

공진회로를 이용한 대용량 인버터 폴 시험설비에 관한 연구

유현호 한영성 서인영 김대희
(주)효성 중공업연구소

추진부 장병훈
한전 전력연구원

A test facility for Large Scale Inverter Pole Using Resonant Circuit

H.H. Yoo, Y.S. Han, I.Y. Suh, D.H. Kim
R&D Center, Hyosung Co

J.B. Choo, B.H. Jang
KEPRI

Abstract - 대용량 인버터의 구성요소인 단상 인버터를 시험하는 방식에 대해 제안하였다. 단상 인버터의 설계 및 제작이 완료되면 설계상, 제작상의 문제점을 점검하여야 한다. 이를 위해서 실제 운전조건에 근사한 상태인 정격전압, 정격전류를 스위칭 하여 정격 전류를 충분히 도통하는 실험을 수행하여 성능의 검증이 필요하다. 본문에서는 단상 인버터 폴 2대를 이용한 이러한 시험조건을 제공하는 방식을 제안하였다.

1. 서 론

STATCOM등 FACTS(Flexible AC Transmission System)기기 등에 사용되는 고전압의 대용량 인버터를 구성하기 위하여 전력용 반도체 소자를 직렬 연결하여 인버터의 스위칭 밸브를 구성하고 4개의 밸브를 이용하여 3레벨 인버터를 구성하는 방식이 사용되고 있다. 이렇게 구성된 단상 인버터의 특성은 simulation을 통하여 어느 정도의 예측은 가능하지만, 설계상, 제작상의 문제점을 점검하기 위해서는 실제 운전조건에 근사한 상태인 정격전압, 정격전류를 스위칭 하여 정격 전류를 충분히 도통하는 실험을 수행하여야 한다. 이러한 실험을 통하여 과도상태의 전압 분포, 각부의 온도가 허용범위 내에 있는지를 검증할 필요가 있다. 제작된 인버터 폴의 시험을 수행하기 위하여 단상 인버터 2대를 연결하여 LC 공진회로를 통한 폴 시험설비를 고안하였다.

2. 본 론

2.1 H-Bridge 시험장치 설계

Pole이 제작되면 설계상, 제작상의 문제점을 점검하기 위해 H-Bridge를 구성하여 실제운전 조건에 근사한 상태인 정격전압, 정격전류를 스위칭 하며, 정격전류를 충분히 도통해야 한다. 이렇게 함으로써 과도상태에서의 전압분포, 각부의 온도가 허용범위 내에 있는지 검증할 수 있다. 2개의 H-Bridge 시험 장치를 설계하였으며 시뮬레이션을 수행하여 시험 장치를 검증해 보았다.

2.1.1 2개의 전원장치를 사용한 H-Bridge 시험장치

그림1과 같이 AC Power supply와 DC Power supply를 사용한 H-Bridge 시험 장치를 설계하였다. 기본적인 스위칭 패턴은 Positive 스위칭 시 한쪽 폴과 다른 쪽 폴의 시간차를 약간 두어 순차적으로 DC capacitor가 AC power supply에 걸리도록 하고, 대부분의 시간은 Positive Valve를 통해 전류가 흐르도록 하는 것이다. 그림2의 시뮬레이션 결과에서 보는바와 같이 RL에 흐르는 전류가 원하는 값일 때 스위칭이 일어나도록 타이밍을 맞춘다. 시뮬레이션 상에서는 전류가 최대일 때 스위칭이 일어나도록 하였다.

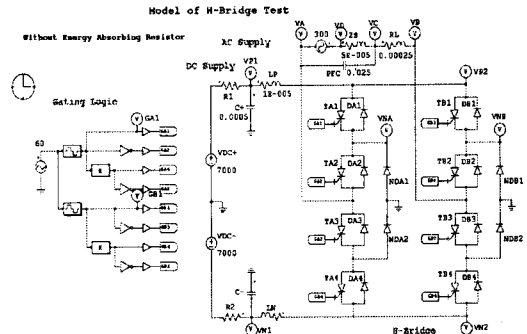


그림1. 2개의 전원 장치를 사용한 H-Bridge 시험장치

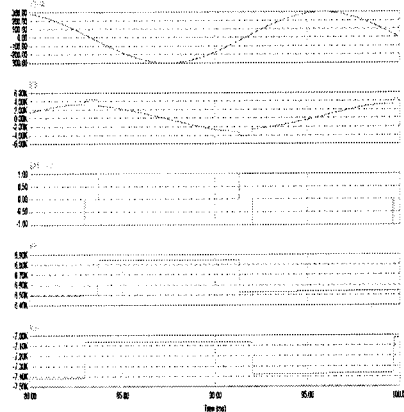


그림2. Simulation 결과

전체 시스템의 비용을 절감하기 위하여 DC power supply와 AC power supply를 단방향으로 설계하였다. 스위칭 패턴을 한쪽으로 에너지가 공급되도록 하면 한쪽 capacitor에 에너지가 축적되므로, 이 에너지는 소모 시켜줘야 한다. 그래서 세 번째 나타난 파형과 같이 TB를 약간 넓게 하여 RL에 흐르는 전류가 +일 때 C+를 충전시켰다가 전류가 -일 때 C+를 다시 방전시킨다. 이 에너지는 AC power supply의 DC Link에 저장되었다가 Negative 측 스위칭을 할 때 이용된다. 동일한 로직이 Negative 측 스위칭 시에도 적용된다.

2.1.2 공진회로를 이용한 H-Bridge 시험장치

앞에서 설계한 2개의 전원을 사용하는 방식에서는 DC 전압을 스위칭 할 때 순간적으로 이 전압이 그대로 AC 전원에 인가되기 때문에 AC 전류를 공급하는 전원장치의 대지 간 절연이 상당히 크게 된다. AC power supply를 제거하고 공진회로를 이용한 H-Bridge 시험 장치를 설계하였으며 그림3과 같다.

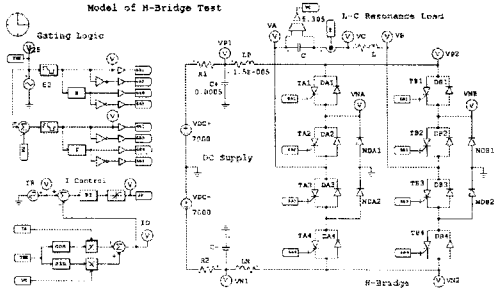


그림3. 공진회로를 이용한 H-Bridge 시험장치

H-Bridge의 AC 출력이 60Hz의 공진주파수를 갖는 직렬 LC 공진회로에 인가된다. 두 폴의 스위칭 위상차를 이용하여 이 회로에 흐르는 전류를 제한한다. 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 4~6에 나타내었다. 이 방식을 이용하면 낮은 DC 전압에서도 정격전류 스위칭이 가능하다.

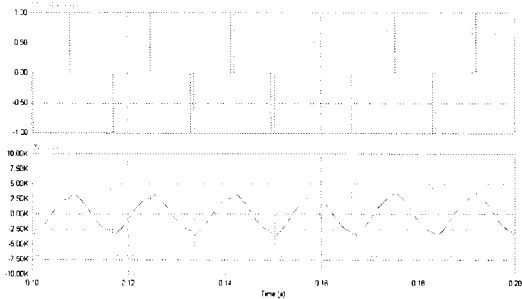


그림4. 공진주파수 운전 : 60Hz 파형

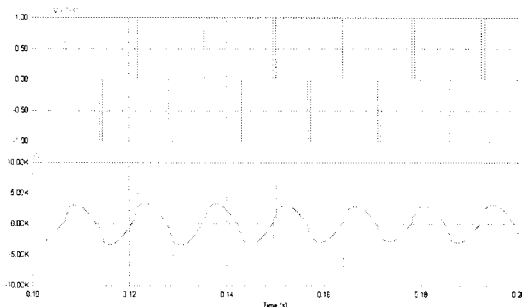


그림5. 지상역률(유도성 부하)운전 : 70Hz 파형

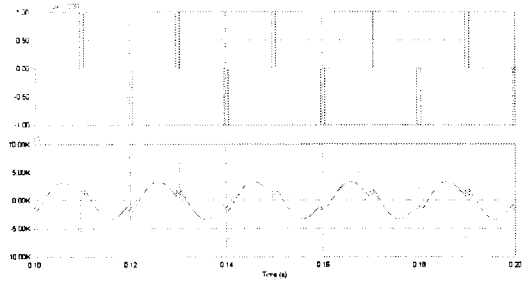


그림6. 진상 역률(용량성 부하)운전 : 50Hz 파형

2.2 H-Bridge 시험장치 구성

2.1.1절의 2개의 전원장치를 사용한 H-Bridge 시험 장치와 2.1.2절의 공진회로를 이용한 H-Bridge 시험장치중 시스템 구성의 용이성 및 안정성을 고려하여 후자를 선택하여 시스템을 구성하였다.

공진 회로를 이용한 H-Bridge 시험 장치는 아래의 그림과 같은 단상 인버터 폴 2대로 구성된다. 스위칭 밸브는 ABB사의 4500V, 4000A급의 IGCT를 5개 직렬연결하여 구성하였으며 동일 용량의 다이오드를 5개 직렬 연결하여 역병렬 다이오드를 구성하였다. 4개의 스위칭 밸브를 이용하여 3레벨 단상 인버터 폴을 구성하였다.

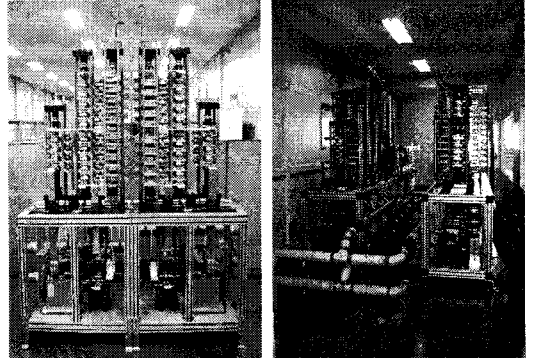


그림7. 3레벨 인버터 및 H-Bridge

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.

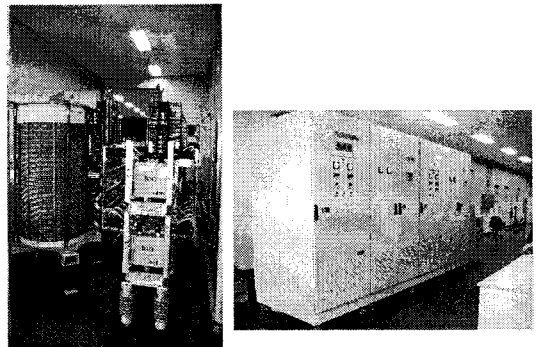


그림8. 부하용 LC 및 DC 전원 공급 장치

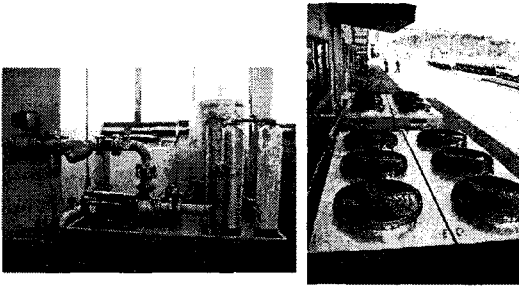
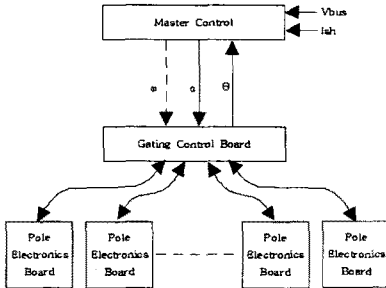


그림9. 냉각시스템 및 열 교환기

H-Bridge 시험은 인버터 스택의 검증과 더불어 정격 운전시 스위칭 노이즈 등에 대한 STATCOM 제어기의 안정성 및 신뢰성을 검증해야 한다. STATCOM 제어기는 선정된 소자와 인버터 Topology를 고려할 때 고정된 스위칭 패턴이 사용되고, 이 패턴은 미리 결정되어 Lookup 테이블에 저장된다. 정확한 전압출력을 위해 이 테이블의 해상도는 충분히 높게 설정되어야 하며, 이 고 해상도의 테이블을 출력하기 위해서는 높은 주파수의 테이블 access가 필요하다. 이러한 점들을 고려하여 아래의 그림과 같은 형태의 제어기를 제작하였다. 최상위에 Master Control이 있어서 전체 시스템의 관리 및 수십 usec 단위의 제어를 담당하며, 모션전압 측정과 전류제어를 위한 전류측정을 수행한다. 다음단계로 Gating Control Board를 두어 usec 단위의 신호처리 및 Gating Pattern을 만든다. 마지막으로 각 폴 단위의 제어 및 보호를 위해 Pole Electronics Board(PEB)를 각 Pole에 설치한다.



치한다.

그림10. 제어기 구조

각 PEB에서는 minimum ON/OFF 시간, dead time이 감시되고, 각 gate drive의 상태를 받아 Valve의 상태가 결정된다.

2.3 시험결과

H-Bridge 시험은 DC 전압을 500V 단위로 증가시켜 5000V까지 시험을 수행하였으며 전류를 50A단위로 증가시켜 1500A까지 시험을 수행하였다. HFI 화면에서 전류 지령을 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.

아래의 그림11에 DC 5000V 전압을 인가한 조건에서 전류1500A 스위칭 파형을 나타내었다. Ch1은 1/600 scale의 전류이며 Ch2는 1/110 scale의 전압으로 시물레이션 결과와 유사한 파형을 나타냄을 알 수 있다.

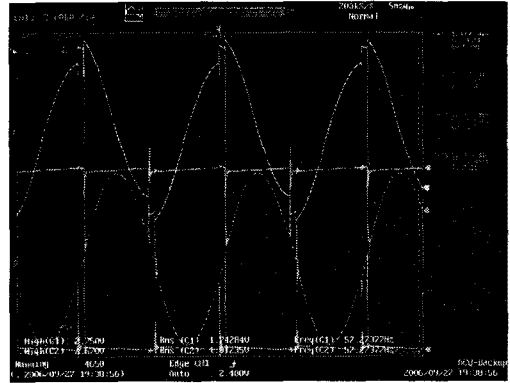


그림 11. H-Bridge 시험 파형

장시간 운전에 따른 시스템 성능 및 hot spot을 관찰하기 위하여 3000V 1000A에서 1시간 운전 후 열화상 카메라를 통하여 IGCT, IGCT gate driver, Diode, snubber circuit등 주요 요소를 감시하였으며 온도 상승치는 적정 레벨에 있음을 확인하였다.

3. 결 론

STATCOM등 FACTS(Flexible AC Transmission System)기기 등에 사용되는 고전압의 대용량 인버터를 구성하기 위하여 전력용 반도체 소자를 직렬 연결하여 인버터의 스위칭 밸브를 구성하고 4개의 밸브를 이용하여 3레벨 인버터를 구성하는 방식이 사용되고 있다. 이렇게 구성된 단상 인버터의 설계상, 제작상의 문제점을 점검하기 위해 실제 운전조건에 근사한 상태인 정격전압, 정격전류를 스위칭 하여 정격 전류를 충분히 도통하는 실험을 수행하기 위하여 단상 인버터 2대를 연결하여 LC 공진회로를 통한 폴 시험설비를 고안하였다.

이러한 시험설비를 통하여 과도상태에서의 전압분포, 각부의 온도가 허용범위 내에 있는지 검증 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대용량 전력수송 기술개발(1단계 : FACTS 운용 및 기기 국산화 기술개발) 2차년도 중간보고서, p.268-273, 2005
- [2] 대용량 전력수송 기술개발(1단계 : FACTS 운용 및 기기 국산화 기술개발) 3차년도 1차분기 보고서, 2006