

고주파링크 방식을 이용한 계통연계형 태양광발전시스템

정영석\*, 유권중\*, 이수홍\*\*  
 \*한국에너지기술연구소, \*\* (주)삼성 SDI

Utility Interactive Inverter with High-frequency Link for Photovoltaic Power System

Y.S. Jung\*, G.W. Yu\*, S.H. Lee\*\*  
 \*Korea Institute of Energy Research, \*\*Samsung SDI

**Abstract** - An investigation into power conditioners that interface with photovoltaic array and utilities has been completed. The rating for this investigation is residential system(3-5kW) that interface with a 220V single phase utility connection. As the result of this investigation, a 3kW high frequency PWM IGBT inverter feeding a high frequency isolation transformer with a sinusoidal current wave was selected. The output of the transformer rectified with a diode bridge rectifier, four IGBT, used as 60Hz switched, reverse the polarity of the rectified current on every other half cycle of the utility voltage. Even though the high frequency link system used more power semiconductors, a net size, weight, and parts cost saving result compared to the other systems due to elimination of 60Hz transformer.

시뮬레이션을 수행하기 위해서는 태양전지 어레이의 모델링이 선행되어야 한다. 본 절에서는 태양전지 어레이의 모델링을 이용하여 구현한 PSpice 모델을 제시하였고, 시뮬레이션 결과를 통하여 유효성을 보였다.

2.1.1 태양전지의 모델링

그림 1은 태양전지의 등가회로도를 나타낸다(4). 단락전류  $I_{sc}$ 는 이상적으로 광전류  $I_L$ 과 일치하며, 다이오드 포화전류  $I_0$ 에 의해서 결정되는 태양전지의 개방전압은 다음 식 (1)과 같다.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[ \frac{I_L}{I_0} + 1 \right] \quad (1)$$

여기서,  $V_{oc}$ =개방전압,  $k$ =볼츠만 상수,  $q$ =전하(C),  $T$ =태양전지 동작전압(K)을 의미한다.

또한, 온도의 변화에 따른 단락전류와 개방전압의 관계식은 다음 식 (2)와 같다.

$$I_{sc} = I_{sc0} \left[ e^{\left( \frac{qV_{oc}}{kT} \right)} \right] \quad (2)$$

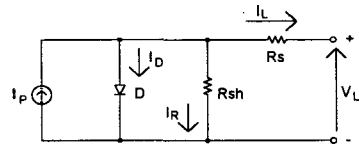


그림 1 태양전지의 등가회로도

태양전지 패널은 원하는 전압과 전류를 얻기 위하여 다수의 태양전지를 직·병렬로 연결하여 구성한다. 또한 태양전지 어레이는 이러한 패널을 직·병렬로 연결하여 구성한다. 일반적으로 36개의 태양전지를 직렬로 연결한 태양전지 패널이 널리 사용되고 있다.

2.1.2 태양전지 어레이의 모델링

태양전지 어레이의 I-V 특성곡선을 얻기 위한 수식은 다음 식 (3)~(6)과 같이 표현된다(2).

$$I_b = \{ I_{sc} S_N + I_A (T_c - T_r) \} N_p \quad (3)$$

$$I_D = \left\{ I_0 \left[ e^{\frac{qV_L}{AKT_N}} - 1 \right] \right\} N_p \quad (4)$$

$$I_0 = I_{or} \left[ \frac{T_c}{T_r} \right]^3 e^{\frac{qE_g}{Bk} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c} \right)} \quad (5)$$

$$S = 100 \sin [15 \times SH - 90^\circ] \quad (6)$$

여기서,  $I_p$ =광전류,  $S_N$ =단위일사량,  $I_t$ =단락전류 온도계수(A/K),  $I_D$ =다이오드전류,  $I_0$ =역포화전류,  $N_p$ =패널의 병렬연결 수,  $N_s$ =태양전지의 직렬연결 수,

1. 서 론

최근 범세계적으로 기후변화협약과 에너지자원의 고갈에 따른 에너지·환경문제에 능동적으로 대처할 유일한 수단으로서 대체에너지에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히 국내에서는 대체에너지를 이용하여 발전된 전력을 상용계통에 공급할 수 있도록 하는 전기사업법의 개정이 진행 중에 있으며, 가까운 시일 안에 주택용 계통연계형 태양광발전시스템의 시범보급사업이 시행될 전망이다.

현재 한국에너지기술연구소에서는 (주)삼성 SDI와 공동으로 2001년 상용화를 목표로 주택용 태양광발전시스템용 계통연계형 3kW급 인버터의 개발과제를 수행하고 있다.

국외에서 개발되어 사용되고 있는 계통연계형 인버터의 종류는 크게 저주파 절연변압기형(60Hz), 고주파 링크형, 절연변압기가 없는 형(Transformer-less)으로 구분된다. 절연변압기가 없는 형은 계통과 전기적으로 절연이 되지 않기 때문에 안정성을 확보하기 위하여 제어기가 복잡하고 부가적인 보호회로를 필요로 하는 단점이 있다. 반면에 고주파링크형은 많은 파워 스위치 소자를 사용하는 단점이 있지만, 저주파 절연변압기를 사용하지 않음으로써 고효율화, 소형경량화, 전체 시스템 가격의 저가화가 가능하다는 장점이 있다[1-3].

본 논문은 계통연계형 인버터의 개발에 적용할 고주파 링크 방식의 토폴로지와 태양전지의 모델링에 대하여 소개하고, 시뮬레이션을 통하여 시스템의 타당성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 태양전지의 모델링 및 시뮬레이션

태양전지에서 발생하는 전압과 전류의 관계는 매우 비선형 특성을 갖기 때문에, 보다 정확한 시스템 특성의

$T_c$  = 태양전지 온도 [K],  $T_r$  = 태양전지 기준 온도 [K],  $A, B$  = 제조상수,  $I_{rr}$  = 역포화전류,  $E_g$  = 에너지밴드갭,  $S$  = 일사량 [ $mW/cm^2$ ],  $SH$  = 시간을 의미한다.

그림 2는 PSpice로 구현한 태양전지 어레이의 모델을 나타내고 있다. 그림 2에서 R1과 R2는 광전류원과 다이오드 전류원 사이에 단락회로가 구성되어 나타나는 convergence error를 피하기 위한 것이고, R3는 전압원 V1과의 단락회로를 막기 위한 것이다. 시뮬레이션 수행시 RL의 값을 0~ $\infty$ 까지 변화시킴으로써 태양전지 어레이의 I-V 특성곡선을 얻을 수 있다.

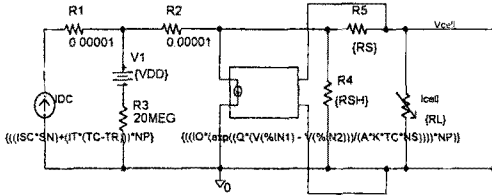


그림 2 태양전지 어레이의 PSpice 모델

### 2.1.3 태양전지 패널의 시뮬레이션 결과

그림 3은 (주)삼성전자의 태양전지 패널인 SM-60을 모델로 시뮬레이션을 수행한 결과로 나타난 I-V 특성곡선과 P-V 특성곡선을 나타낸다. SM-60은 36개의 태양전지를 직렬로 연결한 태양전지 패널이다. 따라서,  $NS=36$ ,  $NP=1$ 을 대입하였다. 표 1은 SM-60의 카달로그에서 제시된 데이터와 시뮬레이션 결과 데이터의 비교를 나타낸다. 표 1에 의하면 개방전압을 제외한 각각의 오차율이 4% 이내로 신뢰성이 매우 높음을 알 수 있다. 따라서 이러한 태양전지 어레이의 모델을 인버터 시뮬레이션에 적용한다면, 실제의 시스템과 매우 유사한 특성을 나타낼 수 있다.

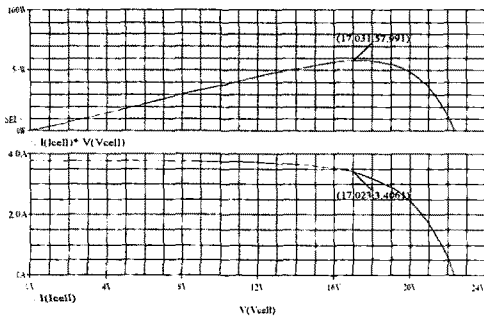


그림 3 SM-60 패널에 대한 (a)P-V, (b)I-V 특성 ( $S=1000 W/m^2$ ,  $T_c=25^\circ C$ )

표 1 SM-60에 대한 시뮬레이션과 제시된 데이터 비교 ( $S=1000 W/m^2$ ,  $T_c=25^\circ C$ )

SM-60	시뮬레이션	카달로그	오차율(%)
개방전압 [V]	22.38	21.10	6.06
단락전류 [A]	3.77	3.80	0.78
최대전력 [W]	57.99	59.85	3.10
전압(P <sub>PK</sub> ) [V]	17.03	17.10	0.40
전류(P <sub>PK</sub> ) [A]	3.40	3.50	2.85

## 2.2 주택용 계통연계형 태양광발전시스템 최근 주택용 계통연계형 3kW급 인버터 개발을 위하

여 연계형 태양광발전시스템의 토폴로지를 검토하였고, 그 중 효율, 외관의 크기, 중량, 가격면에서 장점을 가지는 고주파링크 방식의 토폴로지를 채택하였다. 본 절에서는 고주파링크 시스템의 동작 특성 및 태양전지 어레이를 포함한 시뮬레이션 결과를 제시한다.

### 2.2.1 고주파링크 방식의 태양광발전시스템

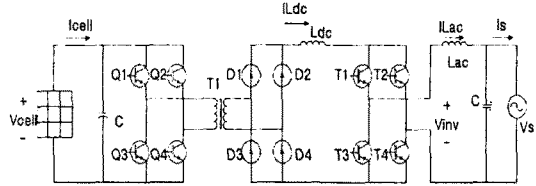


그림 4 고주파링크 방식의 연계형 인버터 토폴로지

고주파링크 방식의 태양광발전시스템의 토폴로지를 그림 4에 나타내고 있다. 고주파링크 시스템은 태양전지 어레이와 단상 풀브리지 고주파 인버터, 고주파 변압기, 단상 풀브리지 다이오드 정류기, DC 리액터, 단상 풀브리지 저주파 인버터, 교류 LC필터로 구성된다. 단상 풀브리지 IGBT 고주파 인버터는 태양전지 어레이의 DC 전압을 10~20kHz의 AC 전압으로 변환하여 고주파 변압기인 T1에 인가한다. 또한 고주파 인버터의 스위칭을 적절히 제어함으로써, T1의 출력전류의 크기를 PWM 패턴으로 제어하고, 고주파 변압기의 포화를 방지한다. T1의 이차측 고주파 전압은 다이오드 정류기 D1-D4를 통하여 정류되고, 이것은 다시 고주파 인덕터인 Ldc에 반파 정현파의 전류  $I_{LDC}$ 가 인가된다. 그 후의 저주파 인버터 T1-T4는 계통전압과 동상의 전파 정현파로 변환하여 계통에 공급한다. 고주파 인버터의 이상적인 전압, 전류 파형을 그림 5에 나타내고 있다.

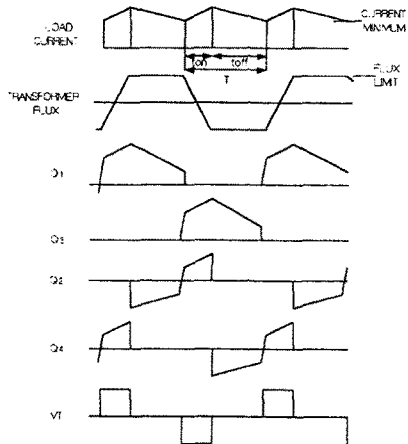


그림 5 고주파인버터의 전압, 전류 파형

인덕터 전류  $I_{LDC}$ 를 반파 정현파 형태의 기준전류  $I_{LDC}^*$ 에 추종시키기 위하여, Q1, Q4가 최초로 on되면, Ldc에 전류가 축적되고, 변압기 T1에 자속이 여기된다. T1의 자속이 자속의 한계치  $\phi^*$ 에 도달하면 Q4는 off되고 Q2의 다이오드를 통하여 단락회로가 구성되어 T1에는 영전압이 형성되어 자속을 유지하게 된다. 이때 다이오드 정류기를 통하여 Ldc에 축적된 전류는 감소하게 된다. 인덕터 전류  $I_{LDC}$ 가 기준전류  $I_{LDC}^*$ 보다 작아지면 Q1은 off되며 Q3, Q2가 on되어, T1에는 반대방향의 자속이 여기되며, 인덕터 전류  $I_{LDC}$ 는 다시 증가하게 된

다. T1의 자속이  $-\phi^*$ 에 도달하면 Q2는 off되고 다시 인덕터 전류  $I_{LDC}$ 가  $I_{LDC}^*$ 까지 감소하여 Q3가 off될 때까지 off상태를 유지하게 된다. 그림 6은 제시한 토폴로지를 PSpice 모델로 구현한 것을 나타낸다.

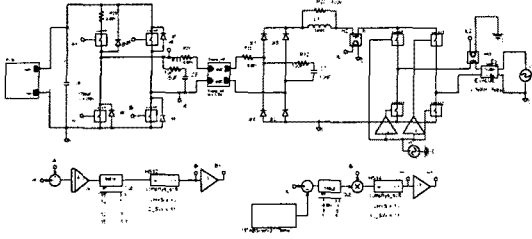


그림 6 고주파링크형 태양광발전시스템의 PSpice 모델

### 2.2.2 고주파링크형 인버터의 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서 이용한 태양전지 어레이는 3kW를 적용하기 위하여 SM-60 패널을 15 직렬, 4 병렬로 연결하는 것을 가정하였다. 그림 7은 3kW급 태양전지 어레이 모델의 P-V, I-V 특성곡선을 나타낸다. 그림 8은 고주파 변압기 T1의 1, 2차측 전류와 인덕터 전류  $I_{LDC}$  계통에 유입되는 전류  $I_s$ 를 나타낸다.

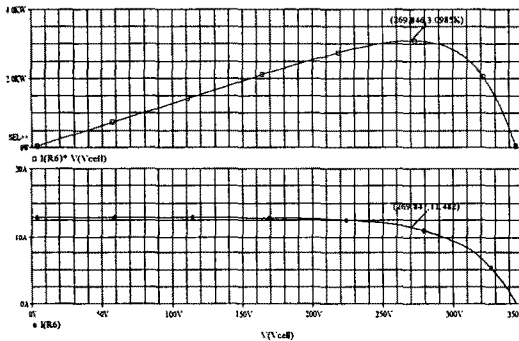


그림 7 태양전지 어레이의 P-V, I-V 특성곡선 (3kW, S=866 W/m<sup>2</sup>)

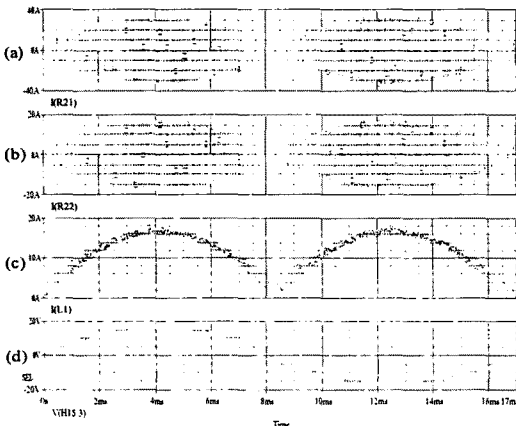


그림 8 (a) T1의 1차측, (b) T1의 2차측, (c) 인덕터  $I_{LDC}$ , (d) 계통유입 전류 파형

그림 9는 시스템에 연결된 태양전지 어레이의 전압, 전류 파형을 나타내고 있다. 그림 10은 계통전압  $V_s$ 와 계통에 유입되는 인버터 출력전류  $I_s$ 의 파형을 나타내고 있으며, 계통전압에 대해 역률 1로 제어되고 있음을 알 수 있다.

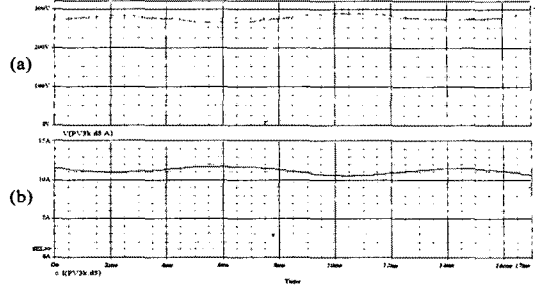


그림 9 태양전지 어레이의 (a)전압, (b)전류 파형 (3kW, S=866 W/m<sup>2</sup>)

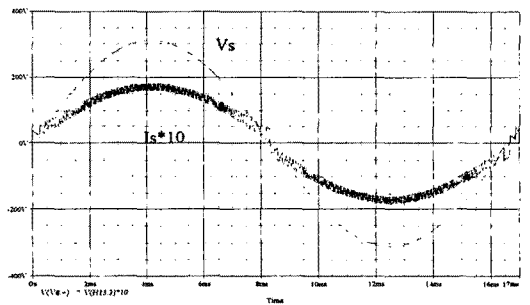


그림 10 계통전압  $V_s$ 와 유입전류  $I_s(\times 10)$

## 3. 결 론

고주파링크 방식의 계통연계형 태양광발전시스템에 대하여 고찰하였다. 또한 태양전지 어레이 모델링의 유효성을 시뮬레이션을 통하여 입증하였고, 이를 시스템에 적용시킴으로써, 태양전지의 전기적 특성을 포함한 시스템의 시뮬레이션 수행이 가능하였다. 차후 고주파링크 시스템의 제어부를 보완하고, 시스템 파라미터를 최적화하는 것이 과제이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] R.L. Steigerwald, A. Ferraro, F.G. Turnbull, "Application of Power Transistors to Residential and Intermediate Rating Photovoltaic Array Power Conditioners", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-19, pp. 254-267, March/April 1983.
- [2] V. John, N. Mohan, "Standby Power Supply with High Frequency Isolation", APEC'95, Conference Proceedings, pp.990-994, 1995.
- [3] S.K. Biswas, B. Biswarup, T.K. Basu, "A low distortion inverter without low frequency magnetics for UPS application", Power Electronics and Drive System, Conference Proceedings, vol. 1, pp. 347-352, 1995.
- [4] R. Katan, V. G. Agelidis, C. V. Nayar, "Pspice Modelling of Photovoltaic Arrays", International Journal Electrical Engineering Education, pp. 319-332, October 1995.