

태양전지 실리콘 결정 성장용 150[KW] 3[KVA] 컨버터 시스템 개발

박영식*, 김민희**, 송현직**

* (주)하이템 기술연구소, ** 영남이공대학 전기자동차과

A Development of Solar Cell Silicon Ingot Glowing Converter System for 150[KW] 3[KVA]

Young-Sik Park, Min-Huei Kim, Hyun-Jig Song

* HiTem, **Yeungnam College Science & Technology.

요약: 본 연구는 태양전지용 실리콘 결정 성장용으로 개발된 150[KW] 3,000[A]의 PWM 컨버터 시스템을 개발한 결과이다. 시스템의 구성은 3상 AC DC 정류변환기, DC AC 고주파 변환 단상 전파 브리지 PWM 인버터, AC DC 변압기 중성점을 이용한 단상 전파정류기로 구성되어 있다. 입력 전압은 3상 460[V]이며, 출력은 직류 60[V], 3000[A]로 카본 저항 2[m Ω]의 부하에 인버터의 고주파 변압기를 사용하여 스위칭 주파수가 15[KHz]로 PWM 제어 방식에 의하여 전력을 제어한다.

1. 서론

산업용으로 적용하고 있는 대용량 전력변환 시스템에 많이 사용되어온 전력용 반도체 소자인 SCR은 구동시 전력소모가 적고 자기소호 기능이 있는 IGBT로 대체하여 컨버터 시스템의 소형, 경량화, 고성능제어, 가격저하 등을 함으로서 효율을 증대시키려는 연구가 활발하게 진행되고 있는 추세에 있다[1].

SCR를 사용하는 Converter 시스템의 문제점으로, 출력 정압의 정밀제어에 있어 어려움과 낮은 효율 및 많은 고조파 성분을 가지는 것이다. 따라서 IGBT 컨버터 시스템을 개발하는 주목적은 출력의 정밀제어와 효율증대 및 THD 감소를 위한 것이다. 최근에는 사파이어(sapphire) 단결정 성장용으로 사용하기 위한 전력변환 시스템으로 30[KVA] 용량을 가지는 정밀 온도제어 시스템 개발에 대한 연구도 이루어지고 있다.

시스템에서 입력 측과 출력 측에서 THD를 적게하기 위하여 고주파 변압기를 사용하여 스위칭에 의한 직접 전력을 전달하는 PWM 시스템으로, 구형파 PWM, 정현파 PWM, 공진형 시스템 등이 적용 될 수 있다.

본 연구에서는 태양광 실리콘 결정 성장용 150[KW] 3,000[A]급 전력변환 시스템에 적용하기 위하여, 구형파 PWM 전력변환 컨버터개발에 대한 설계 및 제작기술에 따른 운전 특성을 고찰 하였다.

2. 컨버터 시스템 설계

대용량의 온도를 정밀 제어하기 위한 전력변환 시스템은 그림 1과 같이 AC DC 컨버터, DC DC 인버터, 고주파 변압기, AC DC 정류기 및 부하저항으로 크게 구분 할 수 있다. 많은 실험과 제작을 거쳐 설계 제작에 사용된 소자들은 다음과 같이 요약된다.

(1) AC-DC 정류기 설계

- L_s 는 입력전류의 고조파 성분을 줄이기 위하여 사용되는 교류 필터로, 600[V] 200[A]의 용량으로, 동선 직경 10[mm]x11[Turn]으로 제작 되었다. 이때 제작하여 사용한 각상 인덕타의 값은 $L_{s1}=0.359[mH]$, $L_{s2}=401[mH]$, L_{s1}

=360[mH]이다.

- 정류용에 적용한 3상 브리지 다이오드는 1200[V] 600[A]로 MMF400Y040DK1을 사용하였다.
- L_{bus} 는 정류된 직류전류 성분을 필터하기 위하여 사용되는 인덕타로, 1,200[V] 300[A]의 용량으로 설계 되었으며, 동선 직경 6.35[mm]x17[Turn]x2[Line]으로 제작 되었다. 이때 인덕턴스 값은 $L_{bus} = 0.478[mH]$ 이다.
- C_{bus} 는 정류된 직류전압 성분을 필터하기 위하여 사용되는 커패시터로, 900[V], 2,320[uF](=580[uF]x4ea)를 사용하였다.
- 정류된 직류 버스전압은 $V_{bus} = 620[V]$ 이다.

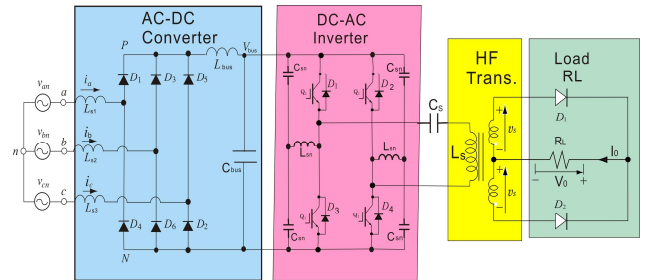


그림 1. 제안된 전력변환 컨버터 시스템

(2) DC-AC 고주파 인버터 설계

- IGBT는 Infineon 사의 FF1200R12KE3를 사용한다.
- L_{sn} 은 전력용 스위칭 소자인 IGBT를 보호하기 위한 L C 스너버 회로용 인덕타로, 평각동선 8.8[mm]x15[Turn]으로 제작 하였으며, 인덕턴스 값은 $L_{sn} = 0.283[mH]$ 이다.
- C_{sn} 은 L C 스너버 회로용으로, 800[V]인 $C_{sn} = 50[uF]$ 를 사용한다.
- C_s 는 고주파 변압기의 1차측 권선의 자기 인덕턴스와 직렬 공진용으로, 800[V]인 커패시터인 $C_s = 400[uF]$ 을 사용한다.

(3) 고주파 변압기 설계

- 고주파 변압기의 설계에 제작된 결과로, 철심의 규격은 표 1과 같으며, 권선 도체의 규격은 표 2와 같다.
- 1차 정격전압은 480[V], 2차 정격전압은 60[V]로 결정하여 제작하였다.
- 고주파 변압기에서 발생하는 열을 냉각하기 위하여 물을 순환하는 냉각방식을 사용한다.

(4) 단상 AC-DC 정류기

- 단상 고주파 정류기는 고주파 변압기의 2차 측의 중간 탭을 이용한 방식으로, 권선수 비는 8:1로 설계 제작 하였다.
- 정류용 다이오드는 고주파용으로, 1200[V] 900[A]용 10개를 병렬로 연결하여 사용한다.

표 3. 개발된 컨버터의 실 부하 특성 실험 결과

시스템 지령		전력 분석기에 의한 입력 측정						부하 출력 측정				계산
전력 [KW]	전류 [A]	전압 [V]	전류 [A]	V THD [%]	I THD [%]	유효전력 [KW]	역률 [%]	전압 [V]	전류 [A]	메타 [A]	출력 [KW]	효율 [%]
10.0	826	462.4	28.0	3.1	123.1	14.6	63	12.2	28.0	913	11	76
20.0	1166	462.7	49.0	4.6	109.3	26.5	67	17.2	39.3	1278	22	83
30.0	1426	462.1	61.0	5.0	79.2	38.4	79	21.0	48.1	1572	33	86
40.0	1649	460.2	75.0	5.2	63.9	49.9	84	24.2	55.7	1812	44	88
50.0	1844	460.7	87.0	5.4	53.9	61.4	89	27.1	62.2	2016	55	89
60.0	2019	460.2	101.0	5.9	47.8	73.0	91	29.8	68.1	2215	66	90
70.0	2179	458.0	114.0	6.2	43.6	83.9	92	32.1	73.5	2386	77	91
80.0	2324	458.7	130.0	6.6	40.5	96.2	93	34.5	78.8	2570	89	92
90.0	2467	456.3	145.0	7.0	37.7	107.1	94	36.6	83.6	2727	100	93
100.0	2607	459.3	159.0	7.1	36.5	118.6	94	38.5	88.1	2878	111	94

표 1 철심 코어 설계

구분	철심 설계		단위
	1차권선	2차권선	
최대 전압	480	60	[V]
도체 권선수	8	1 * 2	[Turn]
코어 형태 및 크기	EI, BK 62*41*20		[Cm]
철심 재료	PM12		[Turn]
철심 단면적	3918.4		[mm ²]
주파수	30		[KHz]
최대 자속밀도	229.2		[mT]
포화 자속밀도	290		[mT]
최대 철심 단면적	5084.0		[mm ²]
냉각 설비	400 * 250 * 480		[mm]

표 2 권선 설계

구분	권선 설계		단위
	1차권선	2차권선	
권선 제작방법	권선법	압축법	-
도체 형태	평각 릿즈 동선	릿즈동선	-
도체 규격	8.0	16*25	[mm]
도체 권선수	8	1+1	[mm]
인덕턴스	7.327	0.042	[mH]
허용전류	350	3,000	[Arms]
전류밀도	2.7	1.6	[A/mm ²]

(5) 부하저항

부하는 대용량 열 제어용으로 사용되는 카본저항(Carbon resistor) 또는 텅스텐(Tungsten resistor)을 사용하며, 여기에서는 한 모듈 당 150[KW] 용량을 가지는 태양전지 셀 실리콘 결정 성장용에서 사용되는 고온 발생용인 $R_L=2.0[m\Omega]$ 를 사용한다.

3. 시스템 시뮬레이션

설계된 컨버터는 전력변환 시스템 설계 및 특성 실험에 사용하는 PSIM 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 한 결과를 그림 2에서 보여준다.

4. 시스템 제작 및 시험결과

그림 3은 고주파 변압기 제작과정의 사진이며, 그림 4는 인버터의 PWM 제어 파형을 예로서 보여준 것이다. 표 3은 개발된 컨버터 시스템의 특성을 실 부하에서 측정된 결과를 보여준다.

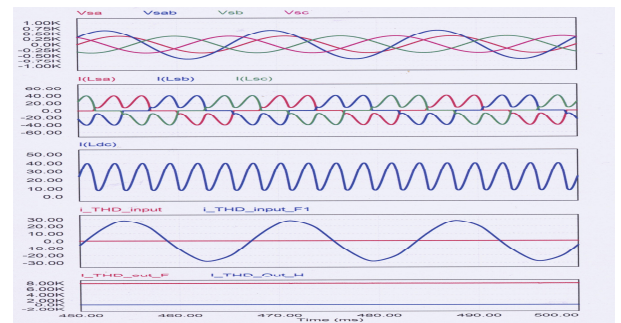


그림 2. PSIM 시뮬레이션 결과

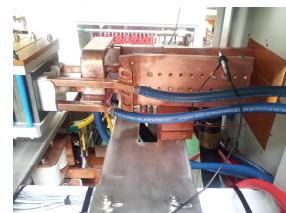


그림 3. 변압기 제작과정

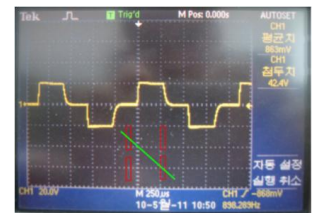


그림 4. 인버터 PWM 제어

5. 결론

본 연구는 태양전지 실리콘 결정 성장용으로 개발된 150[KW] 3,000[A] 컨버터 시스템에 대하여 개발한 결과를 보여준다. 개발된 시스템의 실 부하 시험에서 얻어진 특성으로, 입력전압 459.3[V], 입력전류 159[A], 직류 111[KW] 출력에서, 부하단 직류 전압 38.5[V], 전류 2,878[A], 효율 94[%], 역률 94[%], 전압 THD 7.1[%], 전류 THD 36.5[%] 이다. 앞으로 SPWM 방식과 공진회로를 적용한 시스템 개발에 대한 연구가 진행 될 것이다.

참고 문헌

[1] Haifeng Fan and Hui Li, "High Frequency Transformer Isolated Bidirectional DC DC Converter Modules With High Efficiency Over Wide Load Range for 20 KVA Solid State Transformer", IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 26, No. 12, pp. 3599 3608 Dec. 2011

[2] Mehdi Abolhassani, "Modular Multipulse Rectifier Transformers in Symmetrical Cascaded H Bridge Medium Voltage Drives", IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 27, No. 2, pp.698 705, Feb. 2011