대학교***

Single phase Multi-level Inverter for Peak Power Compensation with High Speed Transit System

Kyoung-min Kwon*, Byeong-Jin Jeon*, Eun-Kyu Lee*, Byeong-Gon Lee**, Jae-Ho Choi****

Woojin Co*, KORAIL**, Chungbuk National University***

ABSTRACT

H-bridge 타입의 고압인버터는 낮은 DC링크 전압을 이용하여 높은 출력 AC전압을 얻을 수 있는 멀티레벨 인버터 토폴로지로서 다양한 분야에서 실증, 적용 되어왔다. 본 논문에서는 고속철도의 피크전력 보상을 위한 단상 H-bridge 멀티레벨 인버터를 사용한 PCS의 적용을 검토하였고, DC링크 전압을 각각의 배터리 전원을 사용함으로써 발생될 수 있는 배터리 불평형에 대한 PWM제어 알고리즘을 개발하였다. 제안된 알고리즘은 H-bridge타입에서 적용되고 있는 PWM제어방법 중 THD 특성에서 가장 우수한 PD방식을 배터리 상태에 따라 각 H-bridge에서 회전시켜 DC전압 불균형을 해결 할 수 있도록 구성하였다. 제안된 알고리즘은 PSIM을 사용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 제안된 기법의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

현재 국내에서는 최대 수요전력을 제한하기 위한 다각적인 노력이 진행되고 있으며, 이를 능동적으로 제어하기 위한 방안으로 PCS가 대두되고 있다. PCS는 배터리와 같은 저장매체를 통하여 에너지를 저장하였다가 최대 부하 시에 저장된 에너지를 공급함으로써 최대 수요를 억제하는 전력변환 장치이다. 이러한 PCS는 일반 부하의 경우에는 많은 실증사례들이 있지만 철도부하와 같은 특수조건의 경우에는 국내에서는 전무한 상태이다. 본 논문은 철도부하에 대한 PCS적용을 부하 패턴에 따라 전력을 공급함으로써 보다 효과적으로 PCS를 운용할 수 있는 알고리즘을 제안하였고, 대응량에 대한 효율 향상을 위한 멀티레벨 인버터 토폴로지 적용을 검토하였다.

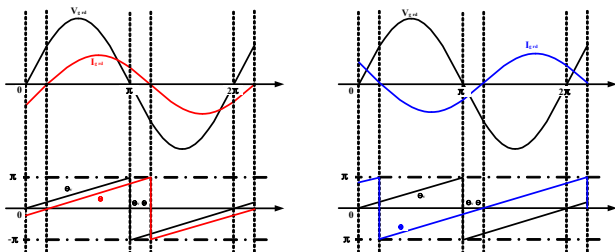


그림 1 차량운전 패턴에 따른 가선전압과 전류

Fig. 1 Catenary voltage and current with traction drive

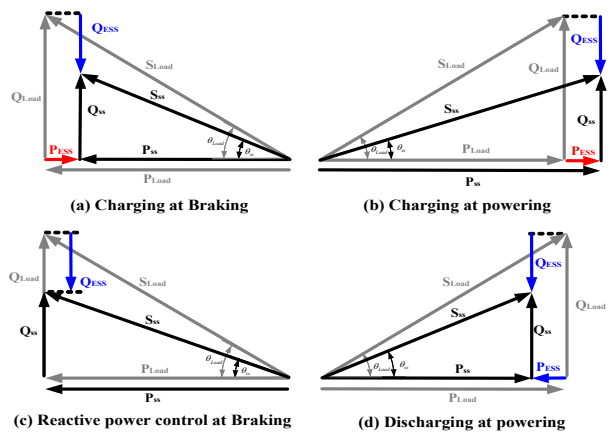


그림 2 차량운전 상태에 따른 가선전압과 전류

Fig. 2 Catenary voltage and current with traction driving state

표 1 부하 조건 및 PCS운전 모드에 따른 효과 분석

Table 1 Effect analysis by PCS mode and load condition

	유효전력	무효전력	역률
Mode1 역행/충전	$P_{Load} + P_{ESS}$	$Q_{Load} - Q_{ESS}$	$\cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{Q_{Load} - Q_{ESS}}{P_{Load} + P_{ESS}} \right) \right]$
Mode2 역행/방전	$P_{Load} - P_{ESS}$	$Q_{Load} - Q_{ESS}$	$\cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{Q_{Load} - Q_{ESS}}{P_{Load} - P_{ESS}} \right) \right]$
Mode3 회생/충전	$-P_{Load} + P_{ESS}$	$Q_{Load} - Q_{ESS}$	$\cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{Q_{Load} - Q_{ESS}}{-P_{Load} + P_{ESS}} \right) \right]$
Mode4 회생/방전	$-P_{Load}$	$Q_{Load} - Q_{ESS}$	$\cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{Q_{Load} - Q_{ESS}}{-P_{Load}} \right) \right]$

2. 본 론

2.1 단상 인버터 PCS제어 알고리즘

단상 인버터의 PCS제어 알고리즘은 충전/방전 전력지령에 의한 전력제어기 구조를 가진다. 이러한 전력제어기의 지령값은 부하의 사용량에 의해 결정되는 것이 일반적이다. 하지만 철도 부하의 경우에는 이를 대응하는 것이 쉽지 않다. 왜냐하면 철도 부하 특성에 의해 역행 시 전력을 소비하는 것 뿐만 아니라 제동 시 발전 에너지가 계통으로 유입되기도 하기 때문이다. 또한 부하의 대부분은 유도성 부하이기 때문에 역률도 상당히 좋지 못하다는 특성을 가진다. 그림 1은 이러한 철도 부하의 역행과 회생 시에 가선의 전압, 전류를 도시화 한 것이다.

그림 2는 이러한 부하 패턴에 대응하여 각 모드에 따른 운전전략을 가져가기 위한 것으로 각 모드에 따른 효과는 표 1에서 보는 것과 같다.

2.2 단상 멀티레벨 인버터

단상 멀티레벨 인버터 방식 중 PCS에 적용된 캐스캐이드 멀티레벨 방식은 분리된 배터리의 전원에서부터 DC 전압을 확보하여 AC전력을 출력하는 방식으로 각 층은 H-bridge 인버터로 구성 되어 있다. 이러한 캐스캐이드 멀티레벨 인버터의 PWM변조 방식은 PSM(Phase Shift Modulation)방식과 LSM(Lelvel Shift Modulation)방식이 있다. 이 중 분리된 배터리의 전력제어를 개별적으로 수행하기 위해서는 LSM방식에 의한 스위칭 패턴의 조정이 반드시 필요하다. 제안된 스위칭 패턴의 조정은 LSM방식에서 THD특성이 가장 우수한 PD기법을 기본으로 하여 스위칭을 회전시켰으며, 배터리의 SOC상태에 따라 선택적으로 회전 방식을 변환하도록 하였다. 제안된 스위칭 패턴 회전방법 중 첫 번째는 RPR(Reference Period Rotation)방식으로 지령값에 대한 주기로 스위칭을 회전시키는 방법이다. 이 회전방법은 각 H-bridge의 스위칭 손실을 최소화 할 수 있으므로 각 배터리 뱅크의 SOC상태 차이가 거의 없을 경우 적용하는 것이 유리하다. 두 번째로 CPR(Carrier Period Rotation)방식은 반송파에 대한 주기로 스위칭을 회전시키는 방법으로 RPR방식에 비해 각 배터리 뱅크의 전력분배가 잘 이루어 지지만 스위칭 손실은 RPR방식에 비해 크다는 단점을 가진다. 마지막으로 ASSR(Adapted Switching Select Rotatation)방식은 각 인버터의 DC링크 전압을 감시하여 스위칭을 선택적으로 출력하는 방법으로 각 배터리 뱅크에 SOC차가 발생 시에 대응할 수 있도록 회전시키는 방식이다.

2.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 그림 3과 같이 PSIM을 사용하여 13레벨 단상 멀티레벨 인버터를 구성하여 수행하였다. 그림 4는 스위칭 회전방법에 따른 각 배터리 뱅크의 전력을 확인한 시뮬레이션 결과로서 그림 4(a)는 스위칭 회전 없이 PD변조방식을 사용한 경우이고, (b)는 RPR방식을 적용하였을 때, (c)는 CPR방식을 적용한 경우, (d)는 ASSR방식을 적용한 결과이다. 결과에서

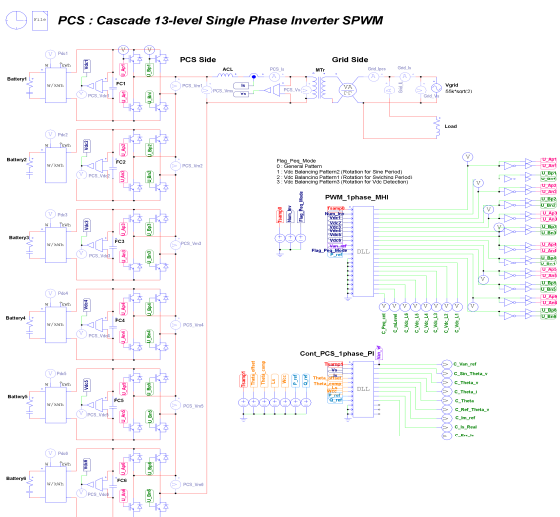


그림 3 캐스캐이드 13레벨 단상인버터 시뮬레이션
Fig. 3 Cascade 13-level single phase Inverter simulation

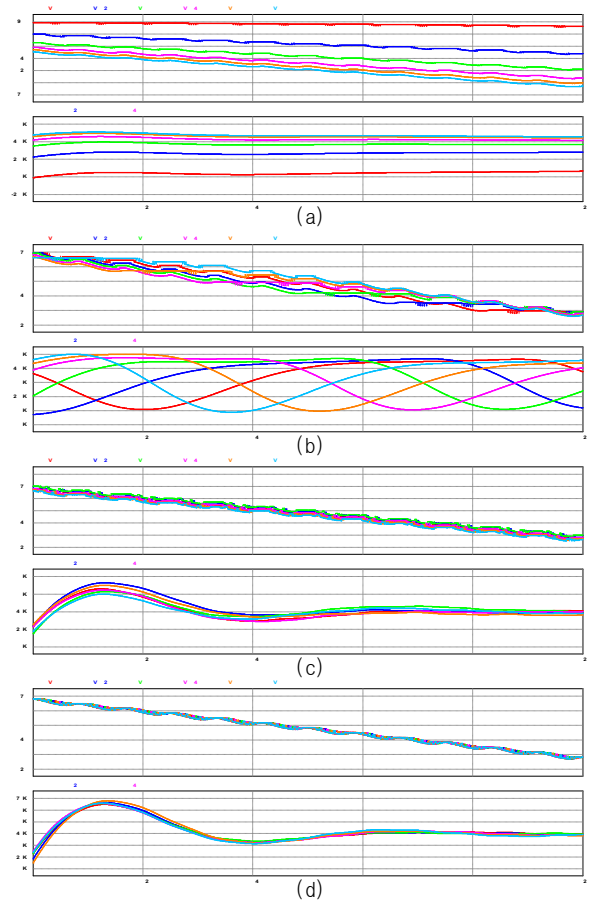


그림 4 PWM 회전방법에 따른 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation result with PWM rotation mode

보는 것과 같이 스위칭 회전을 진행하지 않을 경우에는 각 배터리 뱅크의 SOC차이에 의해 심각한 문제를 발생 시키게 됨을 확인할 수 있고, 반면에 ASSR방식은 이러한 SOC불균형에 대한 능동적인 대응이 가능함을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문은 고속철도 변전소에 피크전력 보상 설비의 설치에 대한 타당성 및 효과적인 전력 운용방안에 대하여 제안하였고, 대용량 PCS의 멀티레벨 방식의 인버터 토폴로지 적용에 대하여 검토하였다. 제안된 토폴로지와 알고리즘은 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

본 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원을 받아 수행한 연구결과입니다.(13PRTD-C063745-02)

참고 문헌

- [1] G. Grandi, C. Rossi, D. Ostojic, D. Casadei, "A New Multi level Conversion Structure for Grid-Connected PV Applications", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 56, pp4416-4426, Nov 2009.
- [2] O. Lopez, R. Teodorescu, "Multi level transformerless topologies for single-phase grid-connected converters", IEEE. IECON 2006, pp5191-5196, 2006.