

가변 히스테리시스 전류제어기를 이용한 연계형 태양광 인버터의 제어

최연옥, 조금배, 백형래*

김시경**

유권종, 송진수***

* 조선대학교 전기공학과

** 공주대학교 전기공학과,

*** 한국에너지기술연구소

Control of Grid-Connected Photovoltaics Inverter Using Variable Hysteresis Band Current Controller

Youn-Ok Choi, Geum-Bae Cho, Hyung-Lae Baek^{*}, Si-Kyung Kim^{**}, Gwon-Jong Yu, Jin-Soo Song^{***}

^{*}Chosun University, ^{**}Kongju National University, ^{***}Korea Institute of Energy Research

Abstract

Hysteresis current control is one of the simplest techniques used to control currents for high speed drive systems, because of its simplicity of implementation, fast current control response, and inherent peak current limiting capability. However the conventional fixed-band hysteresis control has a variable switching frequency throughout the fundamental period, and consequently the load current harmonics spreaded on the wide frequency range.

In this paper, a simple, novel alternative approach is proposed for a variable-hysteresis-band current controller which uses feedback techniques to achieve constant switching frequency with good dynamic response. The method is easily implemented in hardware, the resultant controller is easily tuned to a particular load, and has good immunity to variation in PV parameter and dc supply voltage.

1. 서 론

신 에너지원의 하나로 각광받고 있는 태양에너지는 청정에너지이고, 무한정하기 때문에 대체 에너지로써 특히 주목을 받고 있으며, 이를 이용한 태양광 발전 시스템은 태양전지를 매체로하여 직접 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 발전방식이다. 이러한 태양광 발전 시스템은 전원과의 연계 유무에 따라 계통연계형 시스템과, 독립형시스템으로 크게 분류된다. 계통연계형 시스템의 개발에서 요구되는 사항들로서 발전 전력의 고품질화, 배전계통의 안정성 확보를 들 수 있다. 본 연구에서는 태양광 발전 시스템의 전압제어기로는 PI제어기를 사용하였으며, 전류제어기법으로는 히스테리시스제어기법을 이용하였다.

히스테리시스 전류제어는 고속 드라이브 시스템에 관하여 전류의 진폭과 위상각 제어에 사용하는 가장 간단한 기술 중 하나이다. 하지만, 기존의 고정된 밴드 히스테리시스 제어는 기준 주기를 통하여 가변 스위칭 주파수 때문에 부하전류 고조파 리플은 넓은 주파수 영역에서 빤덤하게 분포되어진다.

본 논문은 간단하고 새로운 접근으로 양호한 다이나믹 응답으로써 일정한 스위칭 주파수를 유지하기 위해 가변 히스테리시스 밴드 전류 제어기를 제안하였다.

2. 연계형 태양광 발전시스템 및 제어기

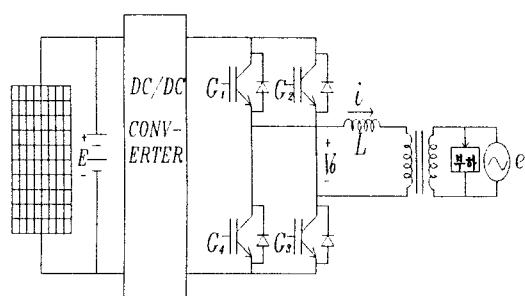


그림 1. 연계형 태양광 발전시스템

그림 1은 태양전지로부터 직류전압을 공급받는 태양전지부, 일정전압을 위해 PI전압제어한 DC/DC Converter부, 교류전압으로 변환되는 PWM인버터부, 전원측 절연변압기, 부하 및 유트리티로 구성된 연계형 태양광 발전 시스템을 나타낸다.

계통연계형 인버터는 유트리티를 이용하는데, 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터 출력이 부족할 경우, 부족한 전력을 유트리티에서 부하로 공급되며, 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터 출력이 클 경우 그잉여전력

은 계통으로 공급된다.

PWM 기법으로는 스위칭 주파수에 따라 출력전압이 E , $-E$ 값을 갖는 바이풀라 전압 스위칭기법과 스위칭 주파수와 유틸리티 주파수에 의해 출력전압은 E , 0 , $-E$ 값을 갖는 유니풀라 전압 스위칭기법이다..

하지만, 바이풀라 전압 스위칭기법은 스위칭 손실로 인하여 좋은 특성을 갖지 못하여 본 논문에서는 유니풀라 전압 스위칭기법을 이용하였다.

3. 전류모드 제어기법

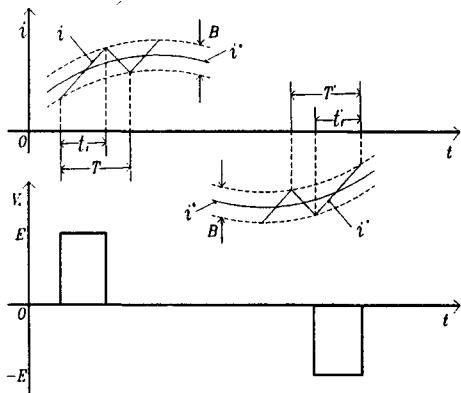


그림 2. 연계형 태양광 발전시스템의 유틸리티측 전류와 인버터의 출력 전압.

그림 2는 그림1의 연계형 태양광 발전 시스템의 유틸리티측 전류와 태양광 인버터의 출력 전압을 나타낸다. 그림 2로부터 선전류와 인버터 출력전압 V_o 사이의 관계는

$$V_o = L \frac{di}{dt} + e \quad (1)$$

이고, 유틸리티 선전류 i 가 기준전류 (i^*)를 추종하기 위한 기준전압은 다음 식과 같이 나타낸다.

$$V_o^* = L \frac{di^*}{dt} + e \quad (2)$$

따라서 유틸리티 선전류와 기준전류차를

$$\alpha = i^* - i \quad (3)$$

라고하고 식(1)과 식(2)로부터 기준전압과 인버터 출력 전압의 차는

$$V_o^* - V_o = L \frac{d(i^* - i)}{dt} = L \frac{d\alpha}{dt} \quad (4)$$

로 나타내어진다.

그림 2로부터 $i^* > 0$ 인 경우 시간구간 ($0 < t < t_1$)동안에 인버터 출력전압은 $V_o = E$ 이며 이 관계를 식(4)에 대입하면,

$$V_o^* - E = L \frac{d\alpha}{dt} = L \frac{\alpha(t_1) - \alpha(0)}{t_1 - 0} = L \frac{-\frac{B}{2} - \frac{B}{2}}{t_1} \quad (5)$$

이고, 시간구간 ($t_1 < t < T$)동안에 인버터 출력전압은 $V_o = 0$ 이며 이 관계를 식(4)에 대입하면,

$$V_o^* = L \frac{d\alpha}{dt} = L \frac{\alpha(T) - \alpha(t_1)}{T - t_1} = L \frac{\frac{B}{2} + \frac{B}{2}}{T - t_1} \quad (6)$$

과 같이 나타낸다.

식(5)와 식(6)으로부터 스위칭 한주기에 대한 관계식은 다음과 같이 얻어진다.

$$T = \frac{LB}{V_o^*} + \frac{LB}{E - V_o^*} = \frac{ELB}{EV_o^* - (V_o^*)^2} \quad (7)$$

B : $B_{max}[EV_o^* - (V_o^*)^2]$ 로 설정하면

$$B = \frac{T}{EL} [E(L \frac{di^*}{dt} + e) - (L \frac{di^*}{dt} + e)^2] \quad (8)$$

여기서,

E : DC입력전압

L : 인덕턴스

B : 히스테리시스 에러밴드 (B_{max} 에서 초기적으로 고정된)

로 써,는 일정한 주파수로 되어진다.

또한, $i^* < 0$ 인 경우 시간구간 ($0 < t < t_1$)동안에 인버터 출력전압은 $V_o = -E$ 이며 이 관계를 식(4)에 대입하면,

$$V_o^* + E = L \frac{d\alpha}{dt} = L \frac{\alpha(t_1) - \alpha(0)}{t_1 - 0} = L \frac{\frac{B}{2} + \frac{B}{2}}{t_1} \quad (9)$$

이고, 시간구간 ($t_1 < t < T$)동안에 인버터 출력전압은 $V_o = 0$ 이며 이 관계를 식(4)에 대입하면,

$$V_o^* = L \frac{d\alpha}{dt} = L \frac{\alpha(T) - \alpha(t_1)}{T - t_1} = L \frac{-\frac{B}{2} - \frac{B}{2}}{T - t_1} \quad (10)$$

과 같이 나타낸다.

식(9)와 식(10)으로부터 스위칭 한주기에 대한 관계식은 다음과 같이 얻어진다.

$$T = \frac{-LB}{V_o^*} + \frac{LB}{E + V_o^*} = -\frac{ELB}{EV_o^* + (V_o^*)^2} \quad (11)$$

B : $B_{max}[EV_o^* + (V_o^*)^2]$ 로 설정하면

$$B = \frac{-T}{EL} [E(L \frac{di^*}{dt} + e) + (L \frac{di^*}{dt} + e)^2] \quad (12)$$

로 써, T 는 일정한 주파수로 되어진다.

4. 시스템 구성

그림 3은 연계형 태양광 발전시스템의 전체 구성도로써 인버터의 전압과 전류를 센싱하여 히스테리시스 벤드를 출력의 상위 $i_{ref} + \frac{B}{2}$ 와 $i_{ref} - \frac{B}{2}$ 로 설정하여

비교기로 기준전류와 검출전류를 비교하여 RS플립플롭 소자를 이용하여 게이트에 신호로 G1과 G4

에 공급하며, 유트리티 주파수로 G2과 G3에 공급하도록 하였다.

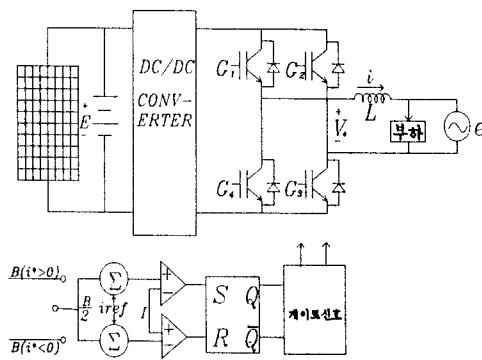


그림 3. 연계형 태양광 발전시스템의 전체 구성도

5. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 사용된 시뮬레이션 프로그램은 PSIM V2.0을 사용하였으며, 전력 변환기에 헤시터리스 전류제어 시 B를 수학적으로 소거함으로써 일정 스위칭 주파수를 유지하기 위하여 식으로 표현하면,

$$B = \frac{T}{2EL} [E(L \frac{di^*}{dt} + e) - (L \frac{di^*}{dt} + e)^2] (i^* > 0) \quad (13)$$

$$B = \frac{-T}{EL} [E(L \frac{di^*}{dt} + e) + (L \frac{di^*}{dt} + e)^2] (i^* < 0)$$

으로 나타냄으로서 T는 일정하게 유지하게 된다. 그림 4, 5, 6은 시뮬레이션 결과를 나타내며, 직류전압 E가 일정하다고 가정하여 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 파라미터

DC입력전압	E = 200V
인덕턴스	L = 5mH
스위칭 주파수	f = 10KHz
유트리티 전압	e = 110√2sinwt
기준전류	i* = 10√2sinwt

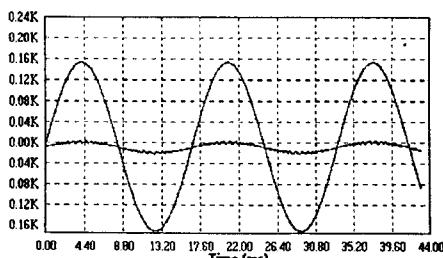


그림 4. 유트리티전압과 인버터전류 파형

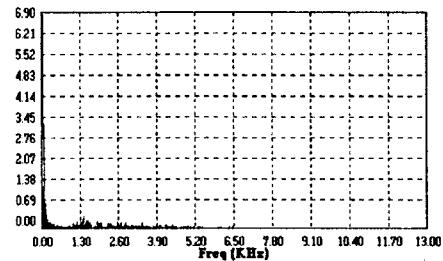


그림 5. 전류 파형의 FFT

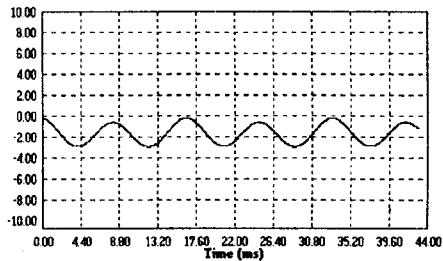


그림 6. 헤시터리스 밴드폭

6. 결론

본 연구에서는 태양전지를 직류 전압으로 사용하여 단상 PWM 인버터 전류제어를 기존의 고정된 스위칭 주파수가 아닌 헤시터리스 밴드를 가변함으로써 일정 주파수가 유지됨을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Lawrence J. Borle, Chemmangot V. Nayer, "Zero Average Current Error Controlled Power Flow for AC-DC power Converters" IEEE Trans on Power Electronics, Vol. 10, No.6, pp 725~732, 1995
- [2] Qunying Yao, D.G. Holmes, "A simple Novel Method for variable-Hysteresis-band Current Control of a Three phase Inverter with constant Switching Frequency" IEEE IAS, pp 1122 ~ 1129, 1993
- [3] Eric persson, Ned Mohan, B. Ben Banerjee, "Adaptive Tolerance-Band current control of standby power supply provides load-current Harmonic Neutralization" IEEE PESC, pp 320 ~ 328, 1992
- [4] Fumio Harashima et al, " Microprocessor-controlled sit inverter For solar Energy system", IEEE IECON pp 643 ~ 648, 1985
- [5] 유권종 외 3, "전력 Peak Cut를 위한 주택용 태양광 발전시스템의 에어콘 개발(II)" 대한전기학회 학계학술 대회 논문집, VOL.B p.1045, 1992. 7
- [6] 강승우 외 6, "태양광 발전시스템을 위한 단상 PWM 전압형 인버터" 대한전기학회 학계학술대회 논문집, pp 443 ~ 445, 1995, 7