

태양광 발전을 이용한 계통연계 시스템 제어

조문택* 이충식* 이세훈* 황락훈** 김영수** 나승권*** 송호빈****
*대원과학대학 **세명대학교 ***한국폴리텍III대학 ****(주)휴스컴

A Utility Interactive System Control Using PV Generation

Moon-Taek Cho, Chung-Sik Lee, Se-Hun Lee, Lak-Hun Hwang, Young-Soo Kim, Seung-Kwon Na, Ho-Bin Song
*Daewon Science College ** Semyung University *** Korea Polytechnic III College , Huscom Co.

Abstract - 전압형 인버터에 의해 제어되며 인버터의 스위칭 게이트 신호 발생은 전압변조가 필요하다. 전압변조는 삼각파 비교 PWM, 공간전압벡터(Space voltage Vector) PWM기법 등으로 실현되고 있으나, SVPWM은 타 방식에 비해 고조파의 왜형률을 감소시키고, 디지털 구현이 용이하며 선형제어 영역을 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 먼저 SVPWM의 스위칭 이론 및 각 섹터에 따른 방향에 대해 설명하였고, 태양광 발전 시스템을 3상 PWM전압형 인버터로 구성하였고 안정된 변조를 위해서 동기신호와 제어신호를 위해 모토로라사의 56F8323 마이크로프로세서에 의해서 처리하였다. 또한 시스템의 출력전압과 전류의 파형은 전원전압과 출력전류가 위상이 일치되어 단위 역률로 안정된 전력을 공급할 수 있도록 제어하였다.

1. 서 론

최근 신에너지원으로 주목받고 있는 태양광 발전은 대체에너지 기술 중에서 가장 실용화에 가깝고 운전이 쉬우며, 유지 및 보수가 간단하고 발전 규모 선택이 자유롭다는 여러 가지 장점을 가지고 있어 미래의 자원으로 대우될 수 있는 유력한 대체 에너지원으로 각광을 받고 있을 뿐 아니라 최근 문제되고 있는 환경문제 해결에도 부합할 수 있는 특징을 갖고 있다. 특히 계통연계 태양광 발전 시스템은 최대전력을 발전하는 시간대가 하절기 피크 전력 소비시간대와 비슷하여 주택 및 건물의 지붕이나 옥상, 벽면등에 설치 함으로써 전력 수급 불균형 해소에 기여할 수 있고 국토 효율적 사용이 가능한 전력공급원으로 그 활용이 가능하다.[1]

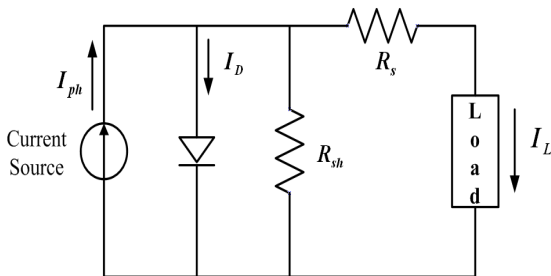
계통연계형은 태양전지의 출력이 부하의 수요에 비해 부족할 경우는 부족분을 전력계통으로부터 수전하고, 잉여출력이 있는 경우는 잉여분을 계통측에 공급하는 것이다. 따라서 시스템과 전력계통은 상호 밀접한 관련이 있으며 태양광 발전시스템의 계통연계시 시스템 출력변동, 고주파 발생 등으로 인한 계통 전력품질, 전압변동, 그 외에 단독운전에 대한 대책이 요구된다.

본 논문에서는 1.1kw의 PWM인버터 3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 설계 방법외에 3상인버터의 제어기법으로 벡터제어 기술을 하고 실증 제작된 시스템을 통하여 운전시험 결과를 제시하려고 한다.

2. 본 론

2.1 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성

2.1.1 태양전지의 특성



〈그림 1〉 태양전지의 등가회로

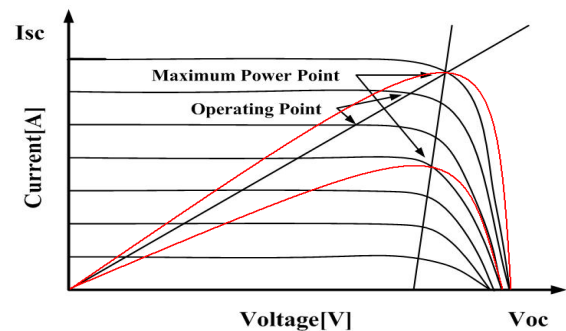
그림 1은 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가 회로이다. 여기서, 전류원 I_{ph} 는 광기전류로 표현되며 R_{sh} 와 R_s 는 각각 셀의 병렬저항 및 직렬저항이다. 이상적인 경우, 광 투사시의 전압 전류관계는 식 (1)과 같이 된다.

$$I = I_{ph} - I_D \left[\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

그러나, 실제로는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 가 가해져서 그림 2와 같이 되고, 전류는 식 (2)와 같이 된다.

$$I = I_{ph} - I_D \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

여기서 I 는 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_o 는 다이오드 포화전류, n 은 다이오드 성능 지수, K 는 볼츠만 상수, T 는 절대온도 q 는 전하량, R_{sh} 는 병렬저항, R_s 는 직렬저항, V 는 부하전압이며 이를 전압 전류 특성곡선으로 나타내며 그림 2와 같이 된다.



〈그림 2〉 태양전지의 전압, 전류곡선

그림 2에서 개방전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 곡선인자 FF 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서, 개방전압은 식 (3)과 같이 된다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_D} + 1\right) \quad (3)$$

또한, 단락전류는 식 (4)와 같이 된다.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_D \left[\exp\left(\frac{qIR_s}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

태양전지의 곡선인자는 식 (5)로 정의된다.

$$FF = \frac{(V_m \times I_m)}{(V_{oc} \times I_{sc})} \quad (5)$$

여기서 V_m 은 태양전지의 최대출력전압, I_m 은 최대출력전류이다. 태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는

최대의 전기 에너지를 입사광 에너지로 나눈 값으로 다음과 같다.

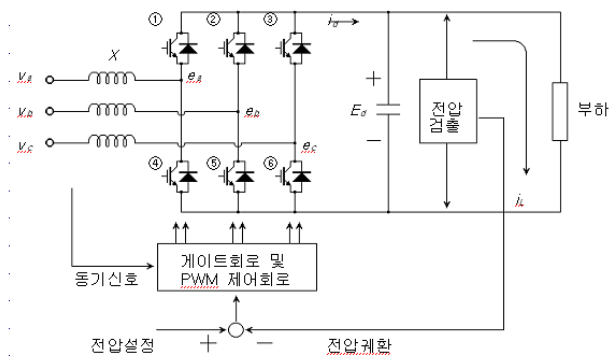
$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_i} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_i} \times FF \quad (6)$$

여기서 P_i 는 입사된 태양광 에너지이다.

위의 식들로부터, 보다 많은 태양광 발전을 위해서는 태양전지로부터 출력되는 개방전압과 단락전류가 얼마나 최대 출력전압과 최대 출력전류에 가깝게 출력되도록 설계하느냐에 따라서 태양광 발전 성능이 달라진다는 것을 알 수 있다.

2.2 전압형 전력변환기의 구조

전압형 인버터는 그림과 같이 180[도] 통전형의 전력변환기와 교류전원을 리액턴스로 결합시킨 구조를 하고 있다. 전력변환기는 강제전류방식의 구조, 또는 자기소호능력을 갖는 소자를 사용한 전압형의 변환기이다. 직류전압의 크기는 정의되지 않기 때문에 직류전압을 제어하는 기능이 필수적으로 마련되어야 한다. 또한 교류 측의 역률도 정의되지 않기 때문에 무효전력을 발생시킬 수 있으며 무효전력량을 제어할 수 있는 특성을 갖고 있다.



〈그림 3〉 3상 PWM 인버터 모델

2.3 전압형 컨버터의 제어

식 (5)를 식 (6)에 대입하면 교류측의 전력은 전원전압, 변환기의 교류측 전압과 위상각 및 리액턴스에 의한 식 (7)로 된다.

$$P_a = \sqrt{3} \frac{VE}{X} \sin \alpha \quad (7)$$

식 (7)에서 변환기의 교류측 전압은 PWM의 변조율과 변환기의 직류전압에 관계하여 변조율을 r 라고 하면

$$E = r E_d \quad (8)$$

이 된다. 한편 변환기의 직류전류는 직류측에 공급되는 전력과의 관계에서

$$I_d = \frac{P_a}{E_d} \quad (9)$$

가 되므로 식 (7), 식 (8) 및 식 (9)의 관계로부터 변환기의 직류측 전류는 식 (10)으로 계산되어질 수 있으며 식 (10)으로부터 변환기의 제어는 변환기의 위상각으로 이루어짐을 알 수 있다.

$$I_d = \sqrt{3} \frac{r V}{X} \sin \alpha = I_o r \sin \alpha \quad (10)$$

2.4 전력변환기 PI제어

P-I제어기에 의하여 리액터 양단의 전압을 제어하여 목적인 크기의 전류가 흐르도록 할 수 있다.

$$V_L = V - E = \Xi^* + \left(\frac{ki}{s} + kp\right) (I^* - I) \quad (11)$$

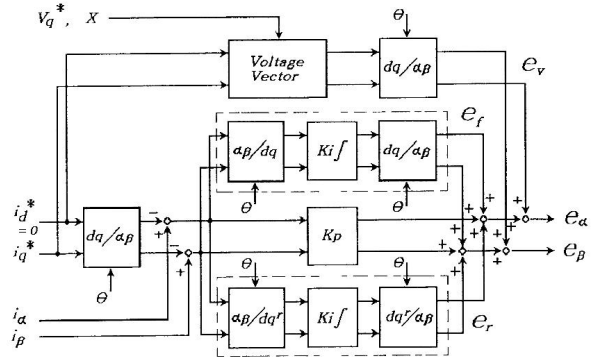
전력변환기의 교류측 전압은 직류전압과 PWM 변조율에 의하여 자유롭게 변화시킬 수 있으므로 식 (11)에서

$$E = (V - \Xi^*) - \left(\frac{ki}{s} + kp\right) (I^* - I) \quad (12)$$

을 얻는다. 식 (12)에서 우변 1항은 전원전압에서 리액턴스 강하를 뺀 전압이므로 정상상태에서 전력변환기의 전압백터를 의미한다. 우변 제2항은 PI제어기의 동작으로 설정한 전류가 되도록 리액턴스의 전압을 제어한다.

$$\begin{bmatrix} e_{vd} \\ e_{vq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -X i_q^* \\ V_q \end{bmatrix} \quad (13)$$

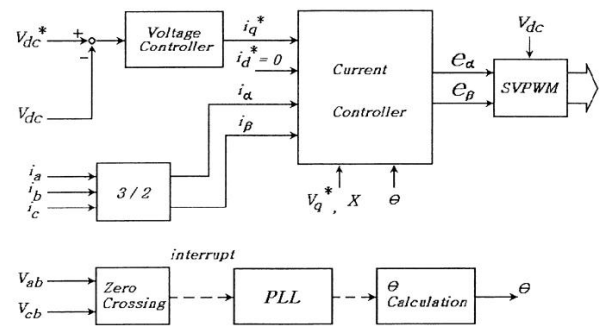
식 (12)에서 우변 제2항에 의한 전류제어로 불평형 보상이 이루어진다. 그림 4와 같이 비례제어는 정지 좌표계에서 연산하고 적분제어는 정상분과 역상분을 분리하여 각각 반대 방향으로 회전하는 두 개의 회전 좌표계에서 연산을 한다.



〈그림 4〉 전류제어 블록도

그림 4는 식 (12)에 의한 전류제어로 구성된 제어 블록도이다. 그림 4의 블록도에서 e_v 는 전류오차 ($I^* - I$)를 입력으로 한 역상회전 좌표계에 대한 PI제어기의 출력이다.

e_α, e_β 는 정상상태의 백터를 포함하고 정상분과 역상분을 보상하는 최종 출력이며 전력변환기를 구동하는 신호가 된다.



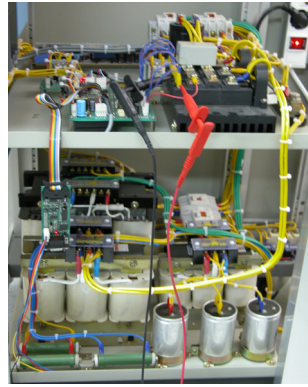
〈그림 5〉 인버터 제어 블록도

2.5 실험결과

3상 IGBT, PWM 인버터, DSP 56F8323를 사용하였으며 DC 220~400V, 3상인덕터 및 캐패시터는 각각2[mH], 60[mF]으로 하였다. 계통연계형 태양광 발전시스템은 태양광을 받아 직류전기를 발생시키는 53W용량의 PV모듈 총 24개가 직병렬로 이루어져 있다.



(a) 계통연계형 인버터



(b) 계통연계형 인버터 내부



(c) 태양전지 어레이

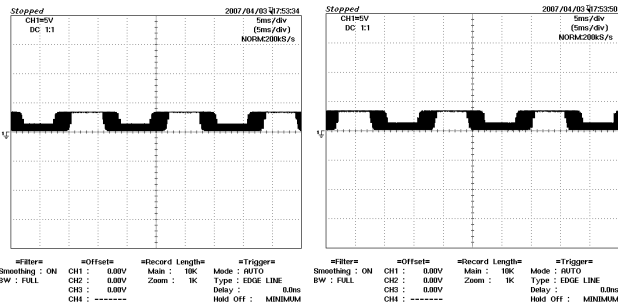
<그림 6> 계통연계형 인버터와 태양전지어레이

3. 결 론

1. 정현과 변조에서는 직류전압의 61.2[%], 공간벡터 변조에서는 70.7[%]의 교류전압을 얻을 수 있으므로 공간벡터 변조방법이 정현과 변조방법 보다 더 넓은 범위에서 전력변환이 이루어 진다.
2. 인버터 게이트 입력신호인 변조파형을 나타내는 것으로서 의 S_1 은 S_2 와 서로 반대이고 S_1 과 S_3 는 Carrier인 정현과 위상이 180° 는 파형에 대한 변조파형을 나타낸다.
또한 인버터에서 전력변환 과정에서의 손실 등으로 인하여 그림에서 보는바와 같이 전압과 전류에 잡음성분이 많은 것을 볼 수 있다. 하지만 단위역률에 대하여 동상으로 나타남을 알 수 있다.

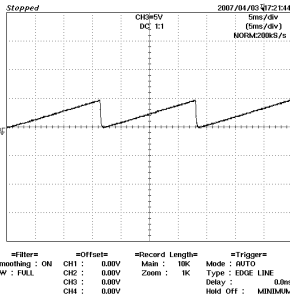
[참 고 문 헌]

- [1] S.J.Chiang, K.T.Chang, C.Y.Yen, "Residential Potovoltaic Energy System", IEEE Trans. Indus. Electronics, vol.45, No.3, pp.385-394, 1998
- [2] Lasnier & T.G.Ang, "Photovoltaic Engineering Handbook", pp. 297-328, 1990
- [3] E.Koutroulis, K.Kalaitzakis, and N.C. Voulgaris, "Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system", IEEE Trans. Power Electronics., vol.16, pp.46-54, 2001
- [4] Gerry Moschopoulos and Geza Joos, "A Novel Soft-Switched PWM Current Source Rectifier/Inverter", Conf. Rec. of IEEE PESC-Annual Meeting, pp.573-579, 1997

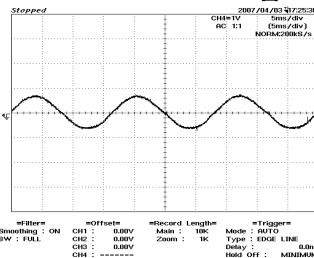


<그림 7> PWM A상 전압

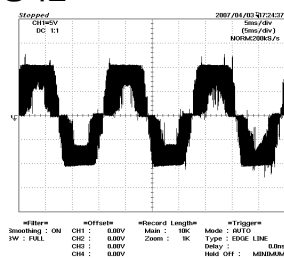
<그림 8> PWM B상 전압



<그림 9> 동기신호



<그림 10> 인버터 출력전류



<그림 11> 인버터 출력전압