

계통 연계형 3-Level inverter의 LCL filter 설계

임상민*, 김재섭*, 최재호*, 손경민**
 충북대학교*, (주)우진산전**

Desing of LCL filter for Grid connected 3-Level inverter

Sangmin Lim*, Jaeseob Kim*, Jaeho Choi*, Kyungmin Son**
 Chungbuk University*, Woojin Co.**

ABSTRACT

계통 연계형 발전시스템은 스위칭 주파수를 기본으로 하는 배수 고조파들이 발생한다. 이 때 인버터의 출력 전류 고조파는 계통의 전력품질에 영향을 주므로 저역통과 필터를 이용하여 제거해 주어야 한다. 일반적으로 사용하는 L, LC필터는 구성이 간단하고 제어가 용이한 장점이 있지만 동적특성이 좋지 않고 필터의 성능향상을 위해서는 인덕턴스를 증가시켜야 하기 때문에 필터의 부피가 커지는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 LCL필터는 LC필터에 비해 더 낮은 용량으로 높은 고조파 감쇄 효과를 구현 할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 2레벨 인버터에 비해 3레벨 인버터는 높은 효율과 낮은 THD발생으로 계통 연계 시스템에 많이 적용되고 있다. 본 논문에서는 계통연계형 3레벨 인버터의 LCL필터 설계를 하여 이를 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 검증한다.

1. 서 론

최근 태양광 발전시스템의 각광받으면서 이에 따른 계통연계 인버터의 연구도 활발히 진행중이다. 계통연계 인버터중 Multi Level NPC 인버터는 높은 효율과 우수한 출력 THD로 계통연계 시스템에 많이 채용되고 있다.

인버터의 출력에는 PWM에 의해 기본파에 높은 고조파성분이 많이 포함되어있는데, 계통에 연계되어있는 부하에 오작동, 고장을 발생시키는 원인이 되며 이를 규정에 의해 규제하고 있다.

이러한 고조파를 감소시키기 위하여 저역통과 필터를 이용하여 제거해 주어야 한다. 이때 일반적으로 사용하는 L, LC필터는 구성이 간단하고 제어가 용이한 장점이 있지만 동적 특성이 좋지 않고 필터의 성능향상을 위해서는 인덕턴스를 증가시켜야 하기 때문에 필터의 부피가 커지고 비용을 증가시키는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 LCL필터는 독립운전과 계통연계 상호 전환이 가능하고 동일한 L필터에 비해 더 낮은 용량으로 높은 고조파 감쇄 효과를 구현 할 수 있는 장점이 있다.^[1]

그림 1은 3 Level NPC 인버터와 LCL필터를 이용한 태양광 발전 시스템의 전체 토폴로지이다. 문헌 [2]에는 3 Level NPC 인버터의 전류리플을 분석한 LCL필터 설계방법을 제시하고 있다. 본 논문에서는 3 Level 인버터의 LCL필터와 수동태핑을 적용, 시뮬레이션과 실험을 통해 검증 한다.

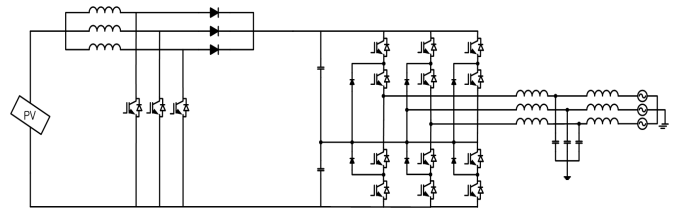


그림 1. 계통연계형 3-Level 인버터 태양광 발전 시스템 토폴로지.
 Figure 1. Topology of grid connected 3-Level inverter in photovoltaic system..

2. LCL 필터 설계

2.1 LCL 필터 모델링

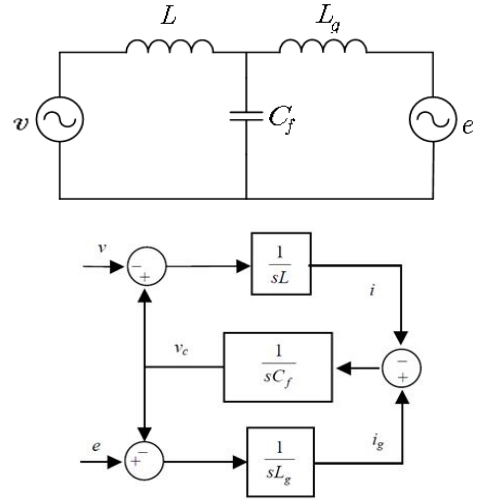


그림 2. LCL필터 모델링과 블록도.
 Figure 2. block diagram and modeling of LCL filter.

그림 2는 그림 1에서 보여준 계통연계 인버터의 LCL 필터의 모델링과 블록도이다. 이 모델로부터 전달함수를 구하면 식 (1)과 같다.

$$G(s) = \frac{i_{inv}(s)}{v_{inv}(s)} = -\frac{1}{sL_{inv}} \frac{s^2 + \frac{1}{L_g C_f}}{s^2 + \frac{L_{inv} + L_g}{L_{inv} L_g C_f}} \quad (1)$$

공진주파수는 식 2와 같이 구할 수 있으며 공진주파수는 식 (3)의 범위를 만족시켜야한다.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_{inv} + L_g}{L_{inv}L_gC_f}} \quad (2)$$

$$10f_b \leq f_{res} \leq 0.5f_{sw} \quad (3)$$

2.2 LCL 필터 설계 절차

1) 전체 필터 인덕턴스 $L_T(L_T = L_{inv} + L_{gz})$ 는 3 Level NPC 인버터의 전류 리플이 최대가 되는 스위칭 상태를 단순화하고 전압강하와 역률을 고려하여 식 (4)과 같은 범위내에서 L_T 를 결정할 수 있다.^[2]

$$\frac{5V_{dc}T_s}{18I_m} \leq L_T \leq \frac{\sqrt{V_{dc}^2 - 4E_m}}{2I_m\omega_f} \quad (4)$$

2) C_f 는 전체 정격 전력에 대한 무효전력의 비율로 결정한다. 일반적으로 5%이하로 결정한다.

$$C_f \leq \frac{0.05 \times P_{rated}}{\omega_b \times V_{LL}^2} \quad (5)$$

3) 두 인덕턴스의 비율을 결정한다.

$$\lambda = L_g/L_{inv} \quad (6)$$

4) L과 C에 의한 공진억제를 위해 수동댐핑기법을 이용한 댐핑저항 R_d 는 식 (7)과 같이 결정한다. 댐핑 저항값은 필터 커패시터의 리액터의 1/3배로 선정한다.

$$R_d = \frac{1}{3\omega_{res}C_f} \quad (7)$$

2.3 시뮬레이션

성능을 확인하기위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 계통연계형 3 Level 인버터의 LCL필터의 고조파 저감효과를 위한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다. 계통전압, 인버터 전류, 계통전류에 대하여 시뮬레이션한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 (a)는 필터 전단의 전류, (b)는 필터 후단의 전류를 나타내었으며 THD는 2.4%로 측정되었다.

구분	값	단위	
정격전력	5	kW	
계통상전압	220	V	
스위칭 주파수	5	kHz	
DC link Voltage	400	V	
공진 주파수	2015	Hz	
LCL	L_{inva}	1.5	mH
	L_g	1	mH
	C_f	10	uF
	R_d	1	Ω
	λ	0.67	

표 1. 시뮬레이션 및 실험 조건.

Table 1. Rated condition of simulation and experiment.

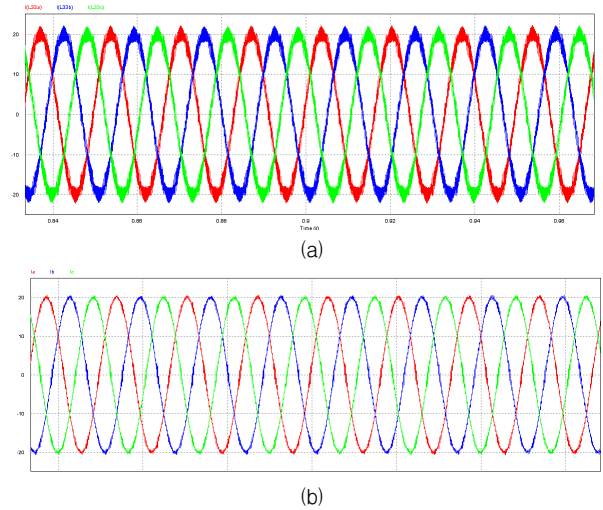


그림 3. 시뮬레이션 결과.

Figure 3. Simulation result.

2.4 실험

계통연계 인버터 시스템에 LCL필터를 실제로 실험에 적용하여 나타낸 실험결과는 그림 4과 같으며 이는 출력 a상 전류를 나타낸다. THD는 3.2%로 측정되었으며, 시뮬레이션과는 다소 차이가 있지만 5%미만이라는 THD가 측정되었다.

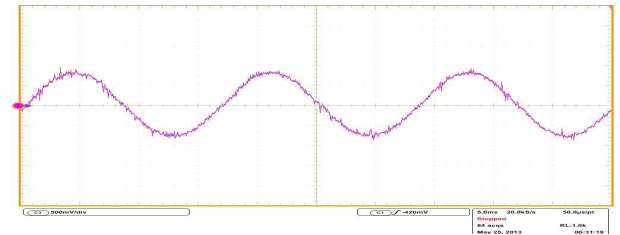


그림 4. 실험 결과.

Figure 4. Experiment result

3. 결론

본 논문에서는 계통연계형 3 Level 인버터를 위한 LCL필터 설계방법에 대해 분석하고 분석한 내용을 토대로 LCL필터를 설계하였다. 최종적으로 설계된 LCL필터의 성능을 PSIM을 이용한 시뮬레이션을 통해 검증하고, 이를 실제 계통연계형 인버터에 적용하여 실험한결과 낮은 THD의 전류를 확인할 수 있었다. 향후 능동댐핑 방법을 적용한 연구를 진행하고자 한다.

감사의 글:

본 논문은 (주)우진산전의 연구비 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고 문헌

[1] M.Liserre, F.Blaabjerg, and S.Hansen. Design and control of a LCL filter based three phase active rectifier. IEEE Trans. Industry Applications. pp. 1281-1290, vol.41, 2005
 [2] Zhangping Shao, Xing Zhang, Fusheng Wang and Fei Li. A Novel Design Method of LCL filter for Grid interconnected Three Level Voltage Source Inverter. IEEE, June 25, 2012