

전동지게차의 제어회로용 SMPS

김중철 신중목 이병석
두산인프라코어주식회사

SMPS for Control Circuit of Electric Fork-lift Truck

Chong-Chul Kim Jung-Mug Shin Byeong-Seok Lee
Doosan Infracore Co., Ltd.

Abstract - In industrial field, electric fork-lift has been mainly powered by batteries which are varied from DC 36V to 80V. Operating electric fork-lift truck depends on stable electric power supplies which are ensured by using Switched Mode Power Supply (SMPS). This paper presents design of SMPS for stable electric power supply. The SMPS has much strength such as high effectiveness, low cost and high stability of output voltage. At the same time, SMPS is small and multi output and has simple design of circuit.

1. 서 론

현재 에너지 소비가 점점 증가함과 동시에 전원 공급 장치의 필요성이 증가되고 있다. 이러한 전원 공급 장치는 개인용 컴퓨터, TV, 모니터 등 매일 일상 생활에 접하는 것들에 사용되고 있다. 또한 최근 대두되는 환경문제에 의해 개발되고 있는 전기 자동차와 친환경 에너지 등에서도 전원 공급 장치는 매우 중요하다. 그 중에서도 물류 산업에 많이 쓰이는 전동 지게차는 공해가 전혀 없으며 실내 물류 창고에 많이 사용되고 있다. 산업현장에서 운반이 필요한 곳에 필수적으로 사용되고 있는 전동 지게차의 주 전원은 배터리를 사용한다. 세계적으로 사용되는 사용전압이 지역마다 다르지만, 36V, 48V, 80V를 주로 많이 사용한다. 이렇게 지역마다 사용전압이 다름으로 인하여 전동지게차를 구동시키는 컨트롤러의 공용화가 어려워 제조원가 상승에 요인이 된다. 또한 위에서 언급한 광범위한 사용 환경 때문에 컨트롤러에 안정된 전원공급이 매우 어렵다. 예를 들면 경사로 주행이나 매우 무거운 화물을 운반하는 환경에서는 주 전원인 배터리의 drop으로 인한 문제점이 발생되고 또한, 냉동 창고의 경우 매우 저온의 상태에서 작업을 요구되고 매우 덥거나 습한 상태에서도 작업을 해야 하는 주변 온도의 영향으로 인한 컨트롤러에 전원 공급의 문제점 등이 현재 야기되고 있다. 이러한 문제점들을 전동 지게차 업체마다 개선을 하고 있다. 하지만 회로 구성의 복잡함과 가격적인 부분을 아직까지 해소하지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 전동지게차의 주 전원인 배터리 입력 전원의 영향에도 강인하고 신뢰성이 뛰어나며 안정적으로 컨트롤러를 구동시키는데 필요한 출력 전원을 공급할 수 있으며 간단한 회로 구성을 바탕으로 저가형으로 설계하여 많은 장점을 가지고 있다.

2. 본 론

2.1 플라이백 컨버터 토폴로지

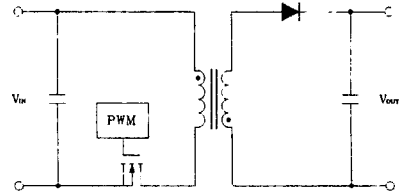
플라이백 컨버터는 비절연 컨버터 중 백-부스트 컨버터와 기본 동작이 동일하다. 그림 1은 플라이백 컨버터를 나타낸 그림이다. 플라이백 컨버터의 동작은 다음과 같다. 스위치가 턴-온 되면 트랜스포머의 1차측 권선으로 전류가 흐르게 되고 이 권선에는 입력 전압이 인가된다. 한편 2차측 권선에는 후점의 방향에 의해 1차측 권선과 반대 극성의 전압이 인가되므로 다이오드는 역바이어스 되어 차단된다. 따라서 1차 권선의 자화 인덕턴스에만 에너지가 축적된다. 반대로 스위치가 턴-오프 되면 2차측 권선에는 스위치 턴-온 상태와 반대 극성의 전압이 인가되어 다이오드를 도통시킴으로써 트랜스포머의 자화인덕턴스에 축적된 에너지를 출력 측으로 방출시키게 된다. 트랜스포머의 1차측에 Volt·sec 평형조건을 적용시키면

$$V_i D T_s = \frac{N_1}{N_2} V_o (1 - D) T_s \quad (1)$$

이 되고, 이 식으로부터 출력전압은

$$V_o = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{D}{1 - D} V_i \quad (2)$$

로 구해진다. 식(2)는 백-부스트 컨버터에서 트랜스포머의 권선비가 추가된 것이다. 플라이백 컨버터의 트랜스포머는 절연과 출력전압 크기 조절의 역할 뿐만 아니라, 자화 인덕턴스에 의한 권선의 역할



<그림 1> 플라이백 컨버터

<표 1> 전동지게차 제어회로용 SMPS설계사양

방식	플라이백 컨버터
스위칭소자	UC2845
제어방식	12V 출력전압 피드백에 의한 제어
스위칭주파수	81kHz
입력전압	DC15V - DC80V
출력전압/전류	DC12V/500mA 3개, DC8V/1A 1개
출력전력	28W

도 겸하고 있다는 것이다. 따라서 경제적인 면에서 고려할 때 실재 산업에 많이 사용되는 컨버터 회로이다[1].

3. 전동지게차 SMPS 설계

본 논문에서 제안한 SMPS는 신뢰성이 있고 출력 특성이 우수한 전동지게차 제어회로용 다출력 전압형 SMPS로 설계하는 것으로 하였다. 이 SMPS는 가급적 회로 구성이 간단하고 부피가 작으며, 국내에서 구입하기 쉬운 부품을 사용하여 경제적으로 구성할 것을 목표로 하였다.

3.1 설계사양

제안된 전동지게차의 제어회로용 SMPS의 설계사양은 표1과 같다. 표에 나타난 것처럼 플라이백 컨버터 방식을 채택하였으며 전류모드컨트롤러인 TI사의 UC2845를 사용하였다. 전동지게차의 경우 입력전압은 배터리를 사용하기 때문에 전압 드롭과 부품 공용화를 위해 DC15V~80V로 정하였다. 출력전압은 파워모듈에 공급하는 용도와 DSP의 전원 공급 및 엑코더와 각종 센서류의 전원 공급에 사용하는 것으로 총4개의 출력을 가지게 설계하였다.

3.2 트랜스포머

SMPS에 사용되는 트랜스포머는 최소의 크기를 가지며 포화가 없고 전력 손실이 없는 우수한 특성을 가져야 한다. 제안된 전동지게차의 제어회로용 SMPS에 사용되는 트랜스포머는 스위칭 주파수가 높으며 다출력의 특성을 가진다. 또한 트랜스포머의 1차측, 즉 입력측은 넓은 입력 전압, 트랜스포머의 2차측, 즉 출력측에는 부하의 변화가 많음에도 안정적인 출력 특성을 가져야 한다.

이러한 안정적인 특성을 갖는 트랜스포머를 설계하기 위한 순서를 다음과 같이 정리하였다.

- 1) 컨버터의 입력 전압 결정
- 2) 트랜스포머의 턴-온 타임 가정
- 3) 자속밀도 선택
- 4) 코어 사이즈와 재질 선택
- 5) 1차측 인덕턴스 계산
- 6) 1차측 턴수 계산
- 7) 2차측 턴수 계산
- 8) 공극 계산
- 9) 코어의 자속 밀도와 포화 마진 체크

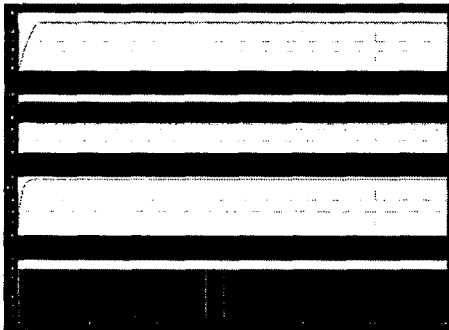
위키 순서를 토대로 하여 트랜스포머의 코어는 TDK사의 PC40E130을 선택하였고 여러 번의 실험을 통하여 가장 우수한 특성의 것으로 확정하였다.

3.3 제어회로

대부분의 SMPS 제어 회로는 절연형 SMPS의 출력전압의 제어에 있어서 제어회로의 절연을 위해서 간편하게 사용할 수 있는 제어 회로 중의 하나인 opto coupler와 shunt regulator인 TLP621과 TL431을 사용하였다. opto coupler로부터의 출력은 제어용 IC칩 내부의 비교기 또는 오차증폭기로 입력되는데 TL431 내부의 OP Amp를 오차증폭기로 이용하는 경우는 보상 요소를 첨가하여 비교기로 입력하여 동작시킨다. 하지만 제어용 IC칩 내부의 오차증폭기로 입력하여 이를 이용하는 경우는 보상요소는 필요하지 않게 된다. 이 회로의 동작을 간단히 설명하면, R_1 과 R_2 로 분압된 출력전압 V_o 가 설정치 $V_{REF}(2.5V)$ 보다 높아지면 TL431의 캐소드 전압이 낮아지면서 전류가 증가하고 이는 곧 TLP621의 전류의 증가, 전압의 증가로 이어지면서 스위치 구동펄스 시비율을 감소시켜 출력전압을 V_{REF} 에 추종하게 하는 것이다[2]. 하지만 본 논문에 제안한 SMPS는 비 절연형으로 설계되었다. 그 이유는 SMPS 자체만의 절연은 현 시스템에서는 필요가 없기 때문이다. 따라서 부가적인 소자가 제거됨으로써 원가면에서 이득을 갖게 되었다. 또한 실험으로 얻은 데이터로 R,C 값을 재설계하여 최적의 성능을 구현하였다. 따라서 종전 절연형 SMPS와 같은 성능을 구현하였다.

4. 시뮬레이션 및 실험 결과

제안된 전동지게차의 제어회로용 SMPS의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 시뮬레이션은 PSIM 6.0을 사용하였으며 시뮬레이션 총 시간은 0.3s, time step은 0.1 μ s로 수행하였다. 그림 2, 3, 4는 시뮬레이션 결과 파형이다. 그림 2의 파형은 위부터 V_{comp} , $V_{rr/ct}$, V_{cc} , V_{out} 를 나타내었다. 위의 2개의 파형, 즉 V_{comp} , $V_{rr/ct}$ 파형으로 PWM파형이 만들어진다. V_{cc} 파형은 UC2845에 공급되는 전압으로 최소 7V이상의 전압이 공급되어야 하며 처음 기동 시 7.8V이상이어야 한다. V_{out} 파형은 UC2845에서 출력되는 파형을 나타낸다. 출력전압을 나타낸 파형이다. 제어전원전선을 제거하였음에도 불구하고 12V 출력전압 피드백에 의한 제어가 잘 이루어짐을 알 수 있다. 그림 3과 4는 출력전압과 전류를 나타낸 파형을 나타낸 그림으로 파형으로부터 알 수 있듯이 설계했던 출력전압 12V와 전류 500mA가 출력됨을 알 수 있다. 그림 5, 6, 7은 제안된 전동지게차의 제어회로용 SMPS의 실험 파형이다. 그림 5에 나타난 파란색 파형은 트랜스포머 1차측 전압을 나타낸 파형이다. 이 파형은 스위칭이 제대로 잘 일어나는지를 알 수 있게 한다. 자주색 파형은 입력측 전류를 나타낸 파형이다. 중부하로 갈수록 전류의 크기가 커짐을 알 수 있다. 전류 파형을 보았을 때 그 증가량이 선형적으로 증가하므로 트랜스포머의 코어는 포화되지 않음을 알 수 있고 코어 선정이 적함을 알 수 있다. 그림 6과 7은 부하 가변 및 입력 전압 가변에 따른 실험을 수행한 결과 파형으로 실제 적용되는 전동지게차에서 언덕길 같은 경사로를 주행할 때 배터리 전압의 전압 강하가 발생하고 여러 동작 모드에서 소모되는 부하량이 다름에도 불구하고 출력전압이 안정함을 알 수 있다. 실제 경사로 주행 시 배터리의 전압이 48V 기준에 20V까지 강하된다. 따라서 PSIM6.0을 사용하여 전동지게차의 제어회로용 SMPS를 시뮬레이션 하여 설계를 검증하였고 실험을 수행한 결과 파형으로 알 수 있듯이 얻은 결과와 비슷함을 알 수 있다.



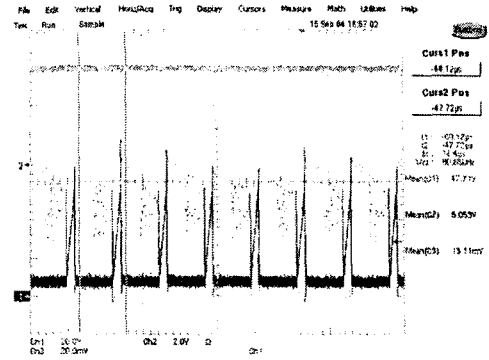
<그림 2> V_{comp} , $V_{rr/ct}$, V_{cc} , V_{out}



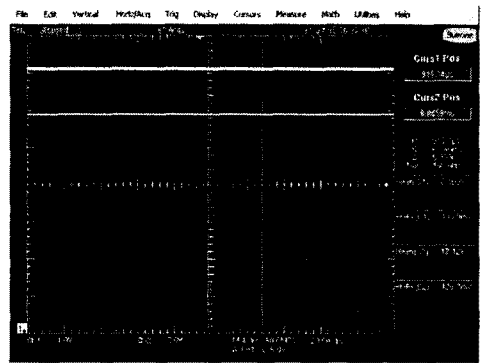
<그림 3> 출력전압 파형



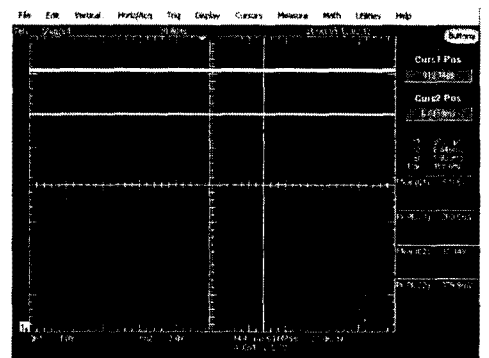
<그림 4> 출력전류 파형



<그림 5> 트랜스포머의 전압, 전류와 출력전압 파형



<그림 6> 중부하에서의 출력전압



<그림 7> 최대부하에서의 출력전압

5. 결 론

본 논문에서는 전동지게차를 위한 제어회로용 SMPS 설계에 대하여 서술하였다. 제안된 SMPS는 회로구성이 간단하고 리플이 없는 안정된 출력전원을 공급할 수 있도록 하였다. 또한 저가격이며 소형화가 되도록 하였다. 본 설계를 바탕으로 실제 제작과 함께 시뮬레이션, 실험을 통하여 설계의 타당성을 검증하였다. 그 결과로 부하 변동에 따른 입력 전압의 가변에도 안정적인 출력전압을 가지는 전동지게차에 사용되는 제어회로용 SMPS로 매우 적합할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김희준, "스위치 모드 파워 서플라이", 성안당, 1993.
- [2] "SMPS 기본설계", 월간전자부품, 2000.
- [3] Ron Lenk, "Practical Design of Power Supplies," McGraw-Hill, 1998.
- [4] "UC2845 Current Mode PWM Controller," Texas Instruments, Incorporated, Dallas, TX, Datasheet uc2845a, 2002.
- [5] "Ferrite for Switching Power Supplies," TDK, Technical data 2003.