

ZVCS 컨버터를 이용한 태양전지 최대전력 검출법

\*곽 동 걸, \*전 현 규, \*\*김 중 민, \*\*\*이 현 우  
\*동해대학교, \*\* (주)대호기전, \*\*\*경남대학교

Maximum power tracking Strategy of a Solar Cell using ZVCS converter

\*Kwak Dong Kurl, \*Jun Hyun Kyu, \*\*Kim Jong Min, \*\*\*Lee Hyun Woo  
\*Donghae University, \*\*Daeho M-Elec. Co., \*Kyungnam University

**Abstract** - As well known, a solar cell has an optimal operating point to be able to get the maximum power  $P_{max}$ . So, many  $P_{max}$  tracking controllers using the line voltage of a solar cell have been popularly used. But it may vary depending on the miss match between the solar cell output and the load. In this paper, we investigate the possibilities of  $P_{max}$  control using the current tracking controller and the output voltage and the output current instead of the solar cell output power. And we also examine about the optimal power converter using ZVCS step up and down chopper circuit to operate the solar cell at an optimal voltage using these variables. And then, we show some experimental results to confirm the successful operation.

1. 서 론

태양전지의 출력특성은 주변의 온도나 입사광의 변화에 의해서 최대전력점이 시시각각으로 변화한다. 따라서 높은 효율의 태양전지를 개발하기 위해 많은 연구가 되고 있다.<sup>(1)-(2)</sup> 이는 회로 해석적으로 태양전지 간의 단자전압을 최대전력이 일어질 수 있도록 제어시키는 것이라 할 수 있다.<sup>(3)</sup> 현재 사용되는 이들 제어는 복잡한 승산회로 등의 기법이 이용되어 시스템의 효율을 저하시키고, 태양전지 출력전류의 변화가 클 때는 제어가 난이한 문제점이 나타난다. 본 논문은 승강압형 ZVCS 컨버터를 이용하여 태양전지의 발전전력의 최대점을 손쉽게 검출하는 기법을 소개한다. 이 기법은 간단한 전류검출만으로 이뤄지고, 그 결과 태양전지 시스템의 효율이 증대되고 제어회로가 간단함을 보이며, 기존의 최대전력점 검출방법과 비교하여 본 논문의 유용성을 입증한다.

2. 주회로 구성과 해석

2.1 주회로구성

그림 1에 본 연구에서 사용된 태양전지 최대전력 검출이 용이한 승강압형 ZVCS 컨버터를 나타낸다.

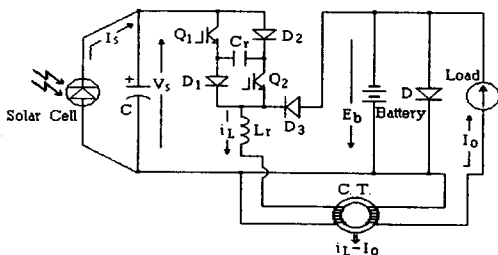


그림 1. 최대전력 검출 승강압형 ZVCS 컨버터

제안된 승강압형 ZVCS 컨버터는 스위칭 소자  $Q_1, Q_2$  를 영전류에서 온한 후 승강압용 리액터  $L_r$  과 공진용 콘덴서  $C_r$  에 의해 공진이 이루어지고, 다음에 오프 스위칭을 영전압으로 하여 ZVS로 가능하게 한다. 또한 스위치  $Q_1, Q_2$  의 듀티율을 변화시키는 것에 의해 태양전지 단자전압  $V_s$  를 제어하는 것이 가능하다.

2.2 주회로 해석

2.2.1 동작원리

제안된 컨버터의 동작상태는 그림 2와 같이 4개의 모드에서 이루어진다. 그림 3에는 스위칭 동작에 대한 각부의 동작파형을 나타낸다. 공진회로부의 초기조건으로 스위치  $Q_1, Q_2$  는 오프, 콘덴서  $C_r$  에는 입력측 단자전압  $V_s$  와 축전지 전압  $E_b$  의 합으로 충전되어 있다.

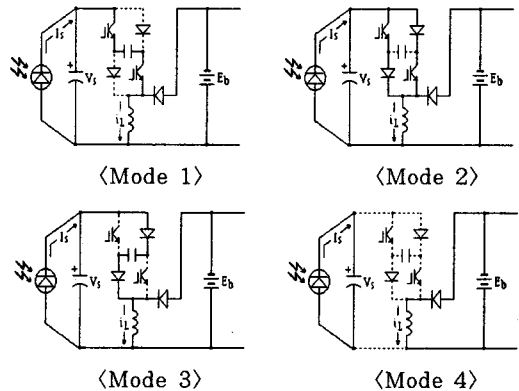


그림 2. 동작모드별 등가회로

< Mode 1 ; 구간  $T_1$  >

스위치  $Q_1$  과  $Q_2$  를 동시에 온하면, 회로 경로는  $V_s - Q_1 - C_r - Q_2 - L_r - V_s$  의 직렬공진 회로로 된다. 온 직전의 리액터 전류  $i_L$  는 영이므로  $Q_1, Q_2$  는 ZCS로 동작한다.

< Mode 2 ; 구간  $T_2$  >

모드 2는 콘덴서 전압  $v_{Cr}$  이 영으로 되어 다이오드  $D_1, D_2$  가 도통되어, 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 리액터  $L_r$  의 전류는  $Q_1 - D_1, D_2 - Q_2$  의 두 회로로 분류한다. 이 때의 전류  $i_L$  는 직선적으로 증가한다.

< Mode 3 ; 구간  $T_3$  >

스위치  $Q_1, Q_2$  를 동시에 오프하면, 리액터  $L_r$  의 전류는  $D_2 - C_r - D_1$  를 통해서 흐르며,  $L_r$  와  $C_r$  는 직렬공진을 하여  $C_r$  를 충전시킨다.  $C_r$  와 병렬로 배치된 스위치들의 오프 동작은 공진 초기 콘덴서  $C_r$  의 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다.

< Mode 4 ; 구간  $T_4$  >

모드 4는 리액터  $L_r$  에 흐르는 전류가 부하측으로 유입되어 직선적으로 감소한다. 이 모드는 리액터 전류  $i_L = 0$  가 되면 종료된다.

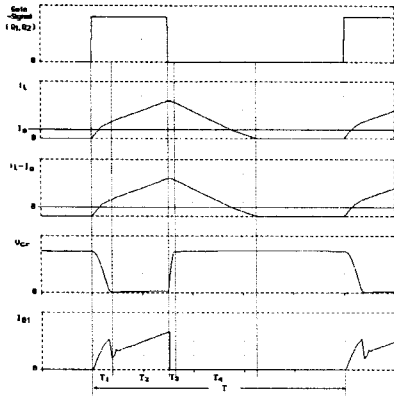


그림 3. 스위칭 동작에 대한 각부 동작파형

### 2.2.2 회로해석

제한된 회로를 상대 평균화법을 이용하여 정상상태의 해석을 한다. 단, (1)공진주기는 스위칭 주기에 비교해서 상당히 짧은 기간이므로 무시한다. (2)입력측 콘덴서 C의 용량은 스위칭에 의한 태양전지간 단자전압의 변동이 무시될 정도의 큰 것으로 한다. (3)각 구성소자는 이상적인 것으로 한다. 여기서,

$$\frac{di_L}{dt} = i_L, \quad \frac{dV_S}{dt} = V_S \text{ 로 놓으면}$$

모드 2의 등가회로에서 다음의 상태방정식이 얻어진다.

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{V}_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{L_r} \\ -\frac{1}{C} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ V_S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{I_S + I_o}{C} \end{pmatrix} \quad (1)$$

모드 4의 등가회로도 아래 식과 같이된다.

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{V}_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ V_S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{E_b}{L_r} \\ \frac{I_S}{C} \end{pmatrix} \quad (2)$$

모드 2, 모드 4의 스위치의 듀티율  $D (= T_{on}/T)$ 로 하면, ( $T$ 는 스위칭 주기,  $T_{on}$ 는 스위치의 온기간)

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{V}_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{D}{L_r} \\ -\frac{D}{C} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ V_S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{E_b(1-D)}{L_r} \\ \frac{I_S + DI_o}{C} \end{pmatrix} \quad (3)$$

와 같이 된다. 따라서 정상상태에서  $\dot{V}_S, \dot{i}_L = 0$  인 경우

$$i_L = I_{av} = I_o + \frac{I_S}{D} \quad (4)$$

로 되며, 여기서  $I_{av}$ 는 리액터 전류  $i_L$ 의 평균치로 된다. 이상으로부터  $V_S$ 와  $E$ 의 관계는

$$V_S = \frac{1-D}{D} E_b \quad (5)$$

로 되고 태양전지의 단자간 전압  $V_S$ 는 스위치  $Q_1, Q_2$ 의 듀티율  $D$ 를 변화에 의해 제어됨을 알 수 있다. 또한 정상상태에서의 전력의 흐름은 다음의 그림과 같이 된다. 결국 태양전지에 의해서 발전되어진 전력은 리액터를 경유하여 축전지에 흘러 들어가며, 부하에 공급하는 전력은 리액터를 경유하여 축전지로부터 공급되어진다고 볼 수 있다. 이런 것에 의해 각 전력의 수수는 리액터 전류를 경유하여 이루어지기 때문에 리액터 전류가 태양전지, 축전지, 부하 전력의 흐름에 관련되어 있는 것을

알 수 있다. 고효율로 태양전지를 이용하려면 태양전지 전력 최대점 추종제어가 중요하게 되는데, 그 파라미터로서 리액터 전류만을 검출하는 것에 의해 가능하다는 것을, 지금까지 연구된 방법과 본 논문에서 제안하는 방법에 대해서 서술한다.

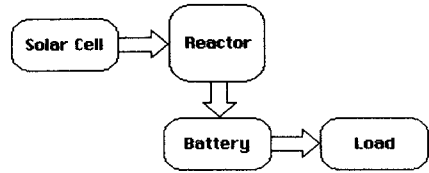


그림 4. 전력 흐름의 개념도

## 3. 최대전력 검출의 원리

### 3.1 기존의 최대전력 검출원리

식 (4)를 변형하면 다음과 같이 된다.

$$I_{av} = I_o + \left(1 + \frac{V_S}{E_b}\right) I_S = I_o + \left(I_S + \frac{\text{태양전지출력}}{E_b}\right) \quad (6)$$

여기서, 리액터전류  $i_L$ 와 부하전류  $I_o$ 의 차  $i_L - I_o$ 를 변류기 CT에 의해서 검출하여 그 평균치를  $I_{av}^*$  = 평균치  $(I_{av} - I_o)$ 로 하면  $I_{av}^*$ 는 식 (7)처럼  $I_o$ 에 무관하게 된다.

$$I_{av}^* = \left(1 + \frac{V_S}{E_b}\right) I_S = \left(I_S + \frac{\text{태양전지출력}}{E_b}\right) \quad (7)$$

또한 식 (7)에는  $V_S, I_S$ (태양전지출력)의 향이 있음을 알 수 있다. CT에 의해서 검출되어진 평균치를 검출량으로 하여 이것의 절대치가 최대로 될 수 있도록 운전하는 것으로 태양전지의 최대전력 추종이 가능하게 된다. 그러나 이 방법은 식 (7)에서  $I_S$  (태양전지 출력전력)의 요소가 들어 있으며, 단락전류로부터 태양전지 출력의 최대 전력점까지의 사이에서  $I_S$ 의 변화가 클 때에는 실제의 최대 전력점과 연산치의 사이에는 오차가 생기게 되므로 문제가 된다.

### 3.2 제안하는 최대전력 검출원리

앞에서 축전지의 입력전압과 CT로써 검출되어지는 리액터 평균전류 ( $I_{av}^* = I_{av} - I_o$ )에 대해서 생각해 보기로 한다. 태양전지로부터 발전되어진 전력은 일단 리액터를 경유하여 모두 축전지에 흘러 들어가게 되고, 여기서 부하전류의 평균치가 일정하다고 가정하면 축전지에 입력되어지는 전력( $P_{in}$ )이 최대일 때는 태양전지에서 최대전력( $P_{max}$ )을 발전하고 있다고 생각할 수 있다. 실제의 축전지에 전류가 흐르는 기간은 스위치  $Q_1, Q_2$ 가 오프 되었을 때부터이므로 태양전지에서 축전지로 들어가는 평균전력은 축전지 전압( $E_b$ )는 일정하다고 하면 식 (8)처럼 된다.

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{E_b}{T} \int_0^{T_{on}} \left(-\frac{E_b}{L_r} t + I_{LH}\right) dt \\ &= \frac{DE_b}{T_{on}} \left(-\frac{E_b}{2L_r} T_{on}^2 + I_{LH} T_{on}\right) \quad (8) \end{aligned}$$

여기서  $T_{iL0}$ 는 스위치가 오픈된 후부터 리액터의 전류가 영으로 되었을 때까지의 시간이다.

그림 5처럼  $T_{on} = L_r \cdot \Delta I_L / V_S$ ,  $T_{iL0} = L_r \cdot \Delta I_L / E_b$ ,

$\Delta I_L = (I_{LH} - I_{LL})$ ,  $I_{av}^* = \frac{1}{2}(I_{LH} + I_{LL})$  라는 관계를 식 (8)에 대입하면,

$$P_{in} = D \cdot I_{av}^* \cdot V_S = (1-D) \cdot I_{av}^* \cdot E_b \quad (9)$$

로 된다. 여기서  $E_b$ 는 일정하므로  $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 의 최대점이 축전지 입력전력( $P_{in}$ )의 최대점에 있다고 생각할 수 있다. 그리고  $E_b = D/(1-D) \cdot V_S$  라는 관계를 사용하고 식 (7)에  $(1-D) \cdot E_b$ 를 곱하는 것으로

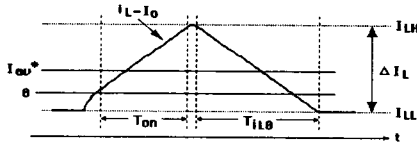


그림 5. CT의 검출파형

$$(1-D) \cdot I_{av}^* \cdot E_b = V_S \cdot I_S \quad (\text{태양전지 출력}) \quad (10)$$

로 변형될 수 있으므로  $(1-D) \cdot I_{av}^* \cdot E_b$ 는 태양전지의 출력전력임을 증명한다. 그러므로 축전지에 입력되어지는 전력이 최대일 때, 태양전지에서 최대전력( $P_{max}$ )을 발전하고 있다고 생각할 수 있다.  $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 의 실제 연산은 그림 6에 표시한 것처럼 아날로그 스위치와 RC필터의 회로로 구현될 수 있다.

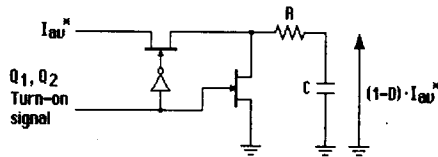


그림 6.  $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 의 연산회로

스위치  $Q_1$ ,  $Q_2$ 가 오픈 되어 있을 때  $I_{av}^*$ 에 비례하는 전압으로 R을 통하여 C에 충전되고, 온 되어 있을 때는 R을 통하여 방전되므로, C의 전압을 검출하는 것으로  $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 를 검출할 수 있다.

#### 4. 실험결과

표 1. 각 소자의 정수

축전지 전압 ( $E_b$ )	12[V] (case 1) 24[V] (case 2)
공진용 리액터 ( $L_r$ )	26[ $\mu$ H]
공진용 콘덴서 ( $C_r$ )	0.01[ $\mu$ F]
스위칭 소자	2SK559 (FET) ( $f_s = 100$ [kHz])
평활 콘덴서 (C)	15000[ $\mu$ F]

실험에 이용된 각 소자의 정수를 표 1에 나타내었으며 그림 7(case 1)과 그림 8(case 2)는 축전지의 전압만을 바꾸었을 때의 태양전지 단자간 전압에 대한  $I_{av}^*$ ,  $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 의 출력레벨 및 태양전지 출력전력(P)의

실효치를 나타내었다.

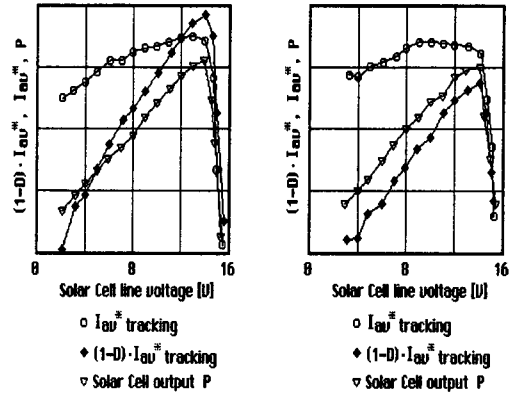


그림 7. case 1의 경우      그림 8. case 2의 경우

그림 7에 있어서 각각의 검출량 피크점은 태양전지 출력전력의 피크점과 거의 일치함을 알 수 있으며, 이것은  $I_{av}^*$ 는  $I_S$ 의 변화에 거의 영향을 미치지 않음을 나타낸다. 식 (7)에 있어서  $I_S$ 가 상대적으로 (태양전지 출력)/ $E_b$  보다 적다는 조건이 주어지지 때문이다.

그림 8에 있어서는 그림 7과 비교해서 축전지 전압  $E_b$ 를 크게 한 경우로써, 검출량  $(1-D) \cdot I_{av}^*$ 의 피크점은 태양전지 출력전력의 피크점과 일치하고 있으나 검출량  $I_{av}^*$ 에 대해서는 피크점이 완만한 효과를 나타낸다. 이것은  $E_b$ 가 크게되어  $I_S$ 가 상대적으로 (태양전지 출력)/ $E_b$  보다 크다는 조건이 주어진 것으로  $I_S$ 의 변화에 그 영향이 크기 때문이다. 다른 예로써 축전지의 전압이 일정하고 조도가 저하한 경우 결국 그 최대 전력점에서의 단자간 전압이 저하되는 경우와 동등한 것이라 생각할 수 있다.

#### 5. 결 론

제안된 방법은 스위칭의 듀티율과 리액터 전류검출만으로 간단한 제어회로를 구성하여 태양전지의 최대 전력점 검출이 가능하였다. 기존의 방법과 본 논문에서 제안된 방법의 차이점에 대해서도 나열하였다. 기존에 제안된 방법에서의 문제 즉, 조도 저하시의 태양전지의 발전 전력 최대점이 완만하게 되었던 문제점이 이번에 제안한 방법에 의해 크게 개선되었다. 또한 본 방법은 선정한 축전지의 전압변경이나 광범위한 조도 변화에 대해서도 안정된 최대 전력점 추종이 용이하게 실현가능하다는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단 특장기초연구(1999-2-302-014-3)지원으로 수행되었음.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Tokuo, Shigeo, "Comparisons of Maximum Power Tracking Strategy of Solar Cell Output and Control Characteristics using Step up/down Chopper Circuit", T.IEE Japan, Vol. 112-D, No. 3, pp250-257, 1992
- [2] Katsumi, Iwao, "A New Maximum Power Tracking Method of Photovoltaic Power Generator Taking Frequency Characteristics of Solar Cell Module into Consideration", T.IEE Japan, Vol. 112-D, No. 3, pp258-263, 1992
- [3] Kwak D.K, Lee H.W, "High Power Buck-Boost DC-DC Converter of Soft Switching for Photovoltaic Power Generation", KIPe conf., pp 117-120, 1996. 6