

자가 발전 이동 카트 시스템을 위한 회로 및 시스템의 설계 및 구현

오승재, 노정욱, 강윤수, 오현준
 국민대학교 전력전자 연구 센터

Practical Design and Implementation of Circuit and System for Self-Electricity-Generated Transfortation Cart System

Seung-Jae Oh, Chung-Wook Roh, Yoon-Soo Kang, Hyeon-Jun Oh
 Dept, of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 이동 트레이 카트의 모터를 구동하기 위해 사용되는 외부 전원 장치는 Bus Bar를 사용함으로써 내구성이 떨어지고 잦은 유지보수가 필요하고 모터 구동을 위해 70v 이상의 전압을 필요로 한다. 또한 기존 카트 시스템은 카트 동시배출, 모터 드라이브 대기전력, 발전량 부족 등 다양한 문제를 갖고 있기 때문에 이를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 입력을 배터리로 적용시켜 3배 이상 승압이 가능한 배압회로, 카트 동시배출을 위한 Super Cap String, 발전량 부족을 해결하기 위한 발전기 병렬 연결을 통해 발전량을 증가 시킬 수 있는 시스템을 제안하고 이를 이론적, 실험적 분석을 통해 그 타당성을 검증한다.

1. 서 론

기존 물류센터에서 사용되는 시스템은 여러 가지 문제점이 있다. 첫째로 전원은 외부 전원 공급 장치인 Bus Bar와 접촉되는 Collector를 통해 전원을 공급시켜 주지만 장시간 사용 시 접촉면이 마모가 되어 잦은 유지 보수를 필요로 한다. 둘째로 하나의 전원 장치가 다수의 카트를 담당하게 되고 연속적인 물류의 배출이 아닌 경우에 따라 최대 4개의 물류가 동시 배출을 하는 경우가 생기므로 이 두 가지 문제를 해결하기 위해 입력을 배터리로 갖고 Super Cap String을 적용시킨 승압형 컨버터를 채용한다. 셋째로 하나의 전원장치가 모터 구동을 위해 담당하는 모터드라이브 보드가 많기 때문에 대기전력을 무시할 수가 없다. 따라서 카트 시스템이 운용 종료시 스스로 전력을 차단시켜 대기전력을 최소화 해줘야 한다. 마지막으로 입력 배터리의 충전을 위한 발전기는 카트와 바퀴 사이의 공간이 협소해 소형 바퀴 발전기를 채택해야 하는데 소형 발전기의 경우 발전량이 작아 충전량 보다 배터리에서 소모하는 전력이 더 크므로 장시간 카트 시스템을 운영시 배터리가 방전이 된다. 또한 보드 실장을 위한 공간도 협소하기 때문에 각각의 발전기를 충전하기 위한 회로를 적용시키기는 힘들다. 따라서 발전기의 병렬 연결을 통해 발전기의 전압을 높여 충전되는 양을 증가시킨다.

2. 자가 발전 이동 카트 시스템의 구성

2.1 배터리-캐패시터 뱅크를 갖는 부스트 컨버터^[1]

그림 1은 제안 하는 시스템의 전원 공급을 위한 승압형 컨버터이다. 기존 Boost Converter에 Super Cap, C1, L2, D2를 추가하여 3배 이상 승압이 가능하게 하고 Super Cap String이 모터 기동 시 큰 전류를 배터리를 대신하여 보충해준다.

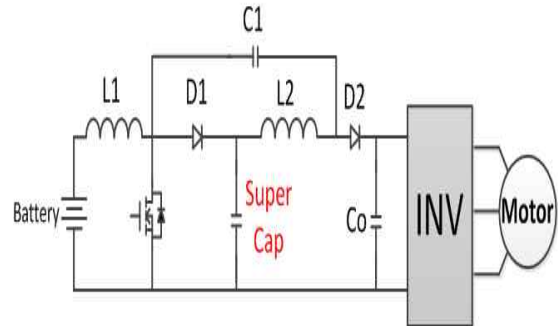


그림 1 배터리-캐패시터 뱅크를 갖는 부스트 컨버터

2.1.1 제안 회로 동작 원리 및 설계

인덕터 L1과 L2에 걸리는 전압을 각각 Voltage Second Balance를 적용시켜 듀티비를 유도 가능하다. Mosfet turn on 시 L1에 걸리는 전압은 $V_{battery}$ 전압과 같고 L2에 걸리는 전압은 $V_{super} - V_{c1}$ 이다. Mosfet turn off시 L1에 걸리는 전압은 $V_{battery} - V_{super}$ 이고 L2에 걸리는 전압은 $V_{super} - V_o$ 이다. L1에 Voltage Second Balance를 적용시키면

$$V_{Battery} * D = (V_s - V_{Battery}) * (1 - D)$$

이고 위 식을 정리하면

$$\frac{V_s}{V_{Battery}} = \frac{1}{1 - D} \tag{1}$$

L 2에 Voltage Second Balance를 적용시키면

$$(V_s - V_{C2}) * D = (V_o - V_s) * (1 - D)$$

이고 위 식을 정리하면

$$\frac{V_o}{V_s} = 1 + D \tag{2}$$

따라서 (1),(2)식을 정리하면

$$\frac{V_o}{V_{Battery}} = \frac{1+D}{1-D} \quad (3)$$

2.1.2 모의 시뮬레이션

제안 회로는 정상시는 무부하로 동작하다 정해진 위치에서 모터가 돌 경우에만 로드가 걸리게 된다.

표 1 배터리-캐패시터 뱅크를 갖는 부스트 컨버터 실험 조건

Vbattery	24~29V	Switching Frequency	50kHz
L1	20uH	L2	10uH
Control IC	TL494	Output Voltage	75V

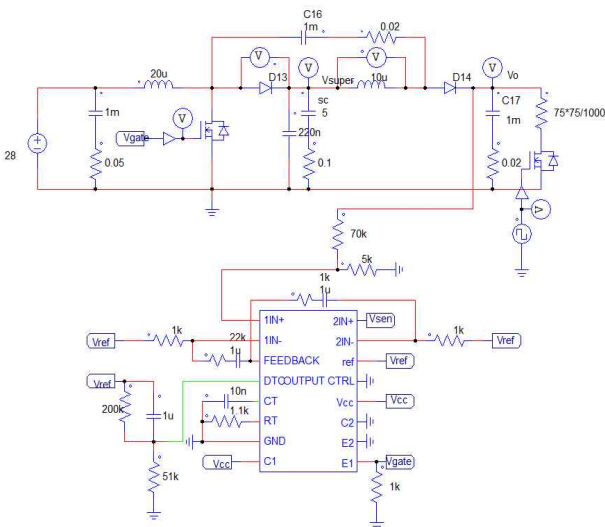


그림 2 캐패시터 뱅크를 갖는 부스트 컨버터 시뮬레이션 회로

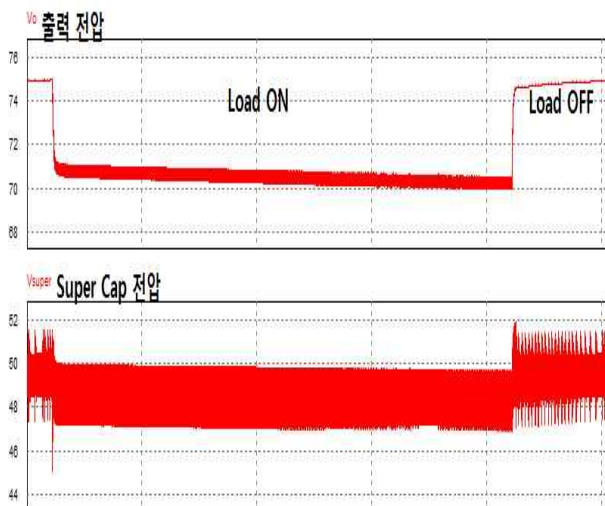


그림 3 캐패시터 뱅크를 갖는 부스트 컨버터 시뮬레이션 결과

2.2 대기전력 차단을 위한 메인 스위치 회로

기존 카트 시스템은 하나의 전원이 여러개의 카트를 담당하고 있기 때문에 모터드라이브 보드의 대기전력이 매우 크게 작

용을 하게 된다. 따라서 카트 시스템이 운영을 잠시 정지하거나 운영이 종료되었을 경우 대기전력을 차단해 줘야 하는데 승압형 컨버터 특성상 입력전압이 출력 전압으로 보이게 되므로 회로 중간에 차단을 시켜줘야 한다. 본 논문에서는 LM5069 IC를 이용해 승압형 컨버터 앞 단에 MOSFET을 추가시켜 ON/OFF 제어를 통해 대기전력을 control 한다.

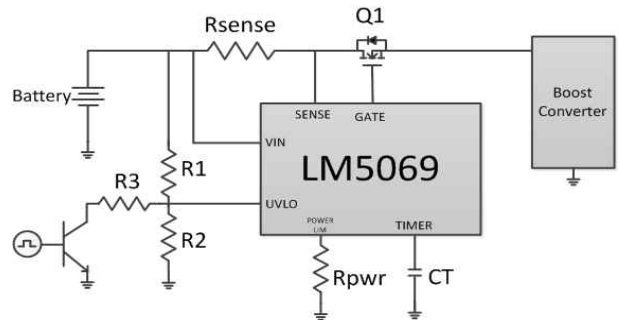


그림 4 LM5069를 적용시킨 대기전력 차단을 위한 회로

2.3 배터리 충전 회로

3상 전압 발전기를 DC로 평활시켜 배터리를 충전시켜줘야 한다. 따라서 본 논문에서는 Bridgeless Boost Converter를 적용시켜 배터리를 충전시켜준다.

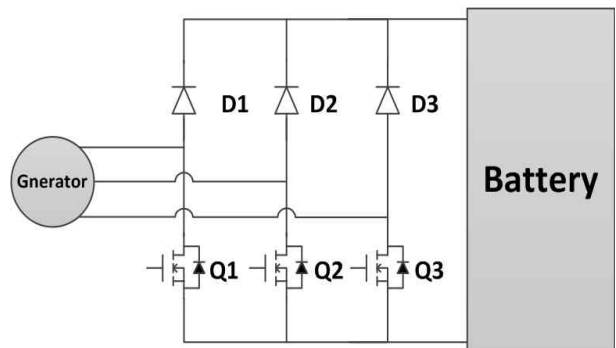


그림 5 제안 시스템의 배터리 충전을 위한 Bridgeless Boost Converter

2.3.1 Bridgeless Boost Converter 동작 원리

발전기의 내부 인덕턴스를 이용해 그림 5의 회로가 Boost Converter로써 동작을 한다. 발전기 특성상 부하 저항에 따라 발전량이 바뀌게 되는데 그림 5에서 Q1, Q2, Q3는 open loop 제어를 통해 Duty를 가변시켜 최종적으로 Boost Converter의 입력 임피던스를 조절한다. 따라서 발전기의 rpm에 따라 Duty 제어를 통해 최적의 발전량을 찾을 수 있다. 그림6는 임피던스 식 계산을 위한 평균 소신호 교류 모델로 변환된 Boost Converter이다.

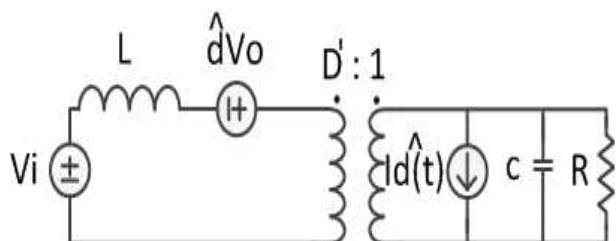


그림 6 Boost Converter 소신호 교류 모델

그림 6에서 1차측에 보이는 2차측 임피던스는

$(1-D)^2 * C \parallel R$ 가 되고 입력 임피던스는 1차측 인덕터와 2차측 임피던스의 직렬로 보이게 된다.

2.3.2 발전기 병렬 연결을 위한 회로

기존 카트 시스템은 바퀴가 실장 될 수 있는 공간이 적기 때문에 소형 바퀴를 갖는 발전기를 채용하게 된다. 하지만 배터리에서 모터를 동작시 소모되는 전류가 많기 때문에 발전량이 부족하면 장시간 시스템 운용이 불가능하다. 또한 보드와 배터리 Super Cap이 실장 되는 공간이 적기 때문에 각 발전기마다 충전회로를 따로 적용시킬 수가 없다. 따라서 발전기 3개를 병렬연결을 통해 하나의 충전회로로 동작을 시켜 발전량을 증가 시키는 방법을 적용시켰다.

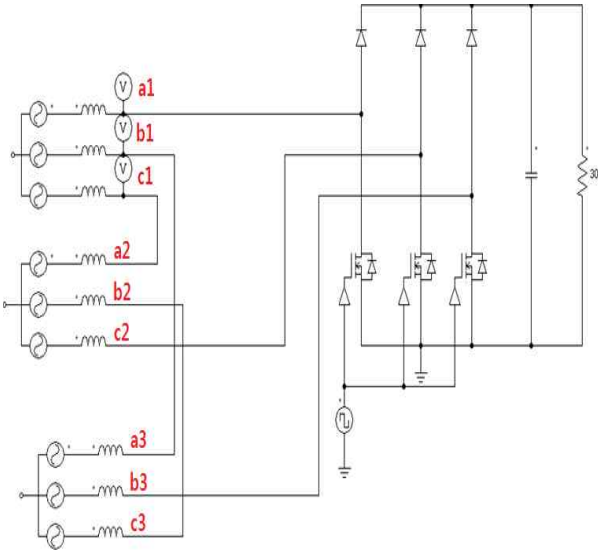


그림 7 발전기 병렬 연결 회로

- 발전기 1 : b1-a3 (발전기 3의 a상) 연결, c1-a2 (발전기 2의 a상) 연결
- 발전기 2 : a2-c1 (발전기 1의 c상) 연결, b2-c3 (발전기 3의 c상) 연결
- 발전기 3 : a3-b1 (발전기 1의 b상) 연결, c3-b2 (발전기 2의 b상) 연결

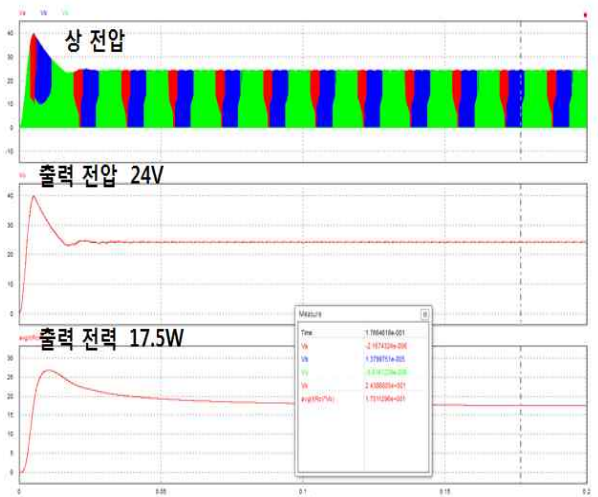


그림 8 발전기 1개 연동시 출력 파형

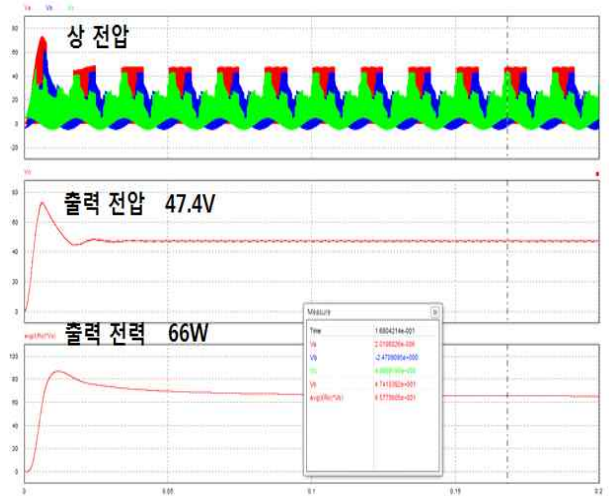


그림 9 발전기 3개 병렬 연결시 출력 파형

그림 8과 그림9를 비교해보면 발전기 3개를 병렬 연결 후 동작시 기존보다 출력 전압이 2배가 되고 충전 전력을 3배가 되는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결 론

기존의 개발된 카트 시스템에서는 동시 배출, 대기전력, 발전량 부족 등 여러 가지 문제점이 발견되었는데 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안을 제안하였다. 기존 전원 장치인 bus bar에서 승압보드로 대체 가능함을 확인하였고 카트 시스템 운영 종료시 대기전력 차단을 위한 추가 회로를 통해 대기전력을 최소화 할 수 있고 마지막으로 발전량이 부족한 문제점을 발전기 3개의 병렬연결을 통해 발전량을 상승 시켜 제안 카트 시스템의 유용성을 검증하였다.

이 논문은 한국C&S의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참 고 문 헌

[1] 공성재, 양태철, 강경수, 노정욱 “자가발전 이동 카트 시스템을 위한 배터리-캐패시터 뱅크를 갖는 부스트 컨버터” 전력전자학회 논문지 제23권 제1호 2018.02 1-8(8page)