

Phase-Lock 기법을 이용한 Battery 충전기 설계

송 의 호

창원대학교 제어계측공학과

A Design of Battery Charger using Phase-Lock technique

Eui-Ho Song

Changwon National University

Abstract - The phase-lock technique is applied to a three-phase semi-bridge type battery charger system. Using an inner fast dynamic loop, the phase-locked voltage control (PLVC) technique of three-phase semi-bridge converter is proposed to give a frequency synchronism and to reduce the subharmonics due to the unbalance of transformer or power line. To protect the power devices, the two stage soft-start function with softly locking the phase and softly increasing the current is presented. As limiting the reference voltage of the inner voltage control loop, multi-lock phenomena are removed on the PLVC loop. A current limit function is also proposed to limit the current of battery and converter. The proposed controller is confirmed through experiment results.

1. 서 론

오늘날 산업계의 Battery 충전시스템은 가전용 소용량으로부터 산업용 대용량 시스템에 이르기까지 용용분야는 광범위하며 점차로 확장되어가고 있는 추세이다. 휴대용 note book PC 나 상용화가 임박한 전기자동차 시장을 미루어 보아도 잠재력의 무궁함을 짐작할 수 있다. 기존 Battery 충전기에 사용되는 전원장치는 다음과 같이 몇가지로 분류될 수 있다.

- Diode에 의한 충전기
- Thyristor에 의한 충전기
- Diode + DC chopper
- SMPS 방식을 이용한 충전기

Diode 방식에 의한 충전기는 가장 간단하고 저렴하게 구현될 수 있으나 전원전압의 변동이나 충전전류의 제어가 불가능하다. Thyristor 제어방식은 대용량 충전시스템에 적합하며 높은 신뢰성을 구사한다. Diode + DC chopper 방식은 비교적 제어방식이 간단하고 출력리플도 적으나 신뢰성에서 thyristor 충전기에 비해 떨어진다. SMPS 방식은 소용량 시스템에서 출력전압을 절연시킬 필요가 있는곳에 주로 사용된다.

대용량 충전시스템에 적합한 thyristor 충전기는 전원 및 제어방식에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 단상 half-wave thyristor converter
- 단상 full-bridge thyristor converter
- 3상 semi-bridge thyristor converter
- 3상 full-bridge thyristor converter

비교적 중소형부하에서 입력 전원전압이 단상일 경우에는 단상 thyristor converter를 사용하며, 산업계에서 주로 사용되는 대용량 부하에는 3상 전원을 사용한 3상 thyristor converter를 사용한다. 3상 full-bridge thyristor converter는 6개의 정류소자가 모두 thyristor이고, 3상 semi-bridge thyristor converter는 정류

소자 6개중 3개만 thyristor를 사용하고 나머지는 diode를 사용한다. 그러므로 비용면에서는 3상 semi-bridge thyristor converter가 full-bridge thyristor converter보다 유리하다[7]. 따라서 본 논문에서는 3상 semi-bridge thyristor converter를 사용하여 battery 충전장치에 대해 언급하고자 한다.

2. Battery 충전기 시스템의 구성과 Phase-Lock 현상에 대한 Modeling

본 논문에서는 그림 1과 같이 3상 semi-bridge converter를 이용한 battery 충전기 시스템을 구성하였다. Battery 부하의 경우 시스템의 동특성이 그다지 중요하지 않으므로 3상 full-bridge converter보다 가격이 저렴한 3상 semi-bridge converter를 채택하였다. Converter 제어는 Vs를 통한 내부전압 제어루프와 Vo를 통한 외부전압제어루프로 이루어지며, Ib를 통해 battery 전류를 제한시키고 Io를 통해 시스템의 전체전류를 제한한다.

시스템의 핵심원리인 Phase-lock 현상을 살펴보자. 전류신호와 전압신호를 처리한 제어기 출력신호는 전압-주파수 변환기 V/F에 가해진다. V/F 변환기의 출력주파수는 3단 ring counter를 구동한다. Ring counter로부터의 각 출력신호는 thyristor gate 펄스 발생회로에서 증폭되어 R, S 및 T 상의 gate에 가해진다. V/F 변환기출력은 시스템이 정상상태일때 180Hz를 유지하기 위해 직류 bias 전압을 필요로한다. 이러한 phase-locked voltage control (PLVC) [2-5] 방식의 동작 예를 설명하기위해 편의상 bias 전압을 무시하자. 검출된 converter 전압 Vs가 기준전압 Vsr 보다 작은 경우, 오차전압 Vse는 양의 값이 되고 V/F에 가해지는 전압도 양이되어 V/F단의 출력주파수는 증가한다. 이로인해 ring counter는 정상동작때 보다 빠르게 순환하여 thyristor gate 점호각을 줄인다. 점호각이 줄어들면 converter 출력전압 Vs는 증가하고 기준전압 Vsr과의 오차전압 Vse는 줄어든다. 한편, 역으로 출력전압 Vs가 기준전압 Vsr 보다 크게되면 오차전압 Vse는 음의 값이 되고 V/F에 가해지는 전압도 음이되어 V/F단의 출력주파수는 감소한다. 이로인해 ring counter는 정상동작때 보다 느리게 순환하여 thyristor gate 점호각을 늘인다. 점호각이 늘어나면 converter의 출력전압 Vs는 감소하고 기준전압 Vsr과의 오차전압 Vse는 줄어든다.

Phase-lock 현상을 고려한 모델링이 그림 2에 주어져 있다. Semi-bridge converter의 출력전압식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V_s = \frac{3E}{2\pi} (1 + \cos \theta) \quad 0 \leq \theta \leq 180$$

여기서 입력 E는 선간입력전압의 최대치이다. 전압지령치 u와

출력전압 V_s 로부터 귀환된 신호의 차는 이득 K 만큼 증폭된다. 정상상태에서 이러한 오차는 0이 되고, bias frequency f_n 에 의해 V/F 변환기의 출력주파수 f_r 은 180Hz로 된다. f_r 은 3단 ring counter에 의해 f 에서 60Hz가 되어 전원주파수와와 차신호가 적분기에 입력된다. 여기서 적분기는 가상적이며 주파수와 위상의 변환을 나타내는 것이다. 적분기 출력신호 θ 는 converter의 출력전압식에서 입력항으로 들어가게 된다. 이러한 귀환방식에 의해 전압지령치 u 를 변화시키면 thyristor의 firing pulse는 자동적으로 전원전압의 파형과 동기를 이루며 출력전압이 지령치를 추종하도록 한다.

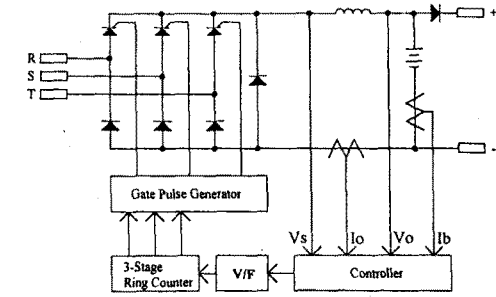


그림 1 3상 semi-bridge converter를 이용한 battery 충전기 시스템

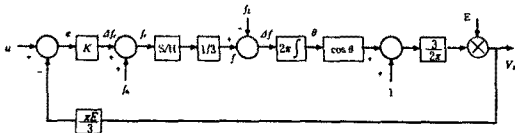


그림 2 Phase-lock 메카니즘에 대한 모델링

3. 제어기 동작원리

Battery 충전기 시스템의 전체 제어블록도가 그림 3에 나타나 있다. 제어기의 구성은 V_{sr} 로부터 thyristor 까지의 내부전압 제어루프와 V_{or} 로부터의 외부전압제어루프, 그리고 battery전류 및 전체전류의 제한을 위한 보조 전류제한루프로 이루어진다.

Power on시 V_{oc} 가 step 파형으로 가해지면 battery 기준전압 V_{or} 과 battery 전압 V_o 와의 오차전압 V_{oe} 는 그림 4의 soft-start 기능을 가진 적분기에 가해진다. PLVC 방식에서는 초기 locking 전압을 필요로 하며, 만일 0V에서 V_{sr} 이 증가하게 되면 시스템은 hunting 하게 된다. 이러한 locking 전압은 단전원 OP amp LM358의 출력 off set 전압으로부터 V_{cc} 를 soft한 기울기로 증가시켜 얻을 수 있다. Soft-start 시간은 전압 regulator인 TL431에 부착된 RC로 조정 할 수 있다. 출력전압이 OP amp의 V_{cc} 에 의해 1차 soft-start가 이루어진 후, 적분기에 의해 2차 soft-start 특성이 발생한다. 이러한 2단계 soft-start 기능에 의해 power on시 부드럽게 phase를 locking 시키고 전류를 서서히 증가시켜, 시스템을 구성하는 전력용 반도체소자를 보호할 수 있다. V/F 변환기의 입력전압이 지나치게 상승할 경우 locking 점이 다중으로 형성될 수 있으며 잘못된 locking 상태에서는 시스템의 안정영역이 극도로 줄어든다. 이러한 다중 locking 현상을 막기 위해서는 내부전압제어루프의 기준전압 V_{sr} 의 상한값을 제한시킬 필요가 있다. 그림 4에서는 TL431에 부착된 저항비를 이용하여 단전원 OP amp의 V_{cc} 를 제한시킬 수 있다. 시스템이 정상상태에 도달하면 외부전압제어루프의 오차전압 V_{oe} 와 내부전압제어루프의 오차전압 V_{se} 는

0V에 도달하게 된다.

전류제한 기능을 살펴보자. Battery의 과방전으로 인해 power on시 battery에 과충전전류가 흐르게 되면 battery 전류 I_b 가 증가하여 기준값 I_{br} 보다 크게 된다. 이로 인해 전류오차신호 I_{e} 가 발생하고 I_{e} 는 출력전압의 기준값 V_{or} 을 낮추어 즉, converter의 출력전압을 낮추어 battery로 흐르는 전류를 제한한다. 이와 유사한 원리로 충전기에 과부하가 걸린 경우, converter에 흐르는 출력전류 I_o 가 증가하여 기준값 I_{or} 보다 크게 될 수 있다. 마찬가지로 이때 전류오차신호 I_{e} 가 발생하고 I_{e} 는 출력전압의 기준값 V_{or} 을 낮추어 converter 전류를 제한한다.

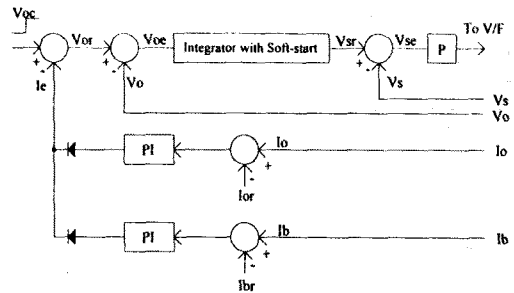


그림 3 Battery 충전기 시스템의 전체 제어블럭도

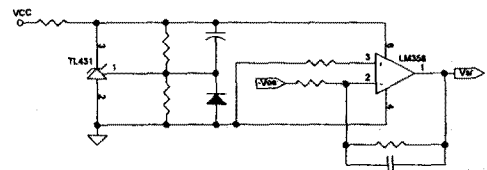


그림 4 Soft-start 기능을 가진 적분기

4. 실험결과

본 논문에서 제안된 제어기를 사용하여 110Vdc x 150Adc의 부하에 대하여 실험하였다. 그림 5에서 thyristor converter 출력전압 V_s 와 battery 전압 V_o 가 나타나 있다. V_o 에서 나타나는 리플전압은 converter와 battery간의 선로 - 약 2m x 10 ϕ - 에 의한 line drop 으로 볼 수 있다. 그림 6에서 내부전압제어루프

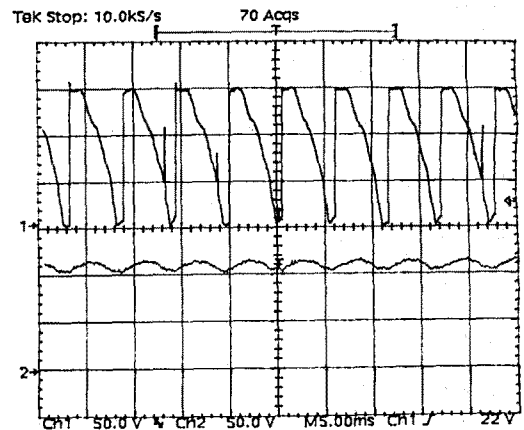


그림 5 Thyristor converter 출력전압 V_s 와 battery 전압 V_o

의 기준전압 V_{sr} 과 출력전류 I_o 의 파형이 나타나 있다. V_{sr} 의 파형으로 부터 2단 soft-start 기능이 수행됨을 알 수 있다. 그림 7은 120% 부하조건에서 battery 출력전압 V_o 와 전류오차 I_e 의 파형이 나타나 있다. 정격전류를 초과한 전류로부터 수하특성이 이루어져 출력전압 V_o 가 하강함을 알 수 있다. 또한 부하조건이 100%로 회복될 때 출력전압은 정격값으로 회복된다.

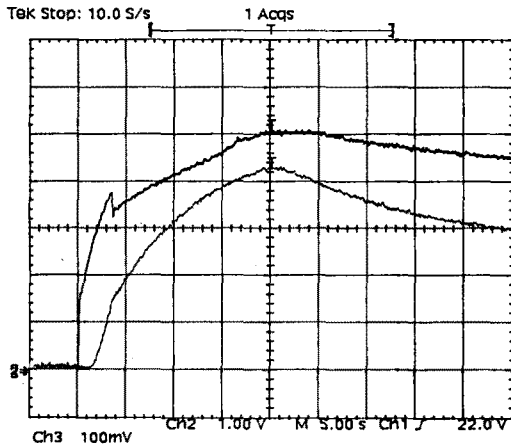


그림 6 내부전압제어루프의 기준전압 V_{sr} 과 converter 출력전류 I_o

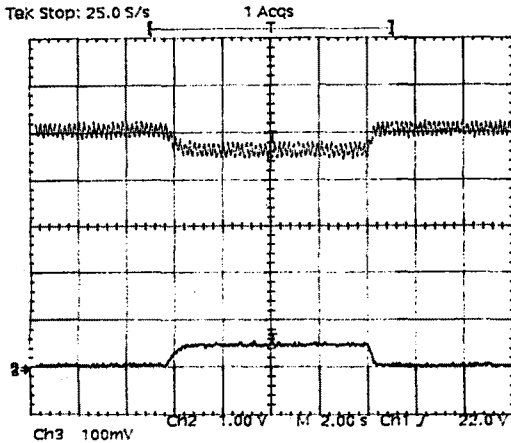


그림 7 Battery 전압 V_o 와 전류오차신호 I_e

5. 결 론

본 논문에서는 3상 thyristor semi-bridge converter에 phase-lock 기법을 적용한 battery 충전기의 설계를 다루었다. 3상 thyristor semi-bridge converter의 phase-lock 제어기법을 modeling을 통해 설명하였다. Thyristor의 firing pulse를 전원전압과 동기시키기 위해 기존 방식에서는 입력전압을 sensing하였으나, 본 논문에서 phase-lock 기법을 이용하여 입력전압을 sensing하지 않고서도 원하는 출력전압을 발생시킬수 있었다.

2단계 soft-start 기능에 의해 power on시 부드럽게 phase를 locking 시키고 전류를 서서히 증가시켜, 시스템을 구성하는 전력용 반도체소자를 보호하였다. 또한 기준전압 V_{sr} 의 상한값을 제한하여 다중 locking 현상을 방지하였다. 전류제한 기능을 구현하여 battery 전류와 converter 전류를 제한하였다. 실험을 통

하여 2단계 soft-start 기능과 전류제한 기능을 검증하였다

참 고 문 헌

- [1] G.E. April and G. Oliver, "A novel type of 12-pulse converter," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-21, pp.180-191, Jan./Feb. 1985.
- [2] B.H. Kwon and E.H. Song, "Design of current source using 12-pulse phase-controlled rectifier," IEE Proceedings-B, Vol. 138, pp. 185-191, July 1991.
- [3] E.H. Song and B.H. Kwon, "A Direct Digital Control for the Phase-Controlled Rectifier," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol IE-38, pp. 337-343, Oct. 1991.
- [4] E.H. Song and B.H. Kwon, "A Direct Digital Control for the Phase-Controlled Rectifier," KIEE Trans., Vol 40-1, pp. 31-38, Jan. 1991.
- [5] E.H. Song and B.H. Kwon, "Design of current source using 12-pulse phase-controlled rectifier," KIEE Trans., Vol 39-6, pp. 545-556, Jun. 1990.
- [6] B.H. Kwon and E.H. Song, "Highly stable power supply using digitally controlled phase-controlled rectifier and active filter," IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 141, No.5, pp. 221-228, September 1994.
- [7] Mohan, Undeland and Robbins, *Power Electronics Converter, Application and Design*, Willy, 1995.