

2상 2중 승압형 초퍼에 의한 태양전지의 최대출력추적제어

오동섭*, 박윤석*, ° 이승환**
 *한밭대학교, ** 대덕대학

Maximum Power Tracking Control of Photo-voltaic using the Two Phase with Combined for Step-up Chopper

Dong-seob Oh*, Youn-seok Park*, ° Seung-hwan Lee**
 Hanbat University*, Daeduk College**

Abstract - This paper is shows the configuration of the maximum power tracking control of Photo-voltaic and battery charge system. Up to now, the chopper system had the problem which a battery become a short life by reason of discontinuity of output current and its energy reduce. But in this paper, We propose the chopper system which maintain the successive output current and at the same time, control the maximum output location by change time-ratio using tracking of energy variation that occur because of the varied volume of insolation per a day and temperature.

1. 서 론

현대 사회에서 가장 많이 사용되고 있는 에너지원의 하나인 전기에너지는 대부분이 화력발전이나 원자력 발전에 의존하고 있는 실정이다. 화력발전의 경우 화석연료의 한계성과 지역편중에 의한 공급의 심각한 불안정, 화석연료의 연소에 의한 대기오염으로 오존층 파괴와 더불어 이상 기후등으로 인해, 생태계의 위협을 받고 있다. 또한 원자력발전의 경우 완벽한 안정성이 보장되어야 하고 방사능 폐기물의 처리 및 발전소 건설장소 선정시 지역 이기주의에 의하여 설치할 부지 확보에 많은 어려움을 내포하고 있다. 이로 인하여 대체에너지에 대한 관심이 높고 새로운 에너지 개발의 일환으로 태양전지를 이용한 에너지의 변환 방식이 개발되고 있다. 그러나 태양전지의 출력특성상 일사량, 온도변화등에 따라 출력특성이 변하게 된다.[1]~[4]

본 연구에서는 이러한 태양광에너지의 보다 효율적으로 이용하기 위하여 태양전지의 전압과 전류를 검출하여 계산된 전력을 비교하는 전력비교법을 이용하여 항상 최대 출력점에서 동작하도록 하고 전류의 연속 특성을 갖을 수 있는 2상2중 초퍼를 이용하여 축전지에 에너지를 충전 시킴으로써 태양전지의 최대출력과 축전지의 충전 전류를 연속적으로 충전함으로써 축전지의 수명(충방전 횟수.충전특성에 따라 결정됨)연장과 태양전지의 효율을 높이고자 하였다.

2. 태양전지 특성 및 축전지 특성

2.1 태양전지의 특성

태양전지는 광기전력 효과를 이용하여 태양에너지를

직접 전기에너지(직류)로 변환시키는 반도체 소자이다. 태양전지는 단결정 규소 태양전지의 경우 Si에 5가 원소를 침투시켜 만든 N형 반도체와 3가 원소를 침투시켜 만든 P형 반도체로 이루어진 P-N 접합 다이오드 구조이다.

그림 1은 태양전지를 제작할 경우에 생기는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 를 고려한 실제적인 등가회로를 나타낸다.

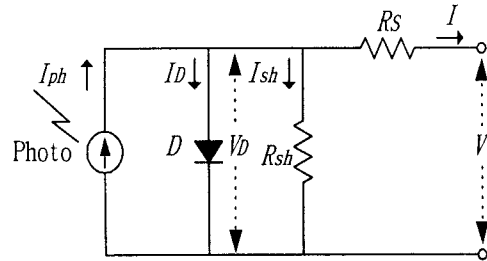


그림 1 태양전지의 등가회로

태양전지의 출력전류 I 는 다음과 같다.

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \tag{1}$$

여기에서, 다이오드 전류 I_D 는 다음과 같이 나타낸다.

$$I_D = I_o \left[\exp\left(\frac{qV_D}{Ak_B T}\right) - 1 \right] \tag{2}$$

누설전류 I_{sh} 는 접합전압에 비례하며, 누설저항으로 나타내면

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} \tag{3}$$

$$V = V_D - IR_s \tag{4}$$

이 된다.

q [C]: 전하량, A : 이상계수, k_B [JK^{-1}]: 볼츠만 상수, T [K]: 절대온도

식(1)에 식(2)~(4)를 대입하면 식(5)가 된다.

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{Ak_B T}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \tag{5}$$

태양전지의 출력특성은 그림 2와 같이 일사량에 따라 크게 영향을 받기 때문에 태양전지에서 최대 전력을 얻기 위한 동작점은 태양전지 양단의 전압 E_s 와 태양전지에서 흘러 나오는 전류 I_s 의 곱이 최대가 되는 점이 최대 출력점이 된다. 또한 일사량 변화에 따라 태양전지의

단락전류 I_{sc} 는 일사량에 따라 비례적으로 변화하며 개방전압 V_{oc} 는 거의 변화가 적다.

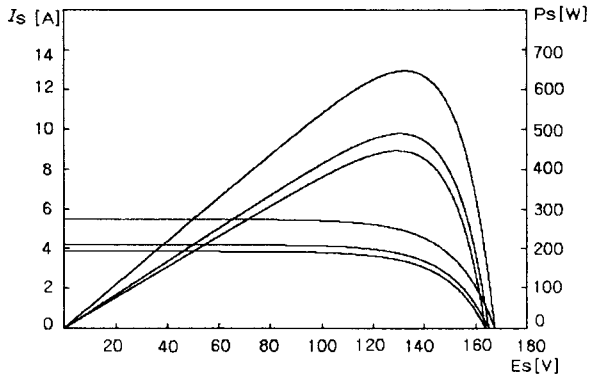


그림 2 일사량 변화에 따른 태양전지의 출력특성

일사량이 변화함에 따라서,

- [1] 일사량이 증가함에 따라 단락전류 I_{sh} 는 일사량(직렬저항 R_s 무시)에 비례해서 증가한다.($T=25^\circ C$)
- [2] 개방전압은 일사량이 증가함에 따라 약간 증가한다.($T=25^\circ C$)
- [3] 모듈의 최대전력은 일사량 증가에 따른 단락전류의 증가와 개방전압의 증가에 의해 일사량에 비례하여 증가하게 된다.

2.2 축전지의 특성

충·전중의 전압변화는 충전이 진행됨에 따라 점차 단자 전압이 상승하다가 어느 점에 도달하면 충전하여도 거의 변화가 없으므로 충전을 중단하여야 하며 충전전과 충전후의 전압식은 식(6)과 같으며 충전하면 전해액의 비중과 기전력이 상승하며 가스전극이 형성되어 과 전압이 된다. 방전중의 전압변화는 일반적으로 방전이 진행됨에 따라 서서히 감소 하다가 어느 한도에 이르면 급격히 강하하게 되는데 이때 방전을 중단하여야 하며 방전전과 방전후의 전압식은 식 (7)과 같다. 방전하면 겔보기 내부저항이 커지는데 이때의 내부 저항은 완충전시를 1로 가정하면 약 2~3으로 커진다.

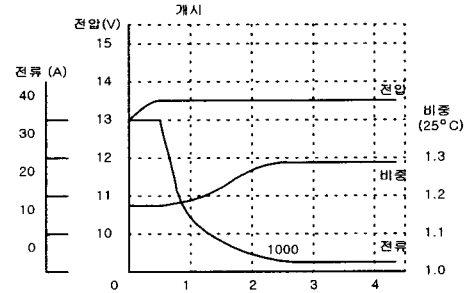
$$\text{충전중의 전압변화 } V = E + IR_r \quad (6)$$

$$\text{방전중의 전압변화 } V = E - IR_r \quad (7)$$

여기서, V : 단자전압(V), E : 기전력(V), I : 충전전류(A), R_r : 겔보기내부저항(Ω)

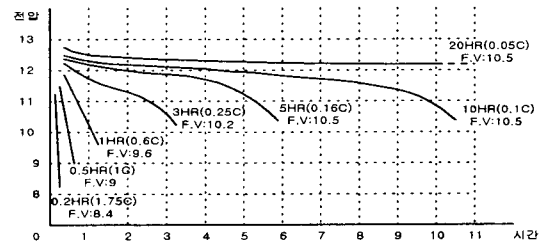
그림 3은 시간율에 따른 축전지의 충·방전 특성을 보여주고 있다. 방전시의 곡선이 완만함을 보여주며 10시간을 방전할 경우에는 방전말기에 가서 단자전압이 10.5V까지 떨어지는 곡선으로 표시되고 있으나. 실제로 운용시에 있어서는 축전지 단위당의 종지전압(Cut off voltage)을 11V정도 설정하여 그 이하에서는 축전지의 방전이 더 이상 계속되지 않게 하여야 한다. 또한 축전

지의 시스템의 운영에 있어서는 축전지의 방전시간을 일몰~일출까지 설정하여야 하므로 시간율에 맞는 곡선을 분석하여 축전지의 용량 및 단자전압을 설정하여야 할 것이다.



* 온도: $25^\circ C$, 전지: 50Ah, 상태: 50%방전후 충전개시

(a) 정전압충전특성



* 온도: $25^\circ C$, FV: 종지전압, C: 용량, HR: 시간율

(b) 방전특성

그림 3 시간율에 따른 축전지의 충·방전 곡선

3. 2상2중 승압형 초퍼방식

그림 4는 2상2중 승압 초퍼회로를 나타낸 것이고 $CH1$ 과 $CH2$ 의 시비를 α 가 0.5 이하인 경우와 이상인 경우로 구분하여 각 스위칭 도통 상태와 태양전지전류 I_s 및 축전지전류 I_B 의 파형을 그림 5와 같이 나타내었다.

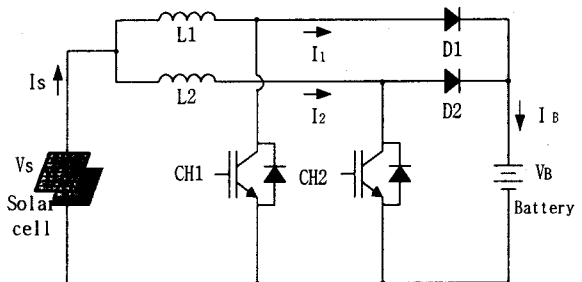


그림 4 2상 2중 승압 초퍼의 회로

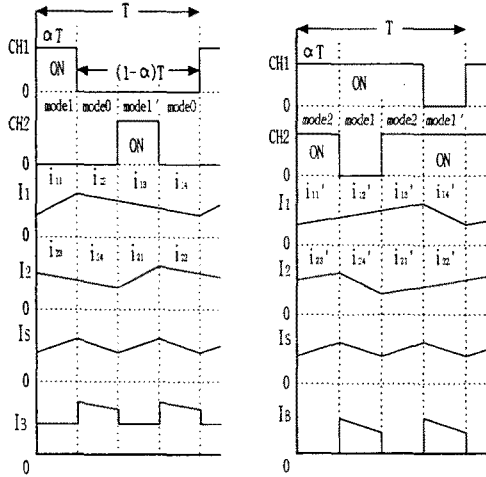
태양전지전압 V_s 와 축전지전압 V_B 의 관계 및 태양전지전류 I_s 와 축전지전류 I_B 의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$V_S = (1 - \alpha) V_B \quad (8)$$

$$I_S = \frac{1}{1 - \alpha} I_B \quad (9)$$

이때 시비율 α 는 식(10)과 같다.

$$\alpha = 1 - \frac{V_S}{V_B} \quad (10)$$



(a) $\alpha < 0.5$ (b) $\alpha > 0.5$
 그림 5 초퍼의 도통상태와 각부파형

승압동작의 관계식은 단상방식과 동일하며 제어 방법은 시비율 α 를 제어하여 태양전지를 최대출력점에서 동작시킬 수 있다. 단상 승압 초퍼방식은 축전지에 흐르는 전류가 항상 불연속 하므로 축전지에 악 영향을 미치게 되므로 축전지에 대용량의 콘덴서가 병렬로 접속하여 연속적인 전류를 공급할 필요가 있다. 2상2중 승압형 초퍼회로에서 시비율 α 가 0.5 이상인 구간에서는 단상방식과 마찬가지로 축전지의 전류가 불연속 하여 부하쪽에 대용량의 콘덴서가 필요하지만 시비율 α 가 0.5 이하인 경우에는 입출력의 전류가 연속하므로 이 구간내에서 동작되도록 시스템을 설계하는 것이 유리하다.[4]

4. 전체 시스템 구성

그림 6은 2상2중 승압형 초퍼를 이용한 태양전지의 최대출력추적제어에 필요한 전체 시스템의 블록도이다. 태양전지에 의한 직류전원이 생성되는 부분으로써 4개의 전지를 사용하여 2개의 직렬과 2개의 병렬로 사용하였으며 태양전지 사양은 표 1과 같다. 전류의 연속 특성을 갖는 2상2중 승압형 초퍼를 사용함으로써 태양전지의 출력과 축전지의 입력 전압 전류의 맥동율을 감소시킬수 있으며 부하측의 C 를 저감시킬수 있다.

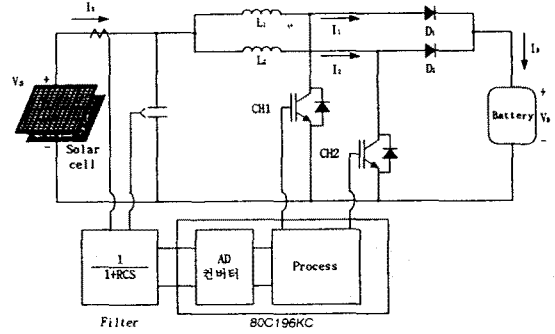


그림 6 전체 시스템의 블록도

표 1 태양전지 사양

모델명	M65 (SIEMENS)
최대출력전력	43 [Wp]
개방전압 (V_{oc})	18.0 [V]
단락전류 (I_{sc})	3.32 [A]
Voltage at Load	14.6 [V]
Amperage at Load	2.95 [A]
크 기 - 길이	1083 [mm]
- 폭	330 [mm]
- 높이	36 [mm]
- 무게	4.8 [kg]

태양전지 전원시스템용 축전지를 사용하였으며 특징으로는 수명은 14년으로 길고 파손시 누액이 없으며 일시적인 과 충전에도 폭발되지 않는 내압 구조를 가지고 있으며 심방전 회복충전 특성이 우수하여 수명이 종료 될 때까지 규정 용량이 유지되며 기존 밀폐형 보다 자기 방전이 극히 적으므로 상온에서 장기간 사용 할 수 있는 특성을 가지고 있는 형태의 축전지를 사용한다.

태양전지의 최대출력 추적제어방식은 임의의 시점에서 홀딩된 전압, 전류를 검출하여 전력값을 과거의 전력값에 저장한후 임의의 $\Delta\alpha$ 만큼의 시비율을 보정후, 그 시비율에서의 전력값을 현재의 전력값에 저장한 후, 과거의 전력값과 현재의 전력값을 비교하여 만약 현재의 전력값이 크면 이전의 시비율의 보정방향과 같은 방향으로 보정하고, 현재의 전력값이 작다면 이전의 시비율 보정방향과 반대로 보정함으로써 항상 최대출력점에서 동작하게 된다.

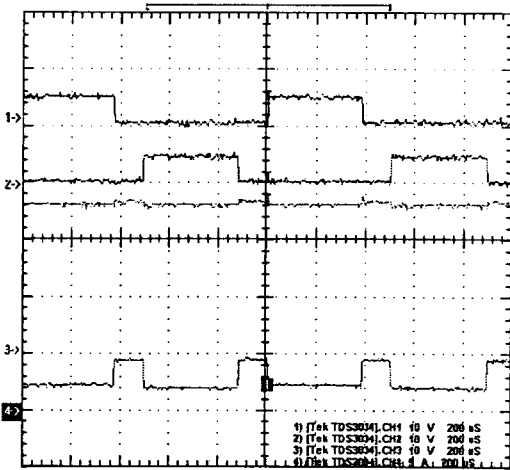
시비율이 $+\Delta\alpha$ 로 보정되고 있는 경우에는 과거전력과 현재전력을 비교하여 현재전력이 큰 경우에는 $+\Delta\alpha$ 를 보정하고, 현재전력이 작은 경우에는 $-\Delta\alpha$ 로 보정을 한다. 그러나 시비율이 $-\Delta\alpha$ 로 보정되고 있는 경우에는 과거전력과 현재전력을 비교하여 현재전력이 큰 경우에는 $-\Delta\alpha$ 로 보정하고, 현재전력이 작은 경우에는 $+\Delta\alpha$ 로 시비율 보정을 하므로써 항상 태양전지의 최대출력점에서 동작 할 수 있도록 추적제어하였다.

2상2중 초퍼의 스위칭소자인 IGBT를 구동하고 검출된 전압과 전류를 이용하여 태양전지의 최대출력을 추적하고 제어하기 위한 디지털 제어기로는 가격이 저렴하고 많은 기능들을 내장하고 있어서 일반적으로 많이 사용되

는 INTEL사의 마이크로프로세서 80C196KC를 사용하였다.

5. 실험결과 및 고찰

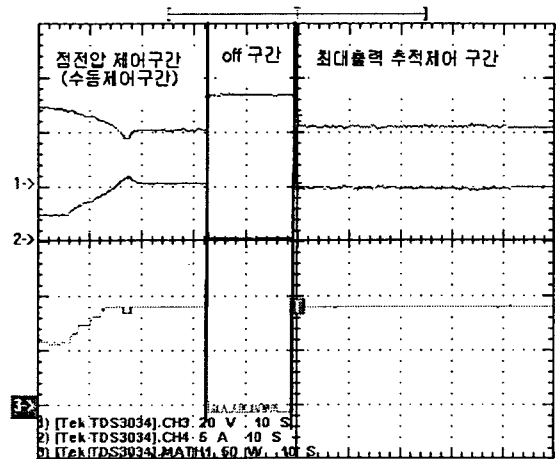
본 연구에서는 2상2중 승압형 쇼퍼를 이용하여 축전지에 정전압으로 연속적인 전류로 충전되도록 시스템을 구성하였으며 이때 태양전지는 4개를 직병렬로 접속하고 축전지는 12V 2개를 직렬로 연결하여 사용하였으며 태양전지의 측정조건은 개방전압 $V_{os} : 32V$, 단락전류 $I_{cs} : 6A$ 이다. 2상2중 승압형 쇼퍼의 스위칭 소자로는 IGBT를 이용 하였으며 승압용 리액터 L_1, L_2 는 각 10mH를 사용 하였으며 축전지는 12V 10Ah 47HR, 연축전지를 사용하고 스위칭 주파수는 1kHz로 실험하였다. 또한 축전지를 보호하기 위하여 과충방전 보호회로를 태양전지로 부터 검출된 전압과 전류를 A/D변환하여 디지털 제어기에 입력하고 이를 오실로스코프를 이용하여 최대출력을 확인 할 수 있도록 하고 실제 최대출력을 추적여부를 확인할 수 있도록 하였으며 그림 7은 축전지의 충전되는 전력으로 시비율 α 와 출력 전압, 전류를 (V_s, I_s) 나타낸 것이다. 1,2번의 파형은 각상의 시비율 α 3번 파형은 축전지의 충전전압 4번 파형은 축전지에 충전되는 전류로써 연속된 전류로 충전되고 있음을 확인 하였다.



- ① CH 1의 시비율 ② CH 2의 시비율
- ③ 축전지의 충전 전압 파형 (V_B)
- ④ 축전지의 충전 전류 파형 (I_B)

그림 7 시비율과 축전지의 전압 및 전류

그림 8에서 알 수 있듯이 태양전지의 최대출력동작점을 확인하기 위하여 일정 일사량 조건시 수동으로 조작하여 정전압 제어를 하는 경우 최대출력전력과 전력비교법에 의한 최대출력전력값이 같게 추적되었으므로 정확하게 최대 출력점에 추적됨을 확인 하였다.



- ① 태양전지전압 (V_s), ② 태양전지전류 (I_s),
- ③ 최대출력추적전력 (P_{max})

그림 8 최대출력추적 추적파형

4. 결 론

본 연구에서는 2상2중 승압형 쇼퍼를 이용하여 어떠한 조건에도 관계없이 항상 최대 전력을 부하에 공급할 수 있는 제어방법을 제시하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 태양전지의 전압 전류를 검출하여 과거 현재의 전력을 마이크로프로세서에 의해 비교하여 시비율 α 를 보정하여 항상 최대출력점에서 동작 하도록 하였다.
- 2) 태양전지와 축전지의 전류가 연속적으로 동작하기 위하여 2상2중승압형 쇼퍼방식의 시비율이 0.5 이하의 구간에서 동작 하도록 하였다.
- 4) 단상쇼퍼 방식에 비교해 2상2중승압형 쇼퍼를 이용하여 축전지에 충전할 때 충전전류를 연속 적으로 공급함으로써 축전지의 수명을 연장하여 시스템을 경제적으로 운용 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 韓國電力公社 技術研究院 : “小規模 係統線 連結型 太陽光發電시스템 開發”, 1992.8
- [1] 千住智信, “Fuzzy 制御による太陽電池の最大電力点の探索”, T.IEE japan, Vol.144-D, No.9, 1994
- [2] Gilberto C.D. Sousa, “A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase-Controlled Converter DC Machine Drive”, IEEE Transactions On Industry Application, Vol.30, NO.1, JANUARY, 1994
- [3] Katsumi Ohwnia and Tsuyoshi Sata : “A simplified maximum power tracking method for photovoltaic solar system”, T.IEE Japan, Vol.106-B, No.7, 1986.
- [4] 이승환, “쇼퍼를 이용한 태양전지의 최대출력 추적제어방식”, 명지대학교 박사학위논문, pp. 11~14, 17~21, 44~51, 1994.