

계통 연계형 PCS의 운전모드 전환시 사고전류 최소화를 고려한 LCL 필터 설계

정재현, 권창근, 노의철, 김인동, *김흥근, **전태원
부경대학교, *경북대학교, **울산대학교

LCL Filter Design with the consideration of Fault Current Minimization in Mode Transfer of a Grid Connected Type PCS

Jae Hun Jung, Chang Keun Kwon, Eui Cheol Nho, In Dong Kim, *Heung Geun Kim, **Tae Won Chun
Pukyong National Univ., *Kyungpook National Univ., **University of Ulsan,

ABSTRACT

A new LCL filter design of a PCS with the consideration of fault current minimization is proposed. The magnitude of fault current is analysed with the variation of inverter side L_i , line side L_u , and filter capacitor C_f under constant line side THD_i of 5%. It is found that inverter side fault current reaches up to 200%~660% of the rated current with the variation of L_i . It is expected that the results can be applied to the detailed design of PCS filter.

1. 서론

계통 연계형 PCS는 일반적으로 PCS 출력 단에 저주파 통과 필터를 포함하고 있다. 계통 연계형 PCS에서 계통으로 공급되는 전력의 품질은 계통망의 전력품질에 영향을 미치기 때문에 규제의 대상이 되며, 최근 계통의 안정도와 신뢰도를 유지하기 위하여 PCS에서 계통으로 공급되는 전류의 고조파 성분을 저감하는 관점에서 필터에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 최근 많은 연구가 되고 있는 LCL 필터의 인버터 측 L_i 와 계통 측 L_u , 그리고 필터 커패시터 C_f 의 파라미터의 변화에 따른 사고발생 시 사고전류의 특성을 분석하고 이를 고려한 LCL 필터 설계 기법을 제안하고자한다. 먼저 기존에 제안된 LCL 필터 설계 방법을 간단히 설명하고, 이를 통하여 계통 측으로 유입되는 전류 THD_a를 만족하는 몇 가지 L_i , L_u , C_f 조합을 구하였다. 사고전류 최소화 기법을 이용하여 계통의 정전 사고발생 시 PCS가 전류모드에서 전압모드로 모드전환이 이루어지는 경우에 발생하는 사고전류의 특성을 시뮬레이션을 통하여 분석하였으며, 이를 통하여 계통 사고 발생 시를 고려한 LCL 필터 설계의 타당성을 입증하였다.

2. PCS 출력 필터 선정 및 설계 방법

2.1 PCS 출력 필터 선정

한국 전력의 경우 분산발전계통의 주입전류는 종합평균 왜형율이 5%를 초과하지 않도록 제한하고 있다. 계통 연계형 PCS가 계통으로 전력을 공급하는 경우 계통에 주입되는 전류의 고조파 성분을 줄이기 위해 PCS 출력 단에는 L 혹은 LC 필터를 사용하게 된다. 하지만 필터의 성능을 높이기 위해서

인덕턴스 값을 크게 할수록 L의 부피와 제작비용이 증가하는 단점이 있으며, 이 때문에 작은 인덕턴스로 동일한 고조파 억제 효과가 있는 LCL 필터에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[1] 비록 LCL 필터의 각 소자의 파라미터 선정 과정이 복잡하며, 전류 리플, 필터 크기, 스위칭 리플 감쇄율, 필터 커패시터에 흐르는 무효전력 등의 제약사항에 대해 고려해야 한다는 단점이 있지만 PCS 시스템의 전체 부피와 무게는 필터 인덕터의 부피와 무게가 큰 영향을 미치므로 작은 인덕턴스로 동일한 고조파 감소 효과가 있는 LCL 필터를 사용하였다.

2.2 LCL 필터 설계

기존에 제안된 총 고조파 왜율과 리플 감쇄율을 이용한 LCL 필터 설계^[2] 방법을 이용하여 필터를 설계 하였다. 계통으로 주입되는 전류 THD_a는 5%이며, C_f 는 C_b (base capacitance)의 5%일 때 인버터 출력 전류 THD_i의 값을 5~30% 까지 5% 구간별로 L_i 와 L_u 파라미터 조합을 정하였다. 또한 THD_i를 30%로 고정하고 C_f 의 값을 C_b 용량의 2~5% 까지 1% 구간별로 LCL 파라미터를 계산하였다. 각 조합은 표 1에 나타내었다.

표 1 THD_i와 C_f 의 변화에 따른 LCL 필터 파라미터 값

C_f [%]	THD _i [%]	L_i [uH]	L_u [uH]	C_f [uF]	R_d [ohm]
5	5	745	116	27.4	0.621
	10	372	174	27.4	0.650
	15	248	232	27.4	0.678
	20	186	290	27.4	0.698
	25	149	348	27.4	0.694
30	30	124	407	27.4	0.638
	4	124	508	22.0	0.711
	3	124	678	16.4	0.842
2	124	1016	11.0	1.06	

3. 사고 전류 특성 분석

3.1 시뮬레이션 회로도 및 시뮬레이션 파라미터

계통 사고발생 시 사고전류 최소화 기법을 통하여 운전 모드가 전환되는 경우, 계통의 a상 상전압 기준 30° 시점일 때, 그리고 PCS가 계통으로 전력을 공급하는 상황에서 가장 큰 사고 전류가 흐르게 된다. 그림 1은 사고전류가 가장 크게 발생하는 최악의 조건에 대한 시뮬레이션 회로도이며, 표 2에 시뮬레이션 파라미터를 나타내었다.

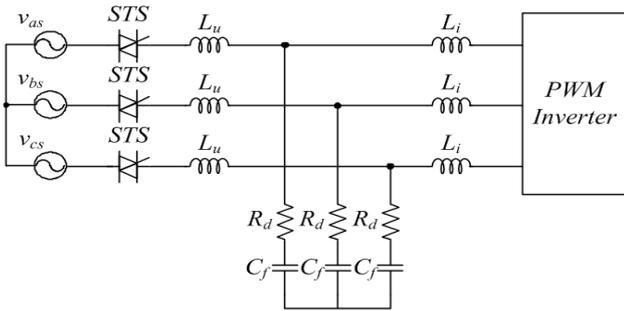


그림 1 시뮬레이션 회로도

표 2 시뮬레이션 파라미터

P C S 출력	10 [kW]	직류링크전압	400 [V]
계통선간전압	220 [V _{rms}]	스위칭주파수	10 [kHz]
계통주파수	60 [Hz]		

3.2 사고 전류 특성 분석

그림 2와 그림 3에 THD_i가 5%, C_f가 C_b의 5%인 경우 THD_i의 변화에 따른 사고 발생 시 STS와 인버터에 흐르는 사고전류의 최대값을 인버터 정격전류에 대한 정규화로 나타내었다.

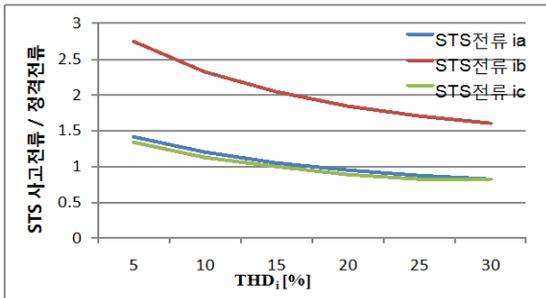


그림 2 THD_i 변화에 대한 STS 사고 전류 특성

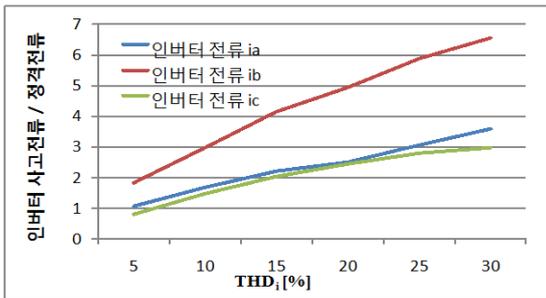


그림 3 THD_i 변화에 대한 인버터 사고 전류 특성

그림 2와 그림 3에 나타난 것 처럼 THD_i가 작아질수록 인버터에 흐르는 사고전류가 커지게 되며, 이 비율은 STS에 흐르는 사고전류의 감소 비율보다 크다. 인버터 사고전류를 줄이기 위한 LCL 파라미터 결정은 작은 THD_i의 값을 선택하여 결정해야 한다는 것을 알 수 있다.

그림 4와 그림 5에는 THD_a가 5%, THD_i가 30%인 경우 C_f의 변화에 따른 사고 발생 시 STS와 인버터에 흐르는 사고전류의 최대값을 인버터 정격전류에 대한 정규화로 나타내었다. C_f의 값은 STS에 흐르는 사고전류 크기 변화에 큰 영향을 주지 않지만 그림 5에서 알 수 있듯이 C_b의 3% 이하 크기가 되면 인

버터에 흐르는 사고전류 크기가 현저히 줄어든다.

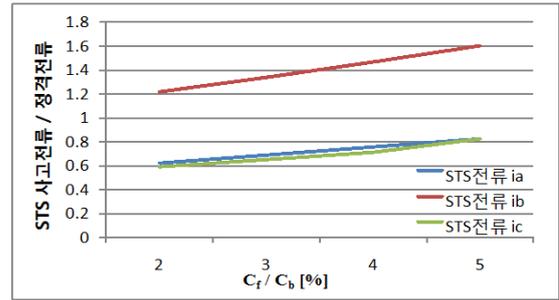


그림 4 C_f 변화에 대한 STS 사고 전류 특성

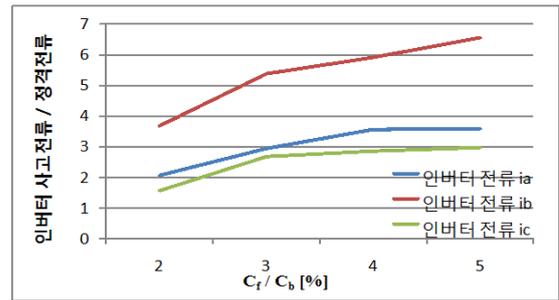


그림 5 C_f 변화에 대한 인버터 사고 전류 특성

4. 결론

본 논문에서는 계통 사고 발생을 고려한 계통 연계형 PCS의 LCL 필터 설계 기법을 제안하였고 설계한 필터에 대한 사고전류 특성을 분석하였다. 인버터 전류 THD_i가 큰 경우 L_f(L_f+L_u)는 작은 값을 가질 수 있지만 사고 발생 시 인버터측에 흐르는 사고 전류는 정격전류의 약 7배까지 증가하며 STS에 흐르는 사고 전류는 작은 THD_i인 경우 정격 전류의 약 3배까지 증가한다. 필터 커패시터 C_f의 크기가 작아질수록 사고전류의 크기는 감소하지만 L 파라미터에 의한 사고전류 크기 변화와 비교하여 영향이 작다. 하지만 C_b의 3% 이하에서의 C_f의 값은 크기가 작아질수록 인버터 사고전류를 저감하는 효과가 증대된다. 본 연구 결과는 계통으로 주입되는 전류 THD_i의 제한과 계통 사고 발생 시 인버터와 STS에 흐르는 사고 전류 크기를 고려한 LCL 필터 설계에 응용될 것으로 기대된다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 결과입니다. (NO. 2010T100100465)

참고 문헌

- [1] 김동익, 이동춘, 김홍근, “LCL 입력 필터를 갖는 PWM 컨버터의 계환 선형화 제어”, 전력전자학회논문지, 제 13권 제 1호, pp. 55 62, 2008. 2.
- [2] 박종형, 지민훈, 김홍근, 전태원, 노의철, “충고조파 왜율과 리플 감쇄율을 이용한 계통연계형 PCS용 LCL 필터 설계”, 전력전자학회논문지, 제 15권 제 3호, pp. 235 243, 2010. 6.