

# 두 개의 공진탱크로 구성된 계통연계형 PCS

이광호, 정봉근, 김주훈, 윤광호, 김사오쿤, 김은수<sup>†</sup>  
 전주대학교

## Grid Connected PCS with Two Resonant Tank

Kwang-Ho Lee, Bong-Geun Chung, Joo-Hoon Kim, Kwang-Ho Yoon, Saokun Khim,  
 Eun-Soo Kim<sup>†</sup>  
 Jeonju University

### 1. 서론

최근 2차에너지의 고갈과 환경오염을 줄이고자 신재생에너지원을 이용한 PCS(Power Conditioning System)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있고, 고집적화 및 고기능화를 통해 소형화 및 단가를 저감하는 추세에 있다. 따라서 PCS 시스템에 적용되는 전원장치에 있어서 크기 및 무게저감 그리고 높은 전력밀도와 효율 특성을 요구하고 있고, 이러한 요구조건을 만족하기 위해서 고주파 스위칭방식의 ZVS DC/DC 컨버터가 적용된 PCS시스템들이 연구 되어왔고<sup>[1]</sup>, 전력밀도 및 효율특성을 증가시키기 위해 공진컨버터가 검토되고 있는 추세이다.<sup>[2][3][4]</sup>

하지만, 공진형 컨버터를 적용한 High Frequency Link 계통연계 PCS는 절연을 위한 변압기를 소형경량화 할 수 있지만 계통연계 (110VAC/60Hz)를 위한 PWM 인버터 부분의 하드스위칭에 의한 전력변환손실 증가 및 PWM 인버터 입력커패시터와 60Hz의 저주파 인덕터를 사용함으로써 부피 및 크기를 저감시키는데 한계성을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 그림 1과 같이 구성부품의 최소화 및 단가저감을 위해 LLC 공진인버터와 계통연계(110V<sub>AC</sub>/60Hz)를 위한 LF Cyclo-converter로만 구성된 회로를 적용하였다. 적용된 회로에서는 두 개의 변압기를 적용하여 독립된 공진탱크를 구성함으로써 집적화에 용이하도록 구성하였고, 2차측 누설인덕터를 증가시키는 방향으로 변압기를 권선하여 출력측 필터 인덕터처럼 동작되도록 설계함으로써 저가형 고집적화 PCS를 구현하도록 하였다. 또한 LLC 공진컨버터는 그림2에서처럼 경부하 동작시 일정한 주파수 범위내에서는 DC전압이득이 거의 변하지 않는 특성을 가지기 때문에 신재생 에너지원에서 공급되는 전력이 적을 경우 또는 출력전압이 낮은 지점(Zero-Cross)에서 높은 주파수에서 동작을 하여도 일정한 DC 이득을 가지고 있기 때문에 출력측으로 흐르는 전류는 구형파와 같이 흐르게 된다. 따라서 본 논문에서는 출력전압이 낮은 지점(그림3(b) Region A) 또는 출력전력이 작게 요구될 경우 일정한 주파수 범위 내에서는 듀티제어 함으로써 낮은 전압이득특성을 가지도록 하여 출력전류가 사인파가 되도록 제어회로를 설계하였다.

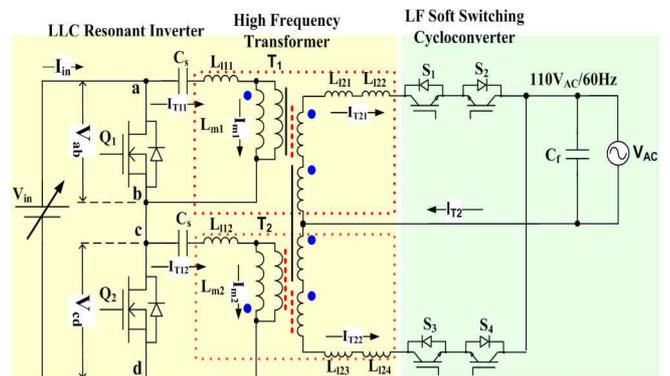


그림 1 두 개의 공진탱크를 갖는 LLC 공진인버터와 LF(Low Frequency) Cycro-converter 적용 PCS회로

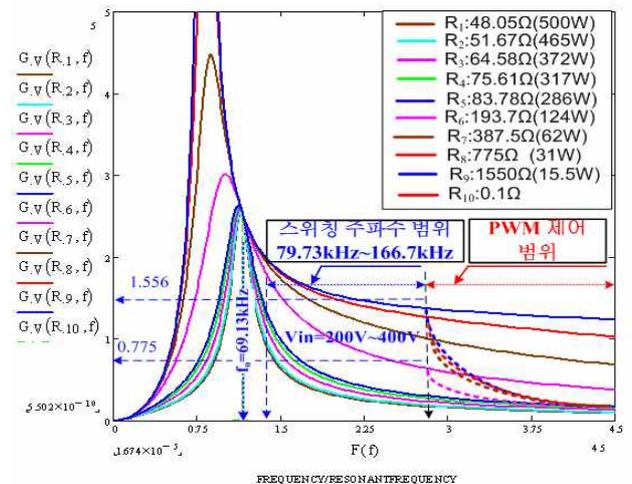


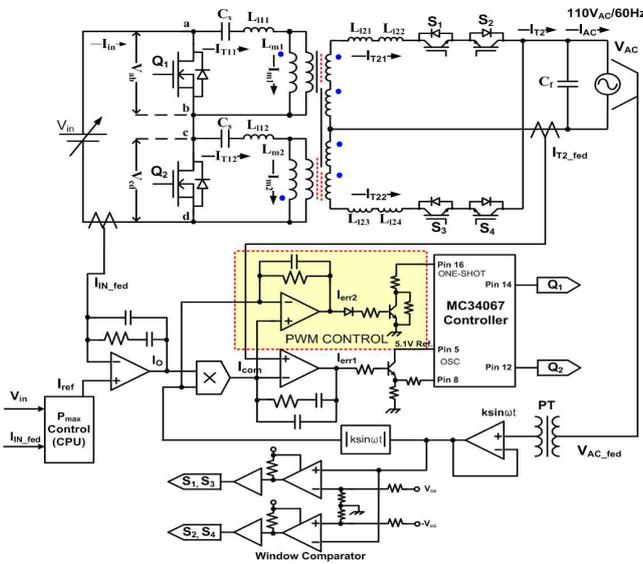
그림2. 부하(R) 변화(48.05Ω(500W) ~ 387.5Ω(15.5W))에 따른 전압이득 특성( $V_G$ )

### 2. 제안된 회로의 구성 및 동작 설명

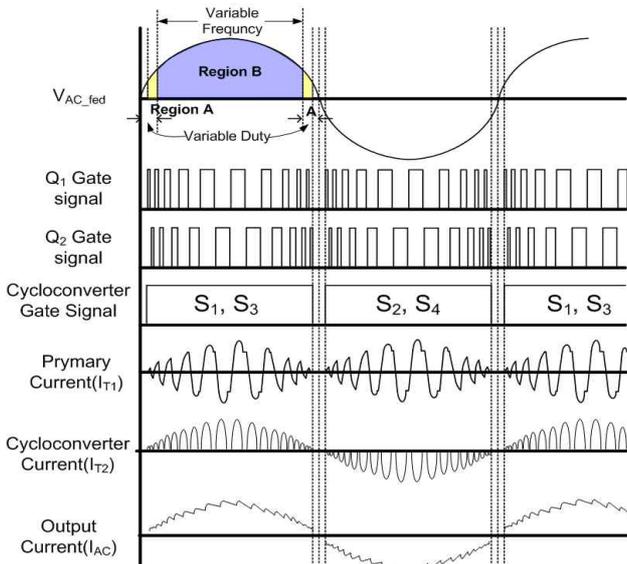
본 논문에서 적용된 주회로(그림1)은 두 개의 변압기를 적용함으로써 각각 두 개의 공진탱크를 갖는 LLC 공진 인버터와 LF Cyclo-converter로 구성되어 있으며, 이

회로에 적용된 변압기는 집적화에 용이하게 하기위해서 두 개의 변압기로 나누었으며, 두 개의 변압기 사용시 발생하는 파라미터 차이에 따른 전류불평형을 저감하기 위해서 변압기 2차측을 서로 교차하여 직렬로 연결하였다. 그리고 부품을 최소화 하기위해 2차측 누설인덕턴스를 출력 측 필터 인덕터로 사용할수 있도록 변압기를 섹션 분리형으로 권선을 감아 2차측 누설인덕턴스가 증가 되도록 변압기를 설계하였다.

제어회로의 동작은 다음과 같다. 먼저 계통전압( $V_{AC}$ )을 검출 변압기(PT)로 부터 강압( $k\sin(\omega t)$ )한 뒤 Window Comparator를 거쳐 구형파를 만들고 계통전압( $V_{AC}$ )의 극성에 따라 변압기 2차측에 위치한 Cyclo-converter의 스위칭소자를 교번으로 구동하게 된다. (Positive 전압일 경우 :  $S_1, S_3$  Turn-on,  $S_2, S_4$  Turn-off, Negative 전압일 경우 :  $S_2, S_4$  Turn-on,  $S_1, S_3$  Turn-off)



(a) 제어회로도



(b) 동작 파형

그림 3 제어회로 및 동작 파형

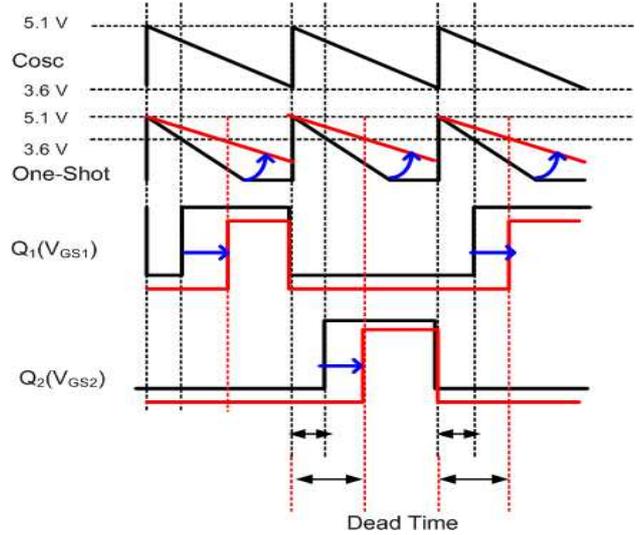


그림4. Dead-time 조절에 의한 듀티제어

이와 동시에 계통전압( $V_{AC}$ )과 동상의 출력전류( $I_{T2}$ ) 파형으로 제어하기 위한 기준신호파형( $V_{AC-fed}$ )은 절대 값으로 정류한 후 ( $|k\sin(\omega t)|$ ) 곱셈기 입력단에 연결되고 최대전력제어를 위한 CPU 전류제어 기준신호( $I_{ref}$ )와 피드백 된 입력전류신호( $I_{in-fed}$ )가 Outer-loop 전류 보상기에서 에러 출력신호가 기준신호파형( $|k\sin(\omega t)|$ )과 곱셈기를 통해서 곱하게 되어 출력전류( $I_{T2}$ ) 제어를 위한 전류 Command( $I_{com}$ ) 신호로 사용된다. Inner-loop 전류 보상기에서 전류 Command 신호( $I_{com}$ )에 따라 출력전류피드백( $I_{T2-fed}$ ) 신호는 계통전압( $V_{AC}$ )과 동상의 전류 파형이 되도록 Inner-loop 전류 보상기 Error 신호( $I_{err}$ )로 출력되고 이 값에 따라 전류를 제어한다.

그림4는 데드타임 가변을 위한 Timing Diagram을 나타내고 있다. 정상적인 동작(그림3(b) Region B)에서는 Cosc을 통해 주파수가 가변되고, One-shot회로를 통해 일정한 데드타임을 가지도록 동작하게 된다. 하지만 경부하에서 일정한 DC이득을 가지는 LLC 컨버터의 특성상 높은 영역에서 스위칭 하더라도 이득은 더 이상 Step-down되지 않기 때문에 이상적인 사인전류를 얻지 못하는 문제점이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 출력전력이 낮을 경우 또는 출력전압이 낮은 지점(그림3(b) Region A)에서 낮은 전압이득을 얻고자 스위칭소자 Q1과 Q2간의 데드타임을 기준신호파형( $|k\sin(\omega t)|$ )과 곱셈기의 출력신호의 Error값이 보상기에 입력되고 두 값에 대한 출력(그림3(a)  $I_{err2}$ )에 의해 트랜지스터의 컬렉터와 이미터간의 임피던스를 가변시켜 제어용 IC(MC34067)의 16번핀(One-Shot)회로의 커패시터 방전시간을 컨트롤하여 제어함으로써 경부하 동작시 PWM제어를 통해 낮은 전압이득을 가져 출력측에 사인 전류가 흐르도록 제어회로를 설계하였다.

### 3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 LLC 공진인버터와 계통연계 (110V<sub>AC</sub>/60Hz)를 위한 Cyclo-converter로 구성된 두 개의 공진탱크를 갖는 LLC 공진인버터 적용 PCS를 실험하였다. 적용된 LLC공진인버터의 실험조건과 주요정격을 표 1에 나타내었으며, 측정된 두 개의 변압기 파라미터를 표 2에 나타내었다.

표 1 적용된 LLC 공진인버터 주요정격

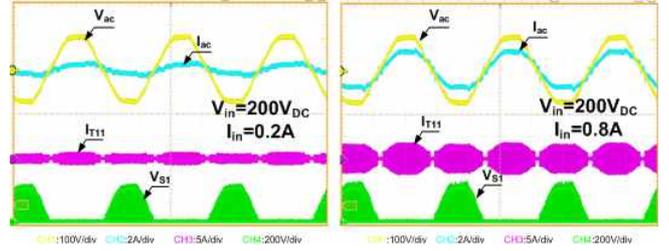
입력전압( $V_{in}$ )	200V <sub>DC</sub> ~ 400V <sub>DC</sub>	출력전압( $V_{AC}$ )	110V <sub>AC</sub> /60Hz
공진주파수 ( $f_r$ )	69.13kHz	스위칭 주파수( $f_s$ )	79.73kHz~166.7kHz
주스위칭소자 ( $Q_1, Q_2$ )	SD20N60(600V, 20A)		
LF Cycloconverter IGBT( $S_1, S_2, S_3, S_4$ )	11N120CND (1200V, 43A)		
출력필터커패시터 ( $C_f$ )	3 $\mu$ F	직렬 공진커패시터( $C_s$ )	27nF

표 2 적용된 LLC 공진인버터 파라미터

	제안된 LLC 공진인버터 파라미터			
	변압기(T <sub>1</sub> )		변압기(T <sub>2</sub> )	
1차측누설인덕턴스	$L_{l11}$	89.68 $\mu$ H	$L_{l12}$	88.28 $\mu$ H
2차측누설인덕턴스	$L_{l21}$	115.3 $\mu$ H	$L_{l22}$	113.2 $\mu$ H
자화인덕턴스	$L_{m1}$	309.8 $\mu$ H	$L_{m2}$	310.4 $\mu$ H
$A(L_{l1}/L_m)$		0.289		0.284
$B(N^2L_{l2}/L_m)$		0.536		0.525
등가누설인덕턴스	$L_{eq1}$	197.776 $\mu$ H	$L_{eq2}$	195.133 $\mu$ H
$N(n_1/n_2)$		42/35		42/35
적용코아	코아: EFD5258 높이:7mm 길이:59.6mm			

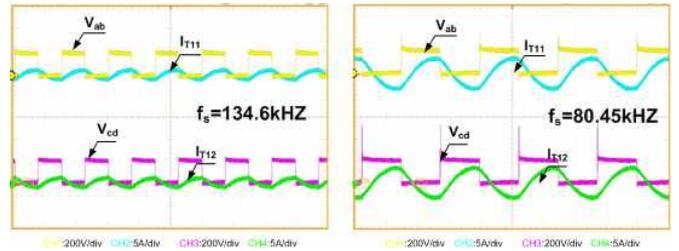
동작 중 110V<sub>AC</sub>/60Hz 출력파크전압에서 최대 전류가 흐르기 때문에 주회로 설계에서 순간 최대전력에서 주 회로를 설계 검토 하여야한다. 따라서 그림2에서 볼수 있듯이 모든 스위칭소자들이 소프트 스위칭 할수 있도록 최소주파수를 69.13kHz로 제한하였다.

그림 5와 그림 6, 그림 7과 그림 8은 입력전압( $V_{in}$ )을 각 각 200V<sub>DC</sub>, 400V<sub>DC</sub>로 가면서 입력전류( $I_{in}$ )를 일정 정전류제어를 통해서 110V<sub>AC</sub>/60Hz 계통연계 된 PCS의 각 부 파형을 나타냈다. 실험결과 출력계통전압(110V<sub>AC</sub>, 60Hz)에 따라 동상전류 제어됨을 볼 수 있고, 공진인버터 1차측 주 스위칭소자( $Q_1, Q_2$ )가 소프트 스위칭 됨을 확인 할 수 있었다. 출력전압이 낮은 지점(그림3. (b) Region A) 또는 낮은 출력전력이 요구될 경우 그림9(a)와 같이 스위칭 주파수 변화에도 일정한 전압이득을 가져 출력전류는 구형파와 같은 전류가 흐르게 된다. 따라서 그림9(b)와 같이 낮은 출력전압지점(그림3(b) Region A)에서 Dead-Time을 조절함으로써 듀티가 제어되어 출력전류( $I_{ac}$ )가 완만히 상승하여 정현전류가 흐르는 것을 볼 수 있다.



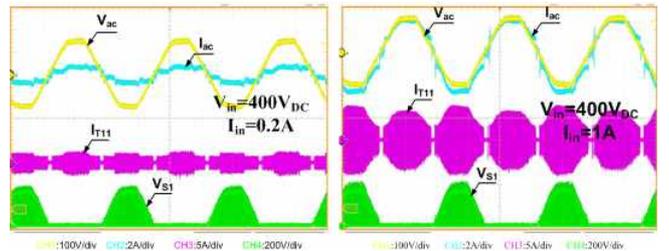
(a) 입력전압( $V_{in}$  : 200V<sub>DC</sub>), 입력전류 ( $I_{in}$  : 0.2A)  
(b) 입력전압( $V_{in}$  : 200V<sub>DC</sub>), 입력전류 ( $I_{in}$  : 0.8A)

그림 5. 200V<sub>DC</sub> 입력전압( $V_{in}$ )에서 입력 정 전류( $I_{in}$ ) 제어상태 따른 110V<sub>AC</sub>/60Hz 계통연계 PCS 실험파형



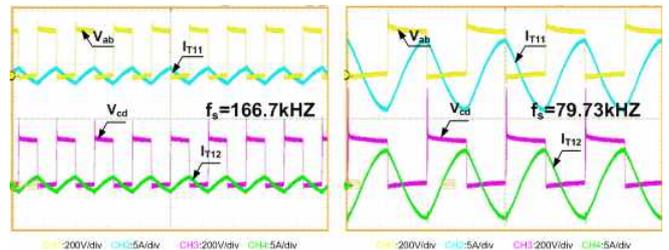
(a) 입력전압( $V_{in}$  : 200V<sub>DC</sub>), 입력전류 ( $I_{in}$  : 0.2A)  
(b) 입력전압( $V_{in}$  : 200V<sub>DC</sub>), 입력전류 ( $I_{in}$  : 0.8A)

그림 6. 200V<sub>DC</sub> 입력전압( $V_{in}$ )에서 입력 정 전류( $I_{in}$ ) 제어상태 따른 110V<sub>AC</sub>/60Hz 계통연계 PCS 실험파형



(a) 입력전압( $V_{in}$  : 400V<sub>DC</sub>), 입력전류 ( $I_{in}$  : 0.2A)  
(b) 입력전압( $V_{in}$  : 400V<sub>DC</sub>), 입력전류 ( $I_{in}$  : 1A)

그림 7. 400V<sub>DC</sub> 입력전압( $V_{in}$ )에서 입력 정 전류( $I_{in}$ ) 제어상태 따른 110V<sub>AC</sub>/60Hz 계통연계 PCS 실험파형



(a) 입력전압( $V_{in}$  : 400V<sub>DC</sub>), 입력전류 ( $I_{in}$  : 0.2A)  
(b) 입력전압( $V_{in}$  : 400V<sub>DC</sub>), 입력전류 ( $I_{in}$  : 1A)

그림 8. 400V<sub>DC</sub> 입력전압( $V_{in}$ )에서 입력 정 전류( $I_{in}$ ) 제어상태 따른 110V<sub>AC</sub>/60Hz 계통연계 PCS 실험파형

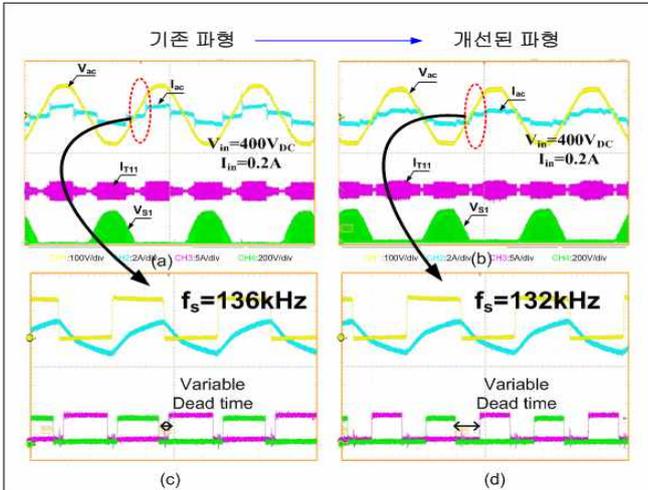


그림 9. 400V<sub>DC</sub> 입력전압( $V_{in}$ )에서 입력 정 전류( $I_{in}$ ) 제어상태에서의 기존 파형과 개선된 파형 비교

#### 4. 결론

본 논문에서는 구성부품의 최소화 및 단가저감을 위해 두 개의 공진탱크를 갖는 LLC 공진인버터와 계통연계(110V<sub>AC</sub>/60Hz)를 위한 Cyclo-converter로 구성된 고집적화가 가능한 적용 PCS(Power Conditioning System)에 대한 회로를 제안하여 400W PCS 시제품을 제작하였고 110V<sub>AC</sub>/60Hz 계통연계 실험 적용 하였다. 또한 LLC 공진컨버터의 출력전압이 낮은 지점(그림3(b) Region A) 또는 출력전력이 작게 요구될 경우 높은 스위칭 주파수에서도 일정한 DC전압 이득을 가져 구형파의 출력전류를 얻게 되는 단점을 가지고 있지만 일정 주파수 범위 내(그림3(b) Region A)에서 Dead-Time을 조절함으로써 듀티를 제어함으로써 낮은 출력전력이 요구되는 사항에서도 완만한 전류상승을 얻을 수 있었다.

본 논문은 학술진흥재단(KRF-2008-313-D00369)주관으로 수행된 과제임

#### 참고 문헌

- [1] M. Cacciato, A. Consoli, etc., "A Digitally Controlled Double Stage Soft Switching Converter for Grid-connected Photovoltaic Applications" IEEE APEC, pp 141~147, 2008.
- [2] 서현우, 권정민, 김응호, 권봉환, "모듈형 계통연계 태양광 PCS", 전력전자학회논문지 제13권 제2호, pp119~127, 2008. 4.
- [3] Song Deng, Hong Mao, Joy Mazumdar, Issa Batarseh, Kazi Khairul Islam, "A New Control Scheme for High-frequency Link Inverter Design", IEEE APEC'03, pp 512~517, 2003.
- [4] Joy Mazumdar, Issa Batarseh, Nasser Kutkut, Osman Demirci, "High Frequency Low Cost DC-AC Inverter Design with Fuel Cell Source for Home Applications", IEEE IAS Volume 2, pp 789~794, 2002.
- [5] 김주훈, 강성인, 김은수, 허동영, 정용채, "두개의 변압기와 공진 탱크로 구성된 LLC 공진 컨버터", 전력전자학술대회 논문집, pp. 10 -12 2008. 10