

비상용 배터리 설비의 신뢰성 향상을 위한 SMPS방식의 충전시스템

김영민*, 황종선*, 이해기**, 노신래***, 전충극***
 남도대학*, 충청대학**, 금강기건***

Improvement of trust on charging system use of SMPS circuits for power storage battery

Kim Yeong Min*, Hwang Jong Sun*, Lee Hae Ki**, Roh Sin Rae***, Jeon Chung Keuk***
 Namdo Provincial College*, Chung Cheong Univ.***, Kumkangkikun***

Abstract - 본 연구에서는 배터리의 특성에 알맞은 경제적이면서 신뢰성 높은 충전특성을 가진 비상용 전기 설비용 충전시스템을 SMPS 기반으로 설계하여 제작하였다. 충전효율을 높이기 위해 정전류방식의 충전회로를 구성하여 제작하였고 배터리 특성시험을 통해 그 타당성을 입증하였다.

1. 서 론

비상용 전기설비가 동작하기 위해서는 동력원인 배터리와 충전제어 설비가 필요하다. 통신기지국, 무인중계소 및 일부 비상용 전기설비용 배터리 시스템에는 주로 부동충전 방식의 전원공급 장치가 사용되는데 이러한 경우에 발생할 수 있는 축전지 수명 단축을 방지하고 축전지가 항상 만 충전상태에서 부하에 안정적으로 전원을 공급할 수 있도록 하는 고 신뢰성의 충전 전원 시스템이 필요하다. 비상용 전기설비에서 배터리의 용량과 수명이 비상용 전기설비의 성능과 수명에 가장 중용한 영향을 미친다고 할 수 있다. 이러한 배터리의 성능과 수명에 직접적인 영향을 미치는 중요한 장치에는 충전기가 있다. 충전기는 배터리의 특성에 맞는 적절한 전류를 정해진 시간동안 경해진 전압으로 조절해가며 충전해야 많은 에너지를 저장 할 수 있고 배터리의 수명을 길게 연장할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 배터리의 특성에 알맞은 경제적이면서 신뢰성 높은 충전특성을 가진 비상용 전기 설비용 전용 충전시스템 연구하고자 한다.

2. 본 론

2.1 스위칭전원(SMPS) 방식

본 연구에서는 충전시스템 전반부에 스위칭전원공급장치(SMPS)를 설계하여 장착하고 후반부에 충전회로를 설계하여 충전장치를 구성하였다. 스위칭전원 방식으로 플라이백 컨버터방식을 적용하여 충전회로를 구성하였다. 플라이백 방식이 가지는 경제적, 구조적 이점을 살리고 단점인 출력 리플과 변환효율을 높이기 위해 2개의 플라이백 컨버터를 병렬로 구성하여 출력을 높이는 방식으로 구성하였다.

그림 1은 플라이백 컨버터의 기본회로(a)와 이론적인 출력파형(b)을 나타낸 것이다.

트랜스포머의 1차 측에 Volt·sec 평형조건을 적용하면

$$V_i D T_s = \frac{N_1}{N_2} V_0 (1 - D) T_s \tag{1}$$

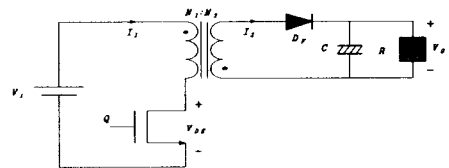
이 되고, 이 식으로부터 출력전압을 구하면

$$V_0 = \frac{N_1}{N_2} \frac{D}{1 - D} V_i \tag{2}$$

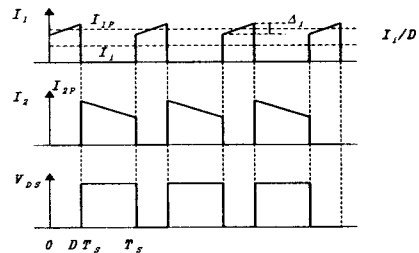
를 구할 수 있다.

이 식은 벅 부스트 관계식인 $V_0 = \frac{D}{1 - D} V_i$ 와 비교하면

트랜스포머의 권선비만 추가된 형태임을 알 수 있다. 이 컨버터에서 적용되는 트랜스포머는 절연과 출력전압의 크기를 조절함은 물론 자화인덕턴스에 의한 필터의 역할도 함께하고 있어 경제적인 면을 고려할 때 실제응용에서 많이 사용되는 컨버터 방식이다.



(a) 플라이백 컨버터 기본회로



(b) 플라이백 컨버터의 이론적인 동작파형

그림. 1 플라이백 컨버터 회로구성과 동작방식

2.2 트랜스포머 설계

트랜스포머는 ER4042코어를 사용하여 제작하였으며, 1차와 2차에 0.45mm 코일을 메인전원 선으로 사용하며 0.35mm 코일을 보조코일로 사용하였다. 코어가 가지는 LP값은 250uH로 계산하여 제작하였으며, 출력측은 2개의 메인전원 코일과 1개의 보조전원 코일로 제작하였다.

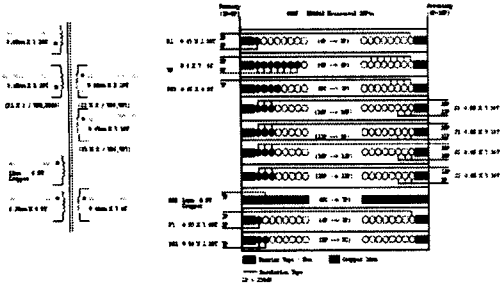


그림. 2 트랜스포머의 설계 회로도

1차 측 인덕턴스를 구하기 위해 Δi 를 구해야 하나 자체가 Δi 의 L_i 함수가 되므로 독립적으로 결정되지 못하고 참고 값으로 I_{IP} 의 30-50%로 정하는 것이 일 I_{IP} 반적이다. 본 설계에서는 30%로 결정하고 $I_b = \Delta i / 0.3$ 을 대입하여 인덕턴스 값을 구하였다. 이렇게 얻어진 값은 300uH이다.

1차 인덕턴스 L_i 값은 식 3과 같다.

$$L_i = \frac{V_{imin} D_{max} T S}{\Delta i} \quad (3)$$

여기서 Δi 는 식 4와 같다.

$$\Delta i = 2 \left(I_{IP} - \frac{I_i}{D} \right) = 2 \left(I_{IP} \frac{P_0}{\eta D V_i} \right) \quad (4)$$

여기서 I_i 는 입력전류의 평균치이고 I_{IP} 는 최대 피크치를 나타낸다.

1차 측 권선수 N_i 는 식 5와 같다.

$$N_i = \frac{L \cdot I_{IP}}{A_e \cdot B_m} \quad (5)$$

여기서 B_m 은 최대자속밀도이며, A_e 는 코어의 유효단면적을 나타낸다. 또한 N_2 는 식 6과 같다.

$$N_2 = \frac{D_{min} V_0 N_i}{D_{max} V_{imin}} \quad (6)$$

2.3 메인 스위치 설계

입력전류의 평균 최대치 I_{max} 는 식 7과 같다.

$$I_{max} = \frac{P_0}{\eta V_{imin}} \quad (7)$$

I_b 는 다음 식 8과 같이 구해진다.

$$I_{IP} = \frac{I_{imax}}{D} + \frac{\Delta i}{2} \quad (8)$$

메인스위치의 전압스트레스는 다음과 같이 구한다.

$$V_{DSmax} = \frac{N_1}{N_2} V_0 + V_{imax} \quad (9)$$

2.4 환류 다이오드 설계

다이오드 전압의 최대치는 식 10과 같다.

$$I_{2P} = \frac{I_{0max}}{D} + \frac{N_1 \Delta i}{2 N_2} \quad (10)$$

다이오드 전압 스트레스 식은 식 11과 같다.

$$V_{Dmax} = V_0 + \frac{N_2 V_{imax}}{N_1} \quad (11)$$

2.5 출력 커패시터 설계

메인 스위치 용량은 식 12와 같이 구해진다.

$$C = \frac{V_0 D}{\Delta v_0 f_s R} \quad (12)$$

또한, C의 전류 rms값은 다음 식으로 구한다.

$$I_{rms} = \sqrt{D \left(\frac{I_{cmax}}{D} - I_{cmax} \right)^2 + D I_{cmax}^2} \quad (13)$$

2.6 시스템 구성

충전회로의 전체구성은 그림 3과 같이 AC90-260V에서 작동할 수 있는 SMPS를 기반으로, AC입력 단에는 외부에서 들어오는 순간 서지전압을 차단하기 위한 서지보호회로와 외부에서 들어오는 전원노이즈로부터 회로의 오작동을 방지하기위해 노이즈필터를 장착하였다. AC전압은 브리지정류기를 거쳐 약 250V의 DC전압으로 변환되어 고주파트랜스 1차 측에 인가된다. 고주파 트랜스포머는 페라이트 재질로 구성되며 약 130Khz로 작동하는 드라이버 IC에 의해 스위칭 된다. 1차 측에 연결된 트랜스포머가 구동FET에 의해서 전류가 흐르게 되면 2차 측에는 1차코일과 반대방향의 유도기전력을 발생한다. 유도된 기전력은 다이오드에 의해 차단되고 1차 코일에는 자화에너지가 축적된다. 스위칭 FET가 off상태가 되면 2차 측의 유도전류는 전류의 방향이 반대로 바뀌면서 1차 측에 축적되어있는 에너지가 한 번에 방출되어 출력으로 전류를 흘려보내는 구조로 구성하였다.

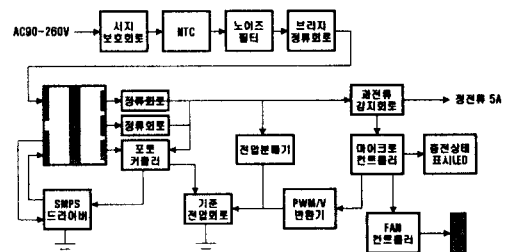


그림. 3 전체 시스템 구성도

2차 측으로 유도되어 나온 전류는 반파 정류되어 출력으로 공급되는데 더 높은 전류와 리플을 감소시키기 위해 트랜스포머의 2차 측에 2개의 반파정류회로를 구성하고 병렬로 구성하여 출력 측으로 방출하도록 회로를 구성하였다. 시스템의 안정적인 동작을 위해 전류를 감지할 수 선트(SHUNT)저항을 연결하였고, 감지된 전류전압을 증폭하기 위한 앰프로 구성된 과전류 감지회로를 출력 단에 구성하였다. 감지된 출력전류는 마이크로프로

세서에서 전류정보를 처리한 후 PWM파형으로 변환되어 SMPS의 출력전압의 기준이 되는 전압변환기의 전압을 조절하여 정전류 전원공급이 가능하도록 시스템을 구성하였다.

3. 배터리 충전 및 부하시험 결과

충전기의 배터리 충전성능 및 부하시험을 위하여 전압계, 전류계 및 온도계 등으로 구성된 시험기를 제작하여 시험하였다. 배터리의 방전특성을 알기 위해 초기 만 충전상태인 25V 배터리전압을 0V까지 방전되는 시점까지 방전하고 전류의 변화량을 기록하였다. 방전방법은 배터리의 충/방전 시험을 위해 제작한 시험기를 이용하여 시험했으며, 50/1KW × 2개의 대 전력용 저항을 병렬로 연결하여 약 10A로 전류를 방전하였다. 그림 4는 배터리 방전특성을 시험한 그래프로 25V에서 21V까지는 비교적 선형으로 감소하지만 21V이하에서 급격히 전류가 감소하고 있다. 따라서 배터리의 종지전압은 21V정도이며 배터리 회사에서 권장하는 종지전압인 21.5V와 특성이 일치함을 알 수 있었다. 따라서 배터리가 완전방전된 상태를 알리는 전압을 22V로 설정하였으며, 배터리 시스템에서 운영은 22V이하로 내려가는 것은 바람직하지 않음을 알 수 있었다.

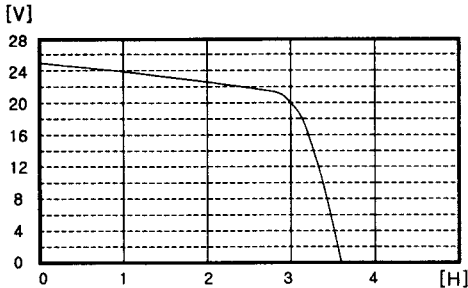


그림. 4 연속전지 모듈의 방전특성 시험

배터리 시스템이 운영할 수 있는 전압을 22V로 보았을 때 배터리가 갖는 종지전압은 22V로 볼 수 있으며 이에 따라 배터리의 초기 시험전압의 조건을 22V로 설정하여 시험하였다.

배터리의 방전전류가 22V에 도달했음을 확인하고 충전기의 배터리 충전시험을 개시하였다. 배터리 충전기의 간단한 사양은 6A 정전류 충전방식을 사용하며 20~40V의 전압조절과 ±5%이내의 전류변동률을 갖도록 설계하였다. 그림 5는 배터리 충전시험을 나타낸 그래프로 충전기를 배터리에 연결할 때 초기전압은 약 23.5V 전압을 나타낸다. 6A의 정 전류로 충전할 경우 29V까지는 선형적으로 증가하지만 29V를 초과하면서 급격히 전압과 배터리 온도가 상승한다. 이는 배터리의 충전이 포화 상태에 이르고 있음을 나타내는 것으로 이 상태를 장시간 방치할 경우 배터리의 전해액이 누설되거나 열에 의한 손상을 가져올 수 있다. 만일 이러한 문제를 해결하기 위해 29V를 충전 완료전압으로 설정할 경우 배터리가

만 충전이 되지 않은 상태에서 충전을 끝내게 될 수 있으며 이는 배터리가 가지는 최대 에너지 저장용량을 사용할 수 없음을 의미한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 29V의 시점에 도달하여 전압이 급상승할 때 충전을 단속적으로 지속하며 29.5V가 가까워질수록 충전시간보다 off시간이 커지도록 하는 PWM 충전제어방식 적용하였다.

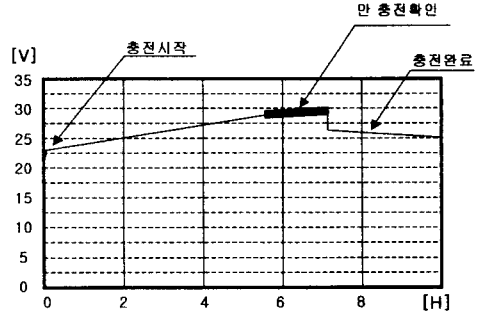


그림. 5 배터리 충전 특성

그림 6은 충전기에 50(1kw)의 부하저항을 연결하고 5시간 동안 출력전류의 변화량을 측정된 결과이다. 측정 결과 5.85A~6.27A의 전압변동률을 보이고 있어 약 5% 정도의 전압변동률을 보이고 있다. 전기안전 시험에서 요구하는 출력전류의 변동률은 10%이내이다.

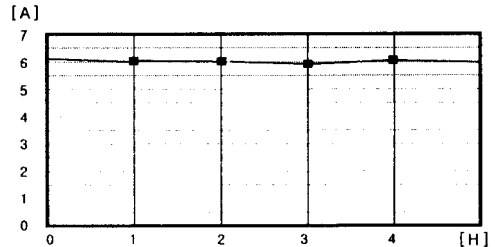


그림. 6 50(1kw) 부하시험에 대한 전류변동률

충전기를 이용한 충전시험에서는 배터리의 상태와 계절 또는 주변시험 여건에 따라 달라지기는 하지만 평균 6시간에서 7시간 사이에서 충전완료 되었다.

4. 결 론

본 연구는 충전기의 전원공급부를 SMPS 기반으로 설계하였고, 충전효율을 높이기 위해 정전류방식의 충전회로를 적용하였다. 배터리 특성시험을 통해, 배터리의 종지전압은 약 21V(제조업체의 권장 종지전압은 21.5V)임을 알 수 있었으며, 배터리 충전시험은 22V에서 충전을 시작하여 29.5V가 되는 시점을 완전 충전상태로 정의하였다. 6A로 충전 할 경우 22V에서 29V까지는 선형적인 증가가 이루어졌으나 29V를 초과 하면서 과포화 상태로 진입함을 알 수 있었다. 따라서 과대한 전류를 계속 흘릴 경우 배터리의 손상을 초래할 수 있어, 29V에서 29.5V 구간에서는 PWM충전 제어방식을 적용하여 만

충전이 가능하였다.

충전기의 부하시험에서는 50(1kw) 저항을 연결하여 6A의 전류를 5시간동안 흘리면서 전류의 변화량을 관찰한 결과, 전체 전류의 평균 변화량은 $\pm 5\%$ (전기안전 시험시 요구범위 $\pm 10\%$ 이내)이내의 범위에 들어 안정적인임을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김호용, "전력 저장(SMES와 BES를 중심으로)", 전기학회지 41권 6호, pp. 40-51, 1992
- [2] 성재석 외{전지이용 에너지 저장 시스템 개발(II)}, 한국 동력자원 연구소, 1990.11
- [3] R.Wagner, M.Schroeder, T.Stephanblome, E.Handschin, "A multifunctional energy-storage system with high-power lead-acid batteries", Journal of Power Sources V.78, N.1-2 pp.156-163, March 1999
- [4] Atsuo Kawamura, Takahiro Yanagihara, " State of Charge Estimation of Sealed Lead-Acid Batteries used for Electric Vehicles", Proceedings of the Record of the 29th Annual IEEE PESC V1, pp. 583-587, 1998
- [5] Hans Bode, Lead-acid Batteries, New York Wiley, 1977