

태양광발전용 불연속모드 동작을 이용한 전력변환장치

김영철* 전중함** 김광태*** 유권중§ 서기영 이현우
 쌍용중공업* 대구보건대** 부산정보대*** 에너지기술연구소* 경남대학교

Power Conversion Device using Discontinuous Conduction Mode in Photovoltaic Power Generation

Y.C.Kim*, J.H.Chun**, K.T.Kim***, K.J.Yu§, K.Y.Su, H.W.Lee

*SsangYong Heavy Indus. **Daegu Health College. ***Pusan College. §KIER, KyungNam Univ.

Abstract - This paper present a buck-boost PWM inverter and its application for residential system. The PWM power inverter is realized by driving a inverter constructed with a high frequency buck-boost chopper in the discontinuous conduction mode (DCM).

1. 서 론

태양전지의 출력은 직류전력이고 이 전력을 상용전원으로 사용하기 위해서는 전력변환장치를 이용하여 교류전력으로 변환할 필요가 있다.

태양전지 출력특성은 부하상태, 일사량, 온도등 주변환경에 따라 크게 변화되며, 전력공급에 불안정한 문제가 있다. 태양광발전 시스템에 이용되는 전력변환장치는 이러한 전력변동에 대하여 정전압의 높은 신뢰성을 보장할 수 있어야 하며, 직류전원전압(태양전지 발전전압)과 동일한 교류출력(실효치)을 얻거나 직류전원전압보다 높은 교류출력을 얻기 위해서 승강압으로 할 필요가 있다.

인버터에 있어서 리액터, 콘덴서 등의 소형화, 출력전압 및 전류파형의 개선, 응답성 향상을 목적으로 스위칭주파수를 고주파화 한다. 스위칭주파수의 고주파화는 인버터출력 고조파전압의 저감을 가능하게 하고, 교류리액터와 출력필터를 소형화 시킨다. 그러나 스위칭고주파화에 따른 스위칭손실의 증가와 전자노이즈의 발생을 방지하기 위하여 LC공진회로를 이용하여 영전압 또는 영전류 스위칭 방법이 사용되고 있다. 이러한 경우 링크부의 전압, 전류의 피크치는 전원전압, 전류의 2배이상으로 되어 소자의 스트레스가 증대되는 등의 문제가 있다. 또한, 단상 PWM인버터에서는 교류순시전력이 전원주파수의 2배로 맥동하고 전류형에서는 직류전압이 2배주파수로 맥동한다. 그 결과 직류전류도 2배주파수로 맥동한다. 직류전류의 맥동은 교류전류 왜형의 원인이 된다.

본 논문에서는 태양광발전에 이용되는 전력변환장치를 승강압 인버터로 구성하고, 리액터전류 불연속

모드로 동작시킴으로서 안정된 출력특성을 얻고자 한다.

2. 회로구성

승강압형 콘버터를 이용하여 직류부하에 전력을 공급하는 경우 태양광발전 시스템의 주회로의 기본구성을 그림 1에 나타낸다.

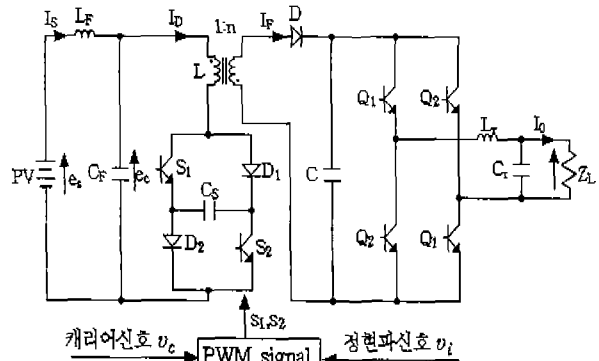


그림 1. 태양광발전 승강압형 인버터 회로

E_s 는 태양전지, R_o 은 부하저항이다. 그림 2에 나타낸 것처럼 스위치 S_1, S_2 시비율 $D_1 = T_1/T_c$ 을 일정한 PWM신호로 온,오프하고, 리액터 L 에 흐르는 전류를 불연속으로 함으로서 기간 T_1 동안 L 에 에너지를 축적하고, 축적된 에너지를 모두 기간 T_2 (\ll 주기 T_c)내에 부하에 전송시켜 정전력 출력을 얻는다.

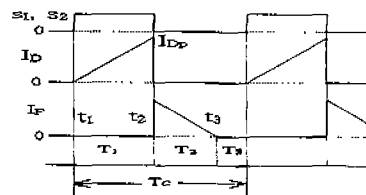


그림 2. 신호 및 전류 파형

그림 2의 PWM신호는 정현파 입력신호 $v_i = V_{im}(\sin \omega_i t)$ 와 삼각파의 캐리어신호 $v_c = V_{cm}t_{r1}(\omega_c t)$ 을 비교하여 얻는다.

입력신호 주파수 f_i 와 캐리어주파수 f_c 와의 사이에는 $f_i \ll f_c$ 관계가 있다. 스위치 S_1, S_2 의 온기간 T_1 은 다음식으로 주어진다.

$$T_1 = a |\sin \omega_i t| T_c \quad (1)$$

$a = V_{im}/V_{cm}$: 변조율

인버터 입력전류 I_D 는 다음식으로 주어진다.

$$I_D(t) = \frac{e_c}{L} t \quad (2)$$

전류 I_D 의 피크치 I_{DP} 는 식(1), (2)에서 다음과 같이 된다.

$$I_{DP} = \frac{aT_c}{L} e_c |\sin \omega_i t| \quad (3)$$

전류 I_D 는 ω_i 와 ω_c 의 변조에 의한 값으로 $\omega_i t$ 와 $\omega_c t$ 의 함수로 표현되며 이를 2중 푸리에 급수 전개하면 다음식을 얻는다.

$$I_D(\omega_c t, \omega_i t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} K_{mn} e^{j(n\omega_c + m\omega_i)t} \quad (4)$$

여기서,

$$K_{mn} = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} I_D e^{-j(m\theta + n\varphi)} d\theta d\varphi$$

$$\theta_1 = \omega_c T_1 = 2\pi a \sin \varphi$$

$$\theta = \omega_c t, \quad \varphi = \omega_i t$$

$$m, n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

식(5)로부터 I_D 의 직류성분 K_{00} , 입력신호 주파수 f_i 의 고조파성분 K_{0n} , 캐리어주파수 f_c 의 고조파성분 $K_{mn}(m \geq 1)$ 을 구하면 다음과 같다.

$$K_{00} = \frac{a^2}{4f_c L} E_c \quad (6)$$

$$K_{0n} = 0 \quad (n \neq 2) \quad (7)$$

$$-\frac{a^2}{8f_c L} E_c \quad (n=2)$$

식(4), (6), (7)로부터 I_D 를 구하면 다음과 같다.

$$I_D = \frac{E_c}{Z_{Cac}} + i_{cl} + i_{ch} \quad (8)$$

여기서

$$Z_{Cac} = \frac{4f_c L}{a^2} \quad (9)$$

$$i_{cl} = \frac{E_c}{Z_{Cac}} \sin(2\omega_i t - \frac{\pi}{2}) \quad (10)$$

$$i_{ch} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n \neq 0}^{\infty} K_{mn} e^{j(m\theta + n\varphi)} \quad (11)$$

식(8)를 이용하여 그림 1에 대한 입력측 등가회

로를 그림 3로 나타내며, 인버터 입력임피던스 Z_{Cac} , 입력신호주파수 f_i 의 제2고조파성분의 저주파 리플전류 i_{cl} 및 캐리어주파수 f_c 에 의한 고주파 리플전류 i_{ch} 으로 구성되어 있다.

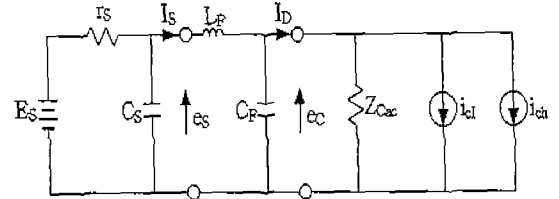
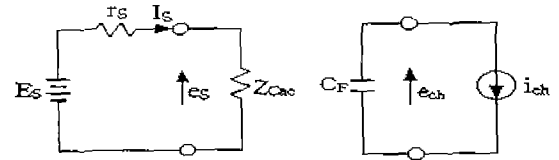
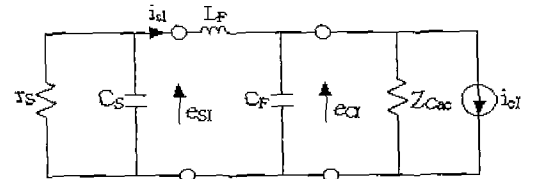


그림 3. 태양광발전 시스템 등가회로



(a) 직류성분 (b) 캐리어주파수 성분



(c) 입력주파수 f_i 에 의한 리플성분

그림 4. 각성분에 의한 등가회로

식(9)에서 Z_{Cac} 은 변조율 I_S a 의 2승에 반비례하고, 식(10)에서 PV출력전류는 f_i 의 제2고조파 성분만으로 되고, a 을 크게하면, Z_{Cac} 은 적어지고, 리플전류 i_{cl} 는 커진다. 그림 3에서 저주파 $2\omega_i$ 성분에 대하여 $r_s \ll 1/2\omega_i C_s$, 고조파성분에 대한 $1/\omega_c C_F \ll \omega_c C_F$ 를 고려하여, 직류분, $2\omega_i$ 성분 및 고조파성분에 대한 정상상태의 등가회로는 그림 4에 나타낸다.

그림 4(a)의 직류정상상태에서는 $E_s = E_c$ 로 되고, 따라서, 태양전지 평균출력전류 $I_S = I_D$ 는 다음식으로 주어진다.

$$I_S = I_D = \frac{E_s}{Z_{Cac}} = \frac{a^2}{4f_c L} E_s \quad (12)$$

I_S 의 저차리플분 $I_{stm}(m=1, 2, 3)$ 를 억제하기 위해 L_F, C_F 의 값을 가능한한 크게하면, 캐리어주파수 f_c 성분의 리플전류 i_{ch} 는 거의 C_F 에 흐른다. 이 경우 I_S 의 리플분은 거의 i_{cl} 에 좌우되며,

특히 ω_i 와 $2\omega_i$ 성분의 영향이 커진다. 그림 4(c)에서 전류원 i_{cl} 에 의한 리플전압 e_{cl} , e_{sl} 및 리플전류 i_{sl} , i_{CFI} 을 phase를 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$e_{cl} = ZI_{cl}e^{j\pi} = \frac{ZI_S}{\sqrt{2}} e^{j\frac{\pi}{2}}$$

$$e_{sl} = \frac{r_s}{r_s + j2\omega_i L_F} e_{cl} = \frac{Zr_s}{r_s + j2\omega_i L_F} \frac{I_S}{\sqrt{2}} e^{j\frac{\pi}{2}}$$

$$i_{sl} = \frac{e_{cl}e^{j\pi}}{r_s + j2\omega_i L_F} e_{cl} = \frac{Z}{r_s + j2\omega_i L_F} \frac{I_S}{\sqrt{2}} e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

$$i_{CFI} = 2\omega_i C_F e_{cl} e^{-j\frac{\pi}{2}} = \sqrt{2}\omega_i C_F Z I_S e^{j\pi} \quad (13)$$

여기서,

$$I_{cl} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{E_C}{Z_{Cac}} e^{-j\frac{\pi}{2}} = \frac{I_S}{\sqrt{2}} e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_{Cac}} + j2\omega_i C_F + \frac{1}{r_s + j2\omega_i C_F} \quad (14)$$

출력전압 v_0 는 입력전력 P_{in} 이 출력전력 P_0 와 같다고 가정하면,

$$P_{in} = P_0 = \frac{E_C^2}{Z_{Cac}} = \frac{(v_0)^2}{R_L} \quad (15)$$

여기서,

$$v_0 = \sqrt{\frac{R_L}{Z_{Cac}}} E_S = \sqrt{\frac{R_L}{4f_c L}} aE_S \quad (16)$$

출력전력 P_0 는 다음과 같다.

$$P_0 = \frac{E_S^2}{Z_{Cac}} = \frac{(aE_S)^2}{4f_c L} \quad (17)$$

식 (17)의 출력전력 P_0 은 시스템의 입력저항이 Z_{Cac} 으로 됨으로서 입력전력 P_{in} 과 같아진다. 즉, 승강압형 인버터를 리액터 전류불연속 모드로 동작시키면, 입력전력이 모두 부하에 전송된다.

3. 시뮬레이션

그림 5와 그림 6에서 정현파 입력신호와 삼각파 캐리어신호의 PWM 출력파형을 나타낸다. 이 PWM 파형은 스위치 S_1 , S_2 의 제어신호로 주어지며, 스위치가 온됨과 동시에 인덕터 전류는 0에서 증가하여 온기간동안 L에 에너지를 축적하며, 오프됨과 동시에 에너지전달이 이루어짐을 알 수 있다. 또한 빠른 시간내에 에너지를 부하단으로 전달함으로써 발전전력의 전력손실을 최소화 한다. 그림 6은 60Hz의 전압출력파형을 보여준다.

이 논문은 한국과학재단의 '98 핵심전문연구 사업으로 연구되었음.

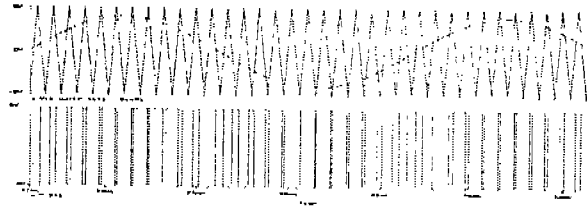


그림 5. PWM 파형

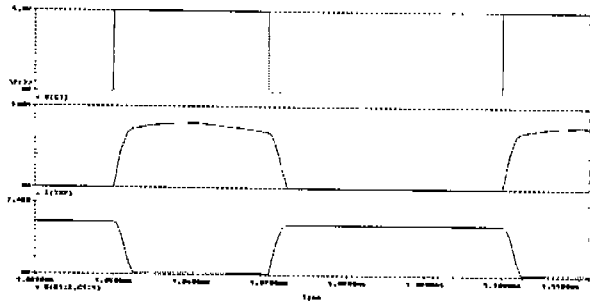


그림 6. 제어신호와 제어회로 동작파형

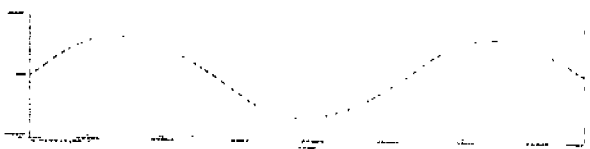


그림 7. 출력전압 파형

4. 결론

제안된 태양광발전 시스템은 하나의 스위칭소자 대신에 부분공진현상을 발생시키는 스위칭회로를 이용하여 스위칭 소자의 스트레스를 저감하고, 인덕터 전류가 0이 되는 기간이 존재하는 불연속모드로 운전하도록 시스템을 구성하였다. 태양전지 출력전류, 전압의 리플분을 명확히 하여 입력측 필터 설계를 용이하도록 하였다. 불연속모드 동작에 의한 승강압형 인버터를 태양광발전 시스템에 이용하는 경우 전력의 공급이 태양전지의 발전전압에 관계없이 부드럽게 부하단에 전송할 수 있는 것을 보여 주었다.

참고문헌

- [1] 이현우외, "태양광발전을 위한 대용량 소프트 스위칭 승강압 DC-DC 컨버터", 전력전자학회 창립기념 학술발표 논문집, pp.117-120, '96.6
- [2] M. Nagao, et al., "Constant-Power Converter operation in Discontinuous Conduction Mode and its Application for Photovoltaic System" Technical Report of IEICE, PE92-22, pp.9~16, '92
- [3] M. Nagao, et al., "Photovoltaic system using Buck-Boost PWM Power Inverter". T.IEE Japan, Vol.114-D, No.9, pp.885~892, '94