

100MVA STATCOM용 인버터 Pole 실증

한영성*, 정정주*, 유현호**, 박용희**, 서인영**
한양대*, (주)효성**

Inverter Pole Performance Verification for 100MVA STATCOM

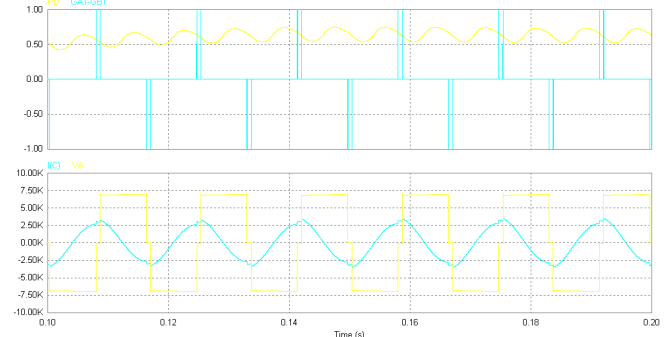
Young-Seong Han*, Chung-Choo Chung*, Hyun-Ho Yoo**, Yong-Hee Park**, In-Young Suh**
Hanyang University*, Hyosung Corporation

Abstract - 한전 전력연구원이 주관하고 (주)효성이 참여하는 협동 연구의 형태로 진행된 연구과제의 결과물로서 100MVA급 STATCOM에 사용될 인버터 폴이 설계, 제작되었다. 100MVA STATCOM 인버터 폴은 순수 국내 기술로 설계, 제작되었으며, (주)효성 안양공장 H-Bridge 시험장에서 전압, 전류 시험 및 Heatrun 시험을 완료 하였다. 본 논문에서는 100MVA STATCOM 인버터 폴의 시스템 구성, 시험방법 및 실증시험에 대하여 정리하였다.

H-Bridge의 AC 출력이 60Hz의 공진주파수를 갖는 직렬 LC 공진회로에 인가된다. 두 폴의 스위칭 위상차를 이용하여 이 회로에 흐르는 전류를 제어한다. Pole이 60Hz 스위칭을 하게 되면, Pole 전압과 전류의 Power Factor가 0이 된다. Power Factor를 바꾸기 위해서는 스위칭 주파수를 가감한다. 스위칭 주파수의 가감에 따른 시뮬레이션 파형을 그림 2에 나타내었다. 이 방식을 이용하면 낮은 DC 전압에서도 정격전류 스위칭이 가능하다.

1. 서 론

FACTS(Flexible AC Transmission System) 기술은 설비 이용률을 향상시키고 계통운용을 고도화하는 수단으로써 계통의 안정화 및 송전용량 증대를 위한 기술대안으로 인식하고 있다. FACTS 기기 중 STATCOM은 병렬 보상장치로써 실시간 무효전력 제어를 통하여 전압안정도 향상 및 계통의 혼잡비용 저감 등의 효과를 얻을 수 있다. 345kV 선로에 적용되는 100MVA STATCOM은 한국전력공사 미금변전소에 설치 예정이며 3상 인버터 2대의 조합으로 구성된다. 송전급 인버터 기기의 사이트 적용 이전에 설계상 제작상의 문제점을 점검하기 위해서는 실제 운전조건에 근사한 상태인 정격전압, 정격전류를 스위칭하여 정격 전류를 충분히 도통하는 시험을 수행하여야 한다. 이러한 시험을 통하여 과도상태의 전압 분포, 장시간 운전에 따른 온도상승등의 문제를 검증할 수 있다. 이러한 시험을 수행하기 위하여 단상 인버터 2대를 연결하여 LC 공진회로를 통한 폴 실증 시험을 수행하였다.



〈그림 2〉 공진주파수 운전 : 60Hz 파형

2. 본 론

2.1 H-Bridge 시험장치 설계

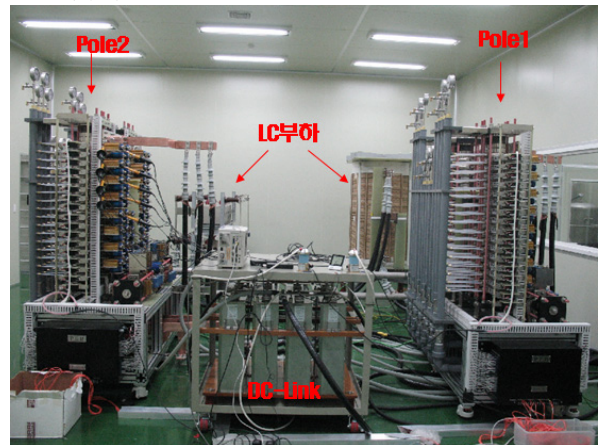
Pole이 제작되면 설계상, 제작상의 문제점을 점검하기 위해 H-Bridge를 구성하여 실제 운전 조건과 유사한 상태인 정격전압, 정격전류를 스위칭 하며, 정격전류를 충분히 도통해야 한다. 이렇게 함으로써 과도상태에서의 전압분포, 각부의 온도가 허용범위 내에 있는지 검증할 수 있다. 공진 회로를 이용한 H-Bridge 시험 장치를 설계하였으며 시뮬레이션을 수행하여 시험 장치를 검증해 보았다.

2.2 H-Bridge 시험장치 구성

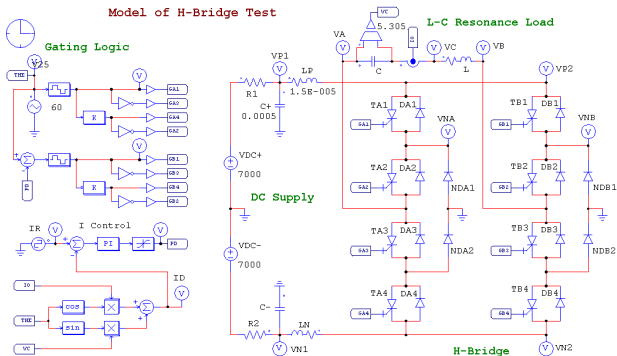
공진 회로를 이용한 H-Bridge 시험 장치는 아래의 그림과 같은 단상 인버터 폴 2대로 구성된다. 스위칭 밸브는 ABB사의 4500V, 4000A급의 IGBT를 8개 직렬연결 하여 구성하였으며 동일 용량의 다이오드를 8개 직렬 연결하여 역병렬 다이오드를 구성하였다. 4개의 스위칭 밸브를 이용하여 3레벨 단상 인버터 폴을 구성하였다.

2.1.2 공진회로를 이용한 H-Bridge 시험장치

공진회로를 이용한 H-Bridge 시험 장치를 설계하였으며 그림1과 같다.



〈그림 3〉 H-Bridge 시험장치



〈그림 1〉 공진회로를 이용한 H-Bridge 시험장치

LC 공진을 위한 커패시터는 440V 단상 1000KV, 14000uF를 사용하였으며 인덕터는 440V 단상 1000KVA 0.5mH를 사용하였다. DC Power supply는 10KV 12A를 사용하였다. 정격용량에서 스위칭시 스위칭 소자에서 발생하는 열의 냉각을 위하여 냉각시스템 및 열교환기를 설치하였다.

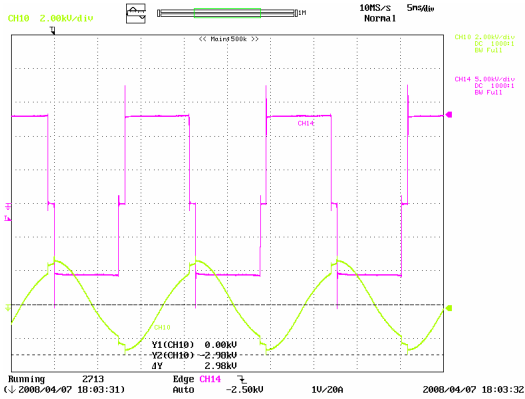
2.3 H-Bridge 시험결과

H-Bridge 시험은 DC 전압을 1000V부터 증가시켜 15000V까지 시험을 수행하였으며 알파각을 변화시켜 전류를 증가시켜 3000A까지 시험을 수행하였다. HFI 화면에서 전류지령을 변화시키기에 따라 제어기는 한 폴의 alpha각은 고정시키고 다른 폴의 alpha 각을 변화시켜 제어를 수행하게 되며 이 alpha 각을 모니터링 하여 alpha 각에 따른 출력전류가 정상적으로 제어됨을 확인하였다. 시험 수행 영역은 아래의 표와 같다.

〈표 1〉 H-Bridge 시험 영역

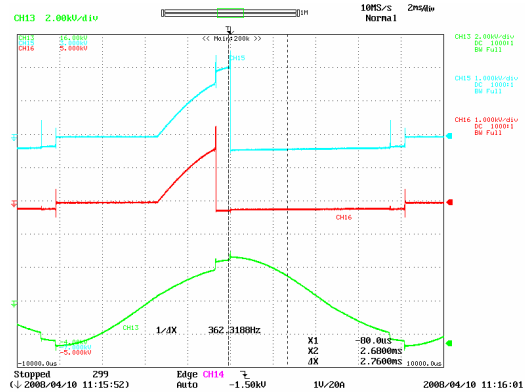
1000V	3000V	5000V	7000V	10000V	12650V	15000V
56A	122A	220A	330A	600A	990A	1250A
174A	375A	450A	845A	1700A	1690A	2080A
182A	660A	830A	1190A	2200A	2560A	2450A
274A	1000A	1080A	1630A	2600A	2900A	3000A
385A	1100A	1260A	1810A	2900A	3000A	
515A	1170A	1380A	2010A	3040A		
	1230A	1740A				

100MVA STATCOM의 DC 정격은 10000V 이나 최대 용량성 부하시의 15% 전압 상승과 계통 전압의 10% 상승을 고려하여 12650V의 전압에서 H-Bridge 시험을 통하여 인버터 성능을 검증하였다. 아래의 그림4에 DC 12650V 전압을 인가한 조건에서 전류3000A(알파각 0.8도) 스위칭 파형을 나타내었다. Ch13은 2000A/div scale의 AC전류이며 Ch14는 5000V/div scale의 AC전압으로 시뮬레이션 결과와 유사한 파형을 나타냄을 알 수 있다.



〈그림 4〉 DC 12650V 3000A 전압 전류 파형

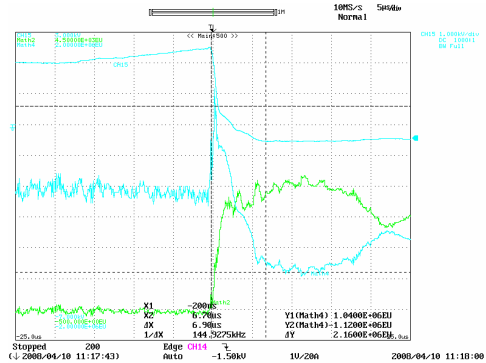
위의 그림과 동일한 조건에서 Positive valve의 turn off 전류를 측정된 파형은 아래의 그림5와 같다. 그림의 ch15는 1000A/div scale의 P2 밸브의 전류이고 ch16은 1000A/div scale의 P1 밸브의 전류이다. 각 밸브별 전류는 시뮬레이션과 유사한 파형을 나타냄을 확인 할 수 있었다.



〈그림 5〉 P1, P2 전류 파형

송전급 대용량 기기에서는 인버터 자체 손실이 매우 크기 때문에 정격 용량하에서의 인버터 손실을 예측할 필요가 있다. 인버터의 스위칭 손실은 주로 IGCT의 Turn-off시에 발생하며 이를 통하여 자체 손실을 유추할 수 있다. IGCT Turn-off 손실을 측정하기 위하여 Turn-off시 직렬연결된 IGCT 소자 1개가 감당하는 전압 및 전류를 측정된 파형은 그림6과 같다. ch15는 1000A/div scale의 AC 전류이며 math2는 500V/div scale의 직렬 연결된 소

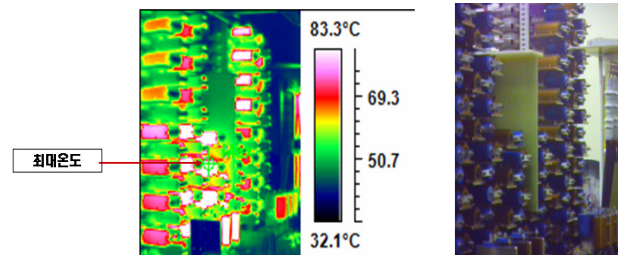
자 1개의 전압이고 math4는 ch15와 math2의 곱 형태로 40kW/div의 손실이다. 그림에서 알 수 있듯이 math4는 삼각형 형태로 나타나며 IGCT Turn-off 손실은 $6.9\mu s \times 2.16MW/2 = 7.452J$ 이고 100MVA STATCOM은 60Hz 스위칭을 하므로 IGCT 1개당 447W의 손실을 계산 할 수 있다.



〈그림 6〉 인버터 스위칭 손실

계통 사고 및 시스템 이상으로 인한 DC bus 과충전을 방지하기 위하여 정격 DC 전압의 1.5배(15000V)에서 DC Clamp 동작을 통하여 인버터를 보호하게 되며 인버터는 15000V에서 정상 동작이 가능해야 한다. 이를 위하여 DC Clamp 동작 레벨에서 H-Bridge 시험을 수행하였으며 정상동작을 확인하였다.

장시간 운전에 따른 시스템 성능 및 안정성을 확인하기 위하여 8시간의 정격출력(10000V 3000A)에서 Heatrun 시험을 수행하였으며 8시간 운전 후 열화상 카메라를 통하여 IGCT, IGCT gate driver, Diode, snubber circuit등 주요 요소를 감시하였다. 가압후 1시간 이내에 주요 구성 부품의 온도는 포화 되었으며 hotspot 부위는 스너버 저항으로 110도를 기록하였고 온도 상승치는 적정레벨에 있음을 확인하였다.



〈그림 7〉 인버터 온도 상승(Heatrun 시험)

3. 결 론

한전 전력연구원과 (주)효성이 수행한 국책과제를 통하여 100MVA STATCOM의 인버터 폴 국산화 개발에 성공하였다. 개발에 성공한 인버터 폴은 한전 미급변전소에 설치될 예정이며 변전소 설치 이전에 충분한 시험을 통하여 설계상 제작상의 문제점을 보완 하고 신뢰성을 검증할 필요성이 있었다. 이러한 신뢰성 검증을 위하여 실제 운전조건에 근사한 상태인 정격전압, 정격전류를 스위칭 하는 H-Bridge 시험을 수행하였다. 추가적으로 과도 상태의 안정성을 시험하기 위한 1.5배 전압에서의 성능시험을 수행하였다. 또한 장시간 운전에 따른 시스템의 안정성 및 신뢰성을 시험하기 위한 Heat-run 시험을 수행하였다. 이러한 시험을 통하여 제작된 인버터 폴의 성능이 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인할 수 있었으며 정상상태 및 과도상태에서의 전압분포, 각부의 온도등이 설계상 허용범위 안에 있는지 확인할 수 있었다. 시험이 완료된 인버터 폴은 향후 100MVA STATCOM의 구성품으로 미급 변전소에 설치될 예정이며 2009년 하반기부터 상용 운전될 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] IT기반의 대용량 전력수송 제어시스템 과제 1차년도 중간 보고서, 2006.11
- [2] Youngseong Han, Hyunho Yoo, A Test Facility for Large Scale Inverter Valve and Pole using Resonant Circuit, (ICPE'07 October 22-26, 2007, PD29)