

# DC-DC 컨버터에 의한 태양광 발전 시스템에 관한 연구

원 충 연, 양 승 호, 김 학 성, 김 세 찬  
성균관 대학교 전기공학과

## A Study on Photovoltaic Generation System by DC-DC converter

Won Chung-Yuen, Yang Seung-Ho, Kim Hack-Seong, Kim Sei-Chan  
Dept. of Electrical Eng., Sung Kyun Kwan Univ.

### Abstract

The photovoltaic modules have each maximum power point, which depending on the intensity of sunlight, modules temperature and etc. Cük converter is used to obtain the maximum charging power from photovoltaic modules to storage batteries. This paper proposed to a new tracking control method by detecting its current and voltage in photovoltaic power generation system controlled by microprocessor, in order to operate at the maximum power point tracking(MPPT) even if the sunlight and the temperature are varied.

### 1. 서론

산업분야나 가정에서 이용하는 에너지의 대부분은 석유(石油), 석탄 및 가스와 같은 화석(化石)연료에 의존하고 있다. 그러나 매장량이 한정되어 있는 화석연료를 현재와 같은 속도로 소비한다면 가까운 장래에 고갈될 것으로 예상된다. 따라서 대체(代替)에너지의 개발이 최근 전세계적으로 큰 관심 이 되고 있다.

태양전지의 출력은 일사량의 변화에 따라서 크게 영향을 받기 때문에 안정한 전력공급을 위해서는 계통과 연계한 시스템 등, 여러가지 이용형태가 제안되고 있다.

본 연구에서는 계통과는 독립된 축전지에 태양에너지를 고효율의 전기에너지로 변환하여 충전시키는 시스템을 고려했다. 태양전지에서는 특정 일사량 동안 전력이 최대로 되는 최적 동작점이 존재하지만 일사량이나 태양전지 소자 온도 등에 의해 그의 최적 동작점은 변동하는 것으로 알려져 있

다. 따라서 태양전지 - Cük 컨버터 시스템에서 태양전지의 양단전압과 전류를 측정하여 태양전지 어레이의 최적 동작점인 최대 출력점을 마이크로 프로세서에 의해 계산하여 효율을 높였다. 제안된 시스템은 Pspice 프로그램에 의하여 해석하였고, 실험을 통하여 그 해석 결과를 입증하였다. [1], [2]

### 2. 태양전지 이론

전류원, 다이오드, 직렬저항 및 병렬저항은 그림 1에 보여 진 것처럼 태양전지 등가회로에서 함께 연결되어 있다.

태양전지의 등가회로는 태양전지가 빛을 받으면 외부의 부하를 통하여 전류가 흐른다. 태양전지로부터 발생하는 전류는  $I_{ph}$ . 이 광전류와 반대 방향의 다이오드에 흐르는 순방향전류를  $I_d$ . 태양전지 내부에서 생기는 전기 에너지의 누설(leakage)통로를 누설 저항  $R_{sh}$ 로 표시하면 등가회로로부터 출력전류와 출력전압의 관계식이 유도된다. [3]

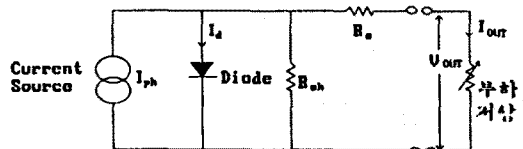


그림 1. 태양전지 등가회로

$$I_{out}(1+(R_s/R_{sh}))=I_{ph}-(V_{out}/R_{sh})-I_d \quad (1)$$

여기서  $(V/R_{sh})$ 는 누설전류

또 직렬저항 성분을 고려 하면 직렬저항에 의한 전압강하가 순방향 바이어스로 걸리므로 전압강하가  $V_f=V_{out}+I_{out}R_s$ 로

되기 때문에 다이오드에 흐르는 전류  $I_d$ 는

$$I_d = I_0 [\exp(q(V_{out} + I_{out}R_s)/A_0KT) - 1] \quad (2)$$

이다.

따라서 식 (1)은

$$I_{out}(1 + (R_s/R_{sh})) = I_{ph} - (V_{out}/R_{sh}) - I_0 [\exp(q(V_{out} + I_{out}R_s/A_0KT)) - 1] \quad (3)$$

으로 쓸수있다.

이것을 정리하면

$$I_n \left[ \frac{(I_{ph} - I_{out})}{I_0} - \frac{(V_{out} - I_{out}R_s)}{I_0R_{sh}} + 1 \right] = \frac{q}{A_0KT} (V_{out} + I_{out}R_s) \quad (4)$$

이다.

누설저항이 200~400Ω 이 되어도 태양전지의 성능에는 크게 영향을 주지 않는다. 그리고 실제 태양전지에서는 누설저항이 이 값보다 훨씬 더 크므로 누설저항  $R_{sh}$  의 영향을 무시할 수 있다.

따라서 식(3)은

$$I_{out} = I_{ph} - I_0 [\exp(q(V_{out} + I_{out}R_s)/A_0KT) - 1] \quad (5)$$

로 쓸수있다. 뒷식에서 출력전압은

$$V_{out} = \frac{A_0KT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph} - I_{out}}{I_0} + 1 \right) - I_{out}R_s \quad (6)$$

이다.

태양 전지의 출력은 출력전류와 출력전압의 곱이므로

$$P_{out} = I_{out} * V_{out} = I_{ph} - I_0 [\exp(q(V_{out} + I_{out}R_s)/A_0KT) - 1] * V_{out} \quad (7-a)$$

이 된다.

또 태양 전지의 최대 출력(Maximum Power)은 최대 출력점에서 전류와 전압의 곱으로 얻어지므로 이때전압과 전류를 각각  $V_m, I_m$ 이라 할때

$$P_{max} = I_m V_m \quad (7-b)$$

이다.  $\partial P / \partial V = 0$  으로 놓고  $V_{out} = V_m$  으로 놓으면 최대 전력점에서의  $V_m$  을 구할 수 있고 식(8)이 된다.

$$[1 + (qV_m/A_0KT)] [\exp(qV_m/A_0KT)] = [(I_{ph}/I_0) + 1] \quad (8)$$

한편  $I_m$  은  $V_{out} = V_m$  에서의 전류값이므로 식 (7-a)에서

$$I_m = I_{ph} - I_0 [\exp(q(V_m/A_0KT) - 1)] \quad (9)$$

이다.

(8) 식을 이용해서 정리하면

$$I_m = (I_{ph} + I_0) \left[ \frac{qV_m/A_0KT}{1 + (qV_m/A_0KT)} \right] \quad (10)$$

가 된다.

위 식 전개과정에서 나오는 파라미터는 아래와 같다.

$V_{oc}$  : open-circuit voltage (개방전압)

$I_0$  : reverse saturation current (역 포화 전류)

$q$  : 전하량

$A_0$  : 다이오드 상수

$K$  : 볼츠만 상수 (1.38E-23 Joule/Kelvin)

$T$  : 절대온도 (-273°C)

### 3. 태양광 시스템의 최대전력 추종제어 [4]-[6]

그림2는 태양전지 어레이의 출력곡선으로서 동작전압을 DC-DC 컨버터의 듀우티 사이클로서 나타내었다. 이 그림에서 태양전지어레이의 출력은 DC-DC 컨버터의 듀우티로 조정가능하다. 여기에서는 듀우티비가  $D_m$  일때 최대출력  $P_m$  값을 가지게 됨을 알수있다.

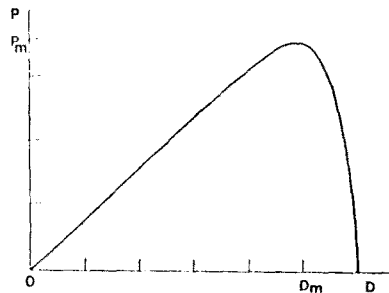


그림 2. DC-DC 컨버터의 듀우티 사이클에 대한 출력 곡선

그림 3은 최대출력 추종의 흐름도를 나타내었다.

먼저 초기 출력값은  $P_o=0$  로 놓는다. 그리고 현재의  $P_N$  값은 측정된 출력으로서 전압과 전류의 곱으로 표시된다. DC-DC 컨버터의 듀티비의 증분은 0.1로 한다. 태양일사량에 따라 태양전지 - Cuk 컨버터로부터 A/D 컨버터를 통하여 태양전지어레이의 출력 전압, 전류를 측정하고 그의 곱인 새로운 출력값  $P_N$  값을 계산하여 메모리에 기억시킨다. 그리고 다음단계에서 과거 출력인  $P_o$  값과  $P_N$  값을 비교하고 그에 따른 명령을 수행한 후 DC-DC 컨버터의 스위칭 소자에 드라이브신호를 보내고 다음 루프를 수행하게된다. 여기서 DC-DC 컨버터 스위칭 소자의 듀우티비를 안전하게 하기 위하여 비교회로를 통과도록 하였다. 제시한 방법을 마이크로 프로세서로서 수행, 디지털화 함으로서 아날로그 소자에서 발생할 수 있는 여러가지 오차를 줄여 보다 효율적인 제어를 할 수 있다고 생각한다.

최대 출력점 추종시스템(Maximum Power Point Tracking :MPPT) 전력변환회로는 Cuk 컨버터회로를 채택하였고, 회로에 1차측  $L_1$  과 2차측  $L_2$  는 페라이트코어로 모두 4.95mH이다. 그리고 12V, 4A용량의 축전지를 사용하였으며 태양전지 판넬은 Hoxan전기의 40w 판넬 2개를 병렬연결하였다.

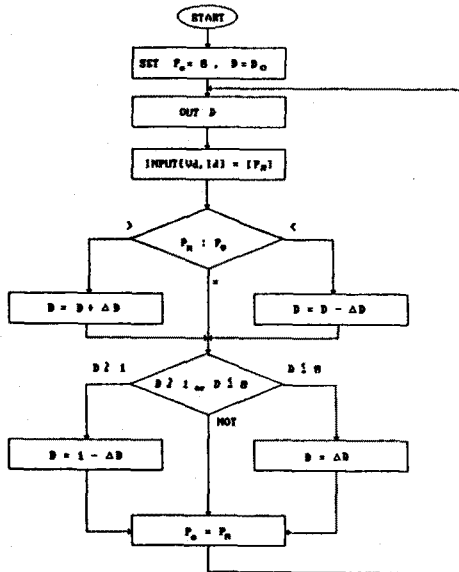


그림 3. 태양전지 최대전력 추종 흐름도.

#### 4. 최대전력추종제어 시스템의 구현

태양전지 판넬로부터 직류전압은 2개의 저항으로 전압을 분배하여 얻었고, 전류는 CT를 사용하여 측정하였다. 그리고 A/D컨버터(12bit ADC80)에 의해 전압, 전류값을 입력하였다. A/D컨버터에서 변환된 디지털값의 전압, 전류값은 마이크로프로세서내에서 곱하여 출력값  $P_N$ 을 계산한다. 그리고 언급한 알고리즘을 프로그램 유희도에 따라 수행한다. 마이크로프로세서는 8088 CPU 를 가진 8MHz의 IBM XT를 사용하였다. 그리고 알고리즘을 수행한뒤 출력인 듀티비값은 8254카운터로부터 FET 구동회로에 전달된다. 이때 8254카운터의 동작 모우드로서 펄스 제너레이터 동작과 프리그래머블 원상 동작을 사용하였다. 그리고 8254카운터의 외부 클럭은 4MHz 이다.

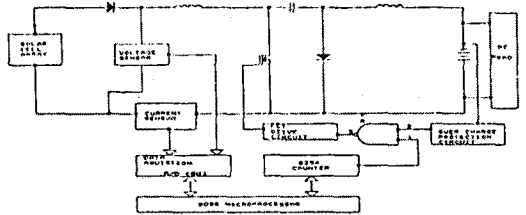


그림 4. 최대전력 추종 시스템의 하드웨어 블록도

8254카운터에서 나오는 신호는 FET 구동 드라이브의 게이트 신호로 들어간다. FET 구동 드라이브회로는 입력단에서 포토커플러인 TLP550을 사용하여 컴퓨터를 보호하는 기능과 8254 카운터로부터 나오는 신호의 잡음을 어느정도 줄이도록 하였다. 그리고 축전지의 과충전을 막기위한 방지회로를 구성 하였다. 그리하여 카운터의 출력신호의 NAND게이트를 통하여 구동회로에 들어가게함으로써 과충전일때 구동회로로부터 나오는 게이트 신호가 차단되도록 하였다.[7]

#### 5. Pspice에의한 DC-DC 컨버터의 시뮬레이션 및 실험결과

태양전지 어레이 전원에서 축전지로 충전하는 그림5의 Cuk 컨버터를 시뮬레이션 하였다. [1], [2]

2차측 부하에는 12V, 4A 밧데리를 연결 하였다. 그리고 스위치 MI, DI, 인덕터 L1, L2 사이에 전류계 역할을 하는 전압원을 설치 하였다. 그리고 스위칭소자인 FET의 게이트 펄스는 턴오프 시간을 고려하여 게이트 바이어스 전압을 -5[V]에서 +12[V]로 하였고, 10 KHz로 동작하도록 하였다.

그림6~10은 각 부분의 시뮬레이션파형이고 그림11~17은 실험 파형이다. 그림18은 제안된 알고리즘에 의한 태양광 시스템의 일사량의 변화에 대한 동작전력의 추종특성을 나타낸다. [8]

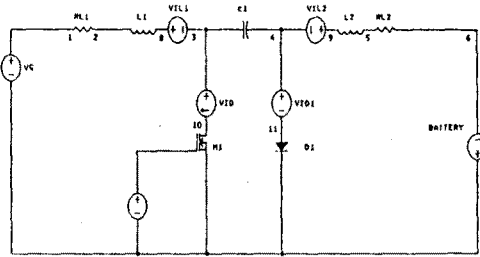


그림 5. Cuk 컨버터의 PSPICE 동작회로

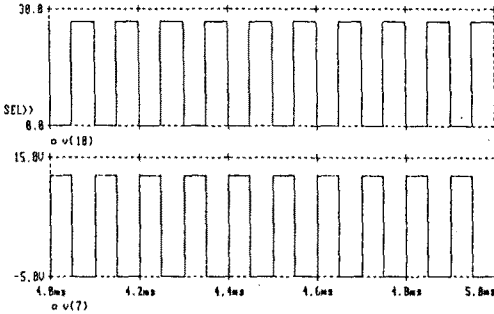


그림 6. FET 드레인 - 소스전압 (상) (D = 0.5)

FET 게이트 신호 (하) (D = 0.5)

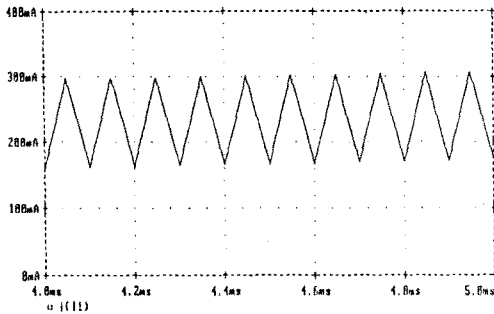


그림 7. 1차측 인덕터 L1에 흐르는 전류(D = 0.5)

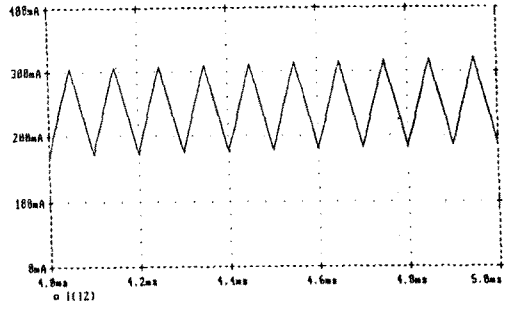


그림 8. 2차측 인덕터 L2에 흐르는 전류(D = 0.5)

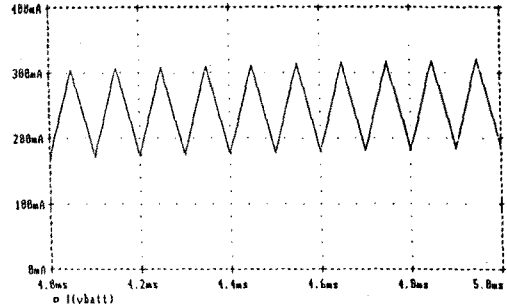


그림 9. 축전지 충전전류(D = 0.5)

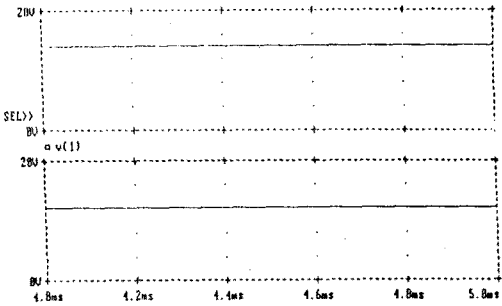


그림 10. Cuk 컨버터의 입력전압 (상) (D = 0.5)

Cuk 컨버터의 출력전압 (하) (D = 0.5)

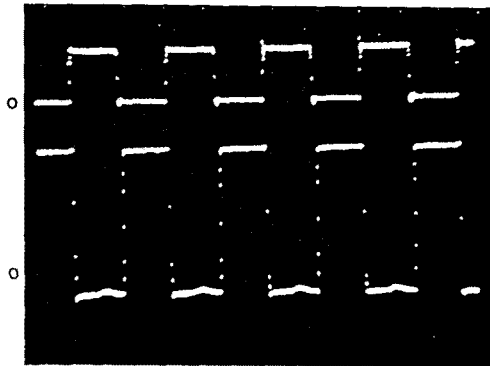


그림 11. 8254 카운터 출력 (상)

FET 게이트 신호 (하)  
(D = 0.5) (50 μs/div)

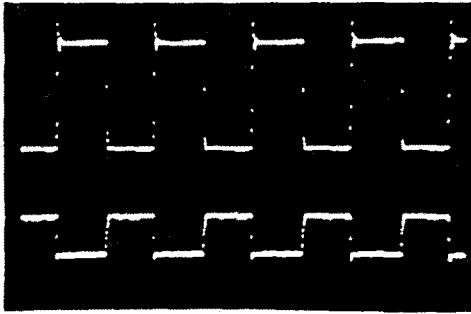


그림 12. FET 드레인 - 소스 전압 (상)

FET 게이트 - 소스 전압 (하)  
(D = 0.5) (50  $\mu$ s/div)

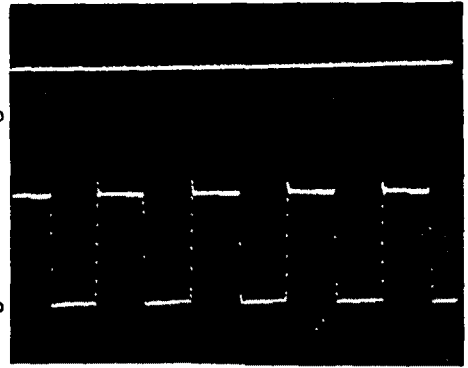


그림 16. Cuk 컨버터의 입력전압 (상)

FET 드레인 - 소스전압 (하)  
(D = 0.5) (50 ms/div)

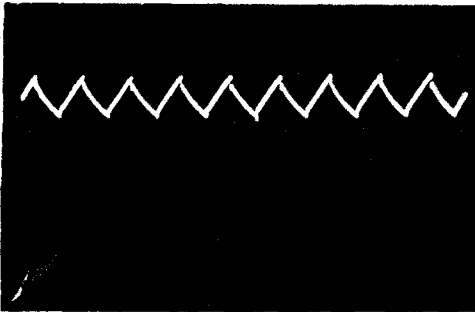


그림 13. 1차측 인덕터  $L_1$ 에 흐르는 전류

(D = 0.5) (0.1 ms/div)

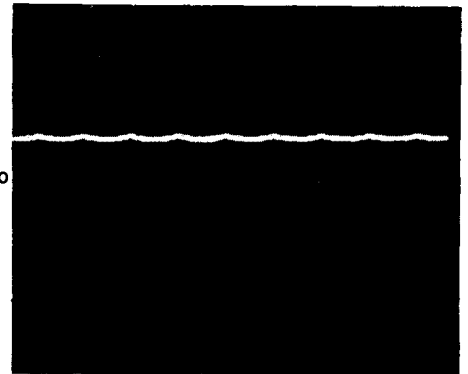


그림 17. Cuk 컨버터의 출력전압

(D = 0.5) (0.1 ms/div)

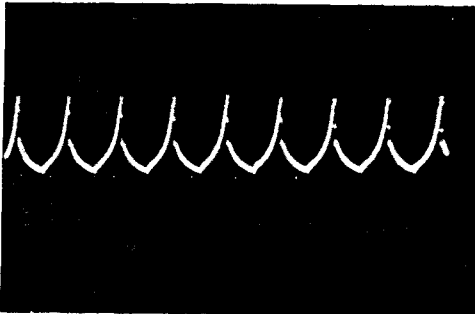


그림 14. 2차측 인덕터  $L_2$ 에 흐르는 전류

(D = 0.5) (0.1 ms/div)

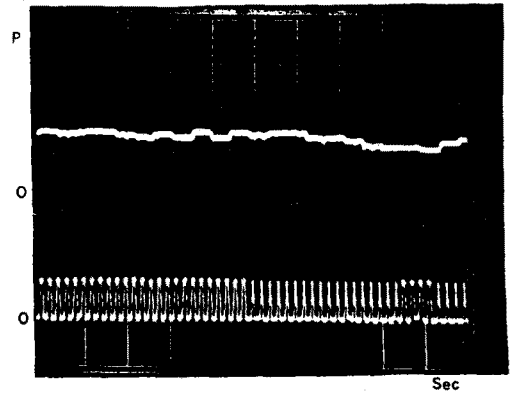


그림 18. 일사량 변화에 대한 동작전력

추종특성 파형 (1ms/div)

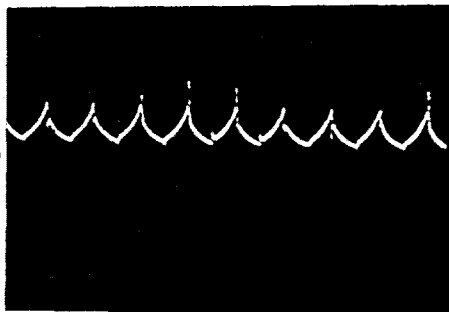


그림 15. 축전지 충전전류

(D = 0.5) (0.1 ms/div)

## 6. 결론

태양전지로부터 발생된 전력을 배터리에 충전시키는데 에  
너지 전달 효율이 좋고 스위칭 손실을 최소화 할 수 있는

Cuk 컨버터를 사용하였다. 이와같은 태양전지 양단의 전압과 태양전지에서 흘러나오는 전류의 곱이 최대가 되는 점이 최대출력점이다. 그러므로 마이크로 프로세서를 사용하여 전압과 전류의 곱을 계속 구하면서 최대출력이 나오는 점을 구는 새로운 최대 전력 추종제어방식을 제시하였다. 이 방식은 최대출력을 추종 하는데 특수한 센서를 사용하지 않고 실현이 가능하다. 또한 태양전지 및 Cuk 컨버터 회로와 밋대를 포함한 회로는 Pspice 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하였다. 같은 조건에서 실험한 결과 양자의 파형이 일치함을 얻을 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] pspice: Micro Sim Coporation (1986.1)
- [2] Walter Banzhaf , Paul Tuinega : Computer- Circuit Analysis using Spice, Prentice-hall, Inc., 1989.
- [3] 이기선 외, 태양광 발전 기술 개발, 동력 자원 연구소 보고서, 1981.12.
- [4] Matthew Buresch, Photovoltaic Energy System Design and Installation, McGraw-Hill Book Company, 1983.
- [5] F.Harashima, H Inaba, S Kondo and N. Takashima "Microprocessor controlled SIT Inverter for Solar Energy System", IEEE Trans. on industrial Electronics, Vol. IEE-34, No.1 pp.50-55, 1987.
- [6] Ned Mohan, Toer M. undeland, and william P. Robins, Power Electronics: Converters, Applications, and Design, John Wiley & sons, 1989.
- [7] Wills J. Tompkins, John G. Webster, Interfacing Sensors to the IBM PC, Prentice-Hall, Inc, 1988.
- [8] T. Ohnishi and H.Okitsu, "Microcomputer Controlled Photovoltaic Solar Conversion System Using PWM Inverter", IECON'84, pp.703-708, 1984.