

PWM chopper 에 의한 태양전지의 출력제어

유 권중, 김용식, 박이준, 송진수
(한국동력자원연구소)

Output control of solar cells using PWM chopper

Yu Gwon Jong, Kim Yong Sik, Park I Jun, Song Jin Soo
(Korea Institute of Energy and Resources)

Abstract :

A new control method of solar cell output using PWM chopper is described.

Theoretical analysis and comparison for all sorts of system are also discussed for improving photovoltaic system efficiency. It is expected that the result of this study will be utilized to some other DC or AC application equipments.

1. 서론

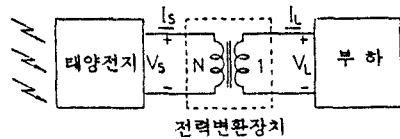
최근 태양전지의 재료 및 제조 기술이 급속히 발전됨에 따라 태양광발전 시스템의 실용화를 위한 이용기술 개발의 중요성도 고조되고 있다.

빛을 직접 전기에너지로 변환시키는 태양전지는 일사광에 의해 출력이 좌우되므로, 기상 조건에 대응한 시스템의 이용 효율을 향상시키기 위해서는 태양전지의 적절한 출력제어가 필요하다.

본 논문에서는 최초의 대표적인 반도체 스위칭방식인 PWM 쇼퍼를 중심으로 태양전지의 최대출력 제어방식에 관한 동작원리와 구체적인 구성예를 기술하였으며, 아울러 각종방식의 비교 분석과 응용에 관하여 고찰 하였다.

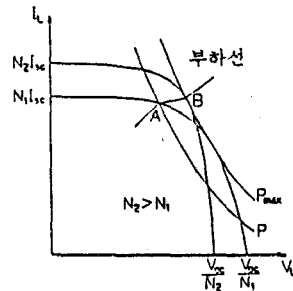
2. Digital 제어에 의한 태양전지 출력 제어방식

태양전지 출력 제어방식의 기본원리는 <그림 1> 과 같이 태양전지와 부하 사이에 직렬로 전력 변환장치 (PWM 제어쇼퍼, PWM 제어 DC-DC 컨버터, PWM 인버터 등) 를 설치하고 외부제어기로서 전력 변환장치의 입·출력 변압비 N 을 변화하여 매칭 (matching) 시킴으로써 최대



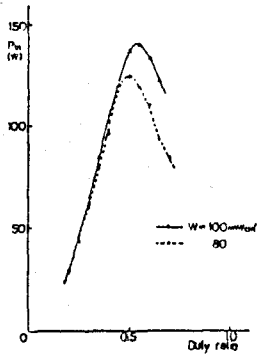
<그림 1> 태양광발전 시스템의 개요

동작점을 추종하는 제어방식이다. 이와같은 전력 변환 장치는 조정 가능한 권수비 N : 1 의 DC 전력용 변압 기에 적합한 다상 다중 쇼퍼를 생각할 수 있으며, N 의 변화는 그 Duty cycle 을 제어함으로써 연속제어가 가능 하다.

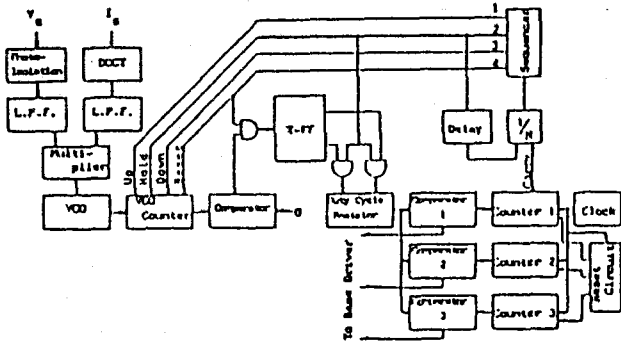


<그림 2> 부하측에서 본 태양전지의
전류-전압 특성

<그림 2> 는 전력 변환장치를 개입시켜 부하측에서 본 태양전지의 전류-전압 특성으로써 N1, N2 는 DC 변압기의 권수비이다. <그림 3> 은 단상 쇼퍼에 의해 태양전지의 출력을 제어 하였을때 Duty cycle D 에 대한 태양전지의 출력특성이며 이와같은 최대출력점은 일사 량에 따라 변화하므로 최적 Duty cycle 을 적당하게 선택함으로써 최대 출력점에서 운전할 수 있다는 것을



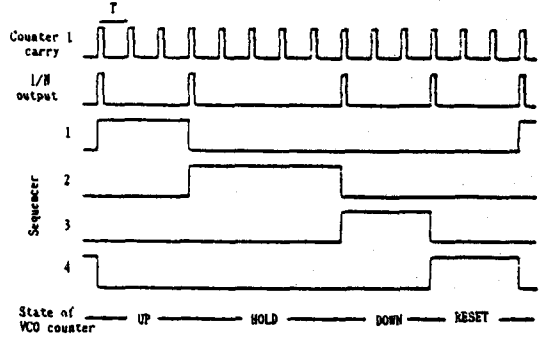
<그림 3> 쇼퍼 Duty 비에 대한 태양전지 출력 전력 특성



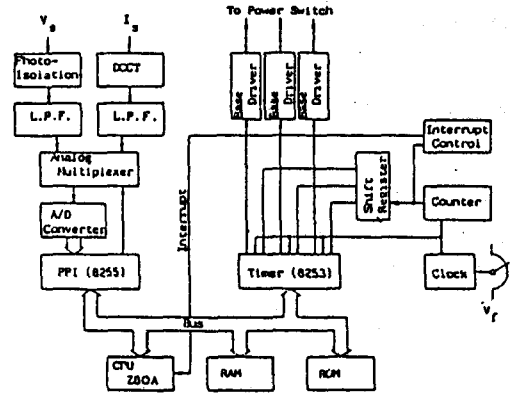
<그림 4> 디지털 제어 회로

확인할 수 있다. <그림 4> 는 이러한 제어방식을 기초로한 제어 회로의 block diagram 이다. 이 제어회로는 그림 右上의 순서회로에 의해 지배되며 다음의 4 가지 상태가 주기적으로 반복된다.

- i) Up counter mode ; 쇼퍼주기 T 의 N 배 시간.
Vco counter 를 up counter 로 동작시킨다.
- ii) Hold mode ; 방향변화용 T-FF 에 의해 duty cycle resister 의 내용을 +1 또는 -1 로 한다.
Vco counter 는 counter 동작을 정지하여 그때의 내용을 Hold 한다. 또 duty cycle 의 변화에 따른 과도응답이 존재하기 때문에 delay 회로에 의해 다음동작을 지연시킨다.
- iii) Down counter mode ; up counter 로 한것과 같은 시간 Vco counter 를 down counter 로서 동작시킨다.
- iv) Reset mode ; down counter mode 에서의 counter



<그림 5> 각부 동작 타임 차트



<그림 6> Micro processor 를 이용한 제어회로

수가 up counter mode 에서의 counter 수를 상회 하면 comparter 는 1 을 출력하여 T-FF 를 반전시킨다. Vco counter 는 reset 된다.

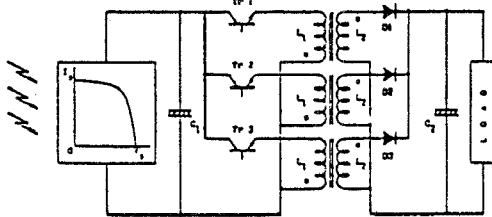
회로동작은 이러한 4 개의 동작으로 분류할 수 있으며 제어동작은 그 1 주기에 의해서 완료된다. <그림 5> 는 제어회로의 타임 차트를 나타내고 있다.

<그림 4> 는 digital IC 를 이용하여 구성된 제어 회로이지만 이것을 micro processor base 의 제어장치물 이용하면 하드웨어는 <그림 6> 과 같이 구성된다. 그 구성은 CPU 시스템과 입력 및 출력 인터페이스 회로로 크게 나눌 수 있다. CPU 시스템은 CPU 와 약간의 메모리로 부터 구성된다. 입력 인터페이스 회로에서는 태양전지의 출력 전압 Vs 와 전류 Is 를 검출하여 A/D 변환기를 거쳐서 micro processor 에 들어간다. 태양 전지 출력의 계산은 소프트웨어에 의해 계산된다.

한편 출력인터페이스 회로에서는 쇼퍼의 gate 신호를

발생시켜 주고있다. gate 신호를 소프트웨어로 발생시키는 방법도 생각할 수 있으나 소프트웨어가 복잡하게 되는것을 피하기 위하여 하드웨어로서 구성하였다. 하드웨어로 구성한 것에 의해 CPU 는 Timer 에 duty cycle 만을 출력하며, 다음은 Timer 가 적당한 신호를 만들어 주기때문에 소프트웨어는 지극히 간단하게 할 수 있다.

micro processor 를 이용한 <그림 6> 의 제어회로는 <그림 4> 보다도 약간 복잡하게 되지만 태양전지의 출력 제어 뿐만아니라 보호, 자기진단 등의 감시 기능을 간단하게 부가할 수 있다는 이점이 있다. 본 제어방식은 쇼퍼를 예로 하였지만 그 이외에 인버터 등의 많은 전력 변환장치에 응용이 가능하다.



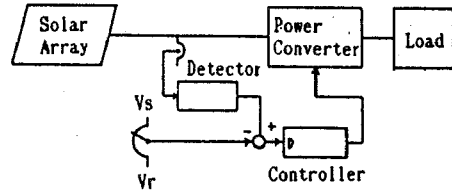
<그림 7> 3 상 다중 쇼퍼 시스템

이러한 제어 방식은 다상 다중 쇼퍼를 대상으로 하고 있으며 그 일에서 전압 제어범위가 큰 직류 승강압 제어 3 상 다중 쇼퍼를 <그림 7> 에 나타내었다. 태양 전지 출력 제어용 DC-DC converter 토서 이용하는 경우도 포함하여 시제작 쇼퍼는 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

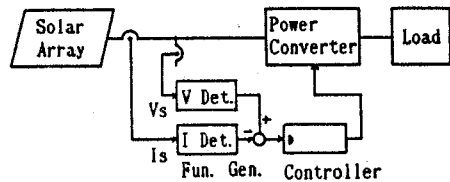
- i) 입력전류의 리플이 감소하기 때문에 태양전지 동작점의 급격한 변동을 막기위한 안정화 콘덴서 C1 의 용량을 작게할 수 있다.
- ii) 출력전류의 리플도 감소하기 때문에 출력측 필터 역시 소형화 된다.
- iii) 병렬접속할 경우에는 전류 평형의 문제를 고려하지 않으면 안되지만 다상 다중화 하면 그럴 필요성은 없다. 또 1 상분의 쇼퍼가 고장하여도 다른상만으로서 운전 가능하기 때문에 신뢰성이 향상된다.
- iv) 고출력·고효율용으로서 적합하다.

3. 태양전지 출력방식의 검토

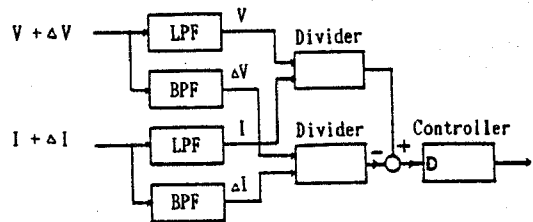
태양전지 출력 제어방식에는 <그림 8> 과 같은 정전압 제어방식과 <그림 9> 의 함수발생기를 이용한 출력 제어방식 그리고, <그림 10> 의 임피던스 비교에 의한 출력제어방식이 있다. 본 시스템에서는 임피던스 비교에 의한 출력제어방식에 대하여 상세히 설명하기로한다.



<그림 8> 정전압 제어에 의한 출력제어



<그림 9> 함수발생기에 의한 출력제어



<그림 10> 임피던스 비교에 의한 출력제어

임피던스 비교에 의한 출력 제어방식은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스의 비교에 의한 제어방식이다. 즉, 태양전지 출력전력은

$$P_s = V_s \times I_s \quad \text{----- (1)}$$

이므로 I_s 를 V_s 의 함수로 하여 (1) 식을 V 에 대하여 미분하면

$$\frac{dP}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} \quad \text{----- (2)}$$

이다. 최대출력점에 있어서는 $dP/dV = 0$ 이기때문에

$$IdV + VdI = 0 \quad \text{----- (3)}$$

따라서

$$\frac{V}{I} = - \frac{dV}{dI} \quad \left(\frac{V}{I} = - \frac{\Delta V}{\Delta I} \right) \quad \text{----- (4)}$$

(4) 식은 부하 임피던스가 최대 출력점에서 태양전지 I-V 곡선의 기울기와 동일하다는 것을 나타내고 있다. PWM 쇼퍼에 의해 제어할 경우에는 동작점을 중심으로 강제로 duty cycle의 변동을 줌으로서 그때의 V/I 및 $\Delta V/\Delta I$ 를 계산하여 양자가 동일하게 되도록 동작점을 선택하면 최대 출력점이 된다. <그림 7>과 같은 승강압 쇼퍼의 경우 $\Delta V/\Delta I$ 로부터 V/I가 적을 때는 duty cycle D를 적게하고 역의 경우에는 크게 하면 최대 출력점에서 제어가 가능하다.

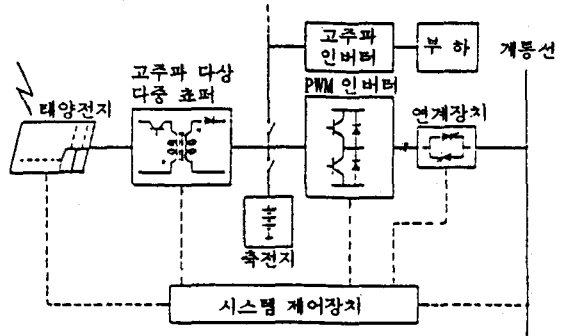
4. 태양전지 이용 시스템의 시험 모델

직류 응용으로서의 농업 용수용 DC 모터를 이용한 펌프 구동 시스템, Battery charger, 전자통신용 전원 등의 응용등의 소규모 개별분산 독립전원 시스템이 중심이 되어있다. 여기서 전력 변환장치로서는 쇼퍼 또는 DC-DC converter가 중요한 역할을 한다.

교류 응용으로서의 기존의 상용계통과의 연계가 이용 형태의 중심이 되어있다. 소규모 개인주택용, 중규모 집합주택, 학교·공장용, 대규모 집중형 발전 시스템등 규모적으로 여러가지가 있다. 상용계통과의 연계에서는 그 목적에 적합한 인버터의 선택이 중요하다. 타어식 인버터는 구성이 간단하고 대응량화도 가능하지만 고조파나 계통으로부터 무효 전력의 영향을 받는 등의 문제점이 있다. 또 타어식은 교류전원 없이는 운전이 불가능하며 개별 분산형 독립전원 시스템 응용에는 적합하지 않다. 한편 자어식 인버터는 구성이 복잡하고 대응량화가 곤란하지만 고조파 무효전력 제어가 간단하다는 것과 단독 기동운전이 가능한 이점이 있다. <그림 11>은 자어식 인버터를 이용한 태양전지 이용시스템의 구성예를 나타내고 있다. 인버터 시스템과 태양전지 사이에 고주파 링크를 이용하여 소형 경량화를 시도한 태양광발전 시스템도 보고되고 있다.

5. 결론

본 논문에서 기술한 태양전지 출력제어의 기본원리는 PWM 쇼퍼방식으로 설명하였지만 그 이외의 PWM 인버터 등의 전력 변환장치에도 응용할 수 있다. 제어수단으로서 micro processor 제어방법을 이용하면 태양전지



<그림 11> 자어식 인버터를 이용한 태양전지 이용시스템

출력 제어 만으로서는 시간적인 여유가 있기 때문에 모니터 등의 기능의 부하측도 고려한 협조적인 제어도 가능하다.

몇가지의 출력 제어 방법을 소개하였지만 최대출력 점을 언제나 추종하는 방법과 정전압 제어법 또는 함수 발생기를 이용한 방법의 두가지로 크게 분류할 수 있다. 후자는 최대 출력점을 벗어나는 것을 피할 수 없지만 회로구성이 간단하다는 이점이 있다. 또 전자의 비교하여 공급하는 출력은 거의 변하지 않지만 어느쪽을 선택할 것인가는 태양광 발전 이용시스템의 구성과 그 용도에 따라 검토하여야 한다.

이러한 회로구성을 토대로하여, 앞으로는 제어장치의 시제작 및 특성 실험과 실제로 시스템에 적용한 경우의 성능 실험에 관한 연구를 추진할 계획이다.

참고문헌 :

1. E.E.Landsam: "Maximum Power Trackers For Photovoltaic Arrays", MIT/LINCOLN Laboratory C00-4094-17, 1978
2. D.A.Fox " peak Power Tracking Technique For Photovoltaic Arrays ", IEEE PESC Record, No.CH1461-3