

MMC 기반 STATCOM 용 밸브의 성능시험 장치를 위한 새로운 토폴로지

배종우¹, 정재현², 노의철[†], 정용호³, 백승택³, 이진희³, 김영우³

New Topology for Valve Performance Test Equipment of MMC based STATCOM

Jongwoo Bae¹, Jae-Hun Jung², Eui-Cheol Nho[†], Yong-Ho Chung³,
Seung-Taek Baek³, Jin-Hee Lee³, and Young-Woo Kim³

Abstract

This study proposes a new topology for the performance test of a valve consisting of a modular multilevel converter (MMC)-based static synchronous compensator (STATCOM). The conventional valve performance test equipment requires high-voltage AC source of several kV rating because the number of submodules to be tested in a valve should be at least six or eight. However, the power source of the proposed scheme is DC and not AC source. The DC power source voltage range of the proposed test circuit is from several volts to several tens of volts. Therefore, the size and cost for the performance test equipment can be reduced considerably compared with the conventional method. The proposed scheme satisfies the requirements of the IEC 62927 standard. Simulations are conducted for a valve of 50[MVA] MMC-based STATCOM. Experimental results with a scale-downed setup show the validity of the proposed performance test topology.

Key words: Valve, MMC-STATCOM, Performance test

1. 서 론

전력계통의 전압은 수요 및 공급의 변동에 따라 시시각각 변한다. 근래에는 산업발전에 따른 전력계통의 대용량화와 신·재생에너지 확대보급에 따른 분산전원화 등에 의한 복잡한 전력계통을 안정화하고 공급전원을 일정하게 유지할 목적으로 STATCOM (STATIC synchronous COMPensator) 이 적용되고 있다. 전력변환 기술을 이용한 STATCOM 은 전력계통의 안정도를 유지하면서 송전용량을 증대시킬 수 있는 FACTS (Flexible AC Transmission System) 기술의 지속적인 발전에 중요한 역할을 담당하고 있다^{[1]-[2]}.

STATCOM 을 구성하는 전력변환장치의 토폴로지는 기본적으로 멀티레벨 컨버터를 채용하고 있는 추세인데, 이는 레벨 수 증가에 따른 전압 스트레스 감소, 전력반도체 소자의 스위칭 주파수 감소, 발생 고조파 저감 등의 이점이 있기 때문이다^{[3]-[4]}. 멀티레벨 컨버터 중에서 다이오드 클램프형이나 플라잉 커패시터형 보다는 H-bridge 인버터들의 캐스케이드 접속된 멀티레벨 컨버터가 경쟁력이 있는데 그 이유는 별도의 승압용 변압기가 필요 없어서 소형 경량화가 가능하고 가격 경쟁력이 있기 때문이다^{[5]-[6]}. 최근에는 MMC (Modular Multilevel Converter) 기반 STATCOM 에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[7]. MMC 기반의 시스템을 구성하는 단위 셀은 하프브리지 혹은 풀브리지 토폴로지를 사용할 수 있으나, MMC 기반 STATCOM 의 경우에는 계통과 Y- Δ 변압기를 통하여 결선되기 때문에 양극성의 전압을 발생시킬 수 있는 풀브리지 토폴로지로 구성한다.

MMC 기반 STATCOM 의 하드웨어적 핵심 요소는 밸브 (Valve) 인데 밸브는 여러 개의 서브모듈이 직렬 접속된 것으로서 시스템의 전압정격에 따라 서브모듈의 개수가 정해진다. 즉, STATCOM 을 접속하고자 하는 계통의 전압이 높을수록 서브모듈의 개수도 늘어난다.

Paper number: TKPE-2017-22-1-11

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: nhoec@pknu.ac.kr, Dept. of Electrical Eng., Pukyong National University

Tel: +82-51-629-6317 Fax: +82-51-629-6305

¹ Dept. of Smart Electricity Eng., Korea Polytechnic University

² Dept. of Electrical Eng., Pukyong National University

³ HVDC Research Group, LS Industrial Systems

Manuscript received Nov. 26, 2016; revised Dec. 7, 2016;

accepted Dec. 28, 2016

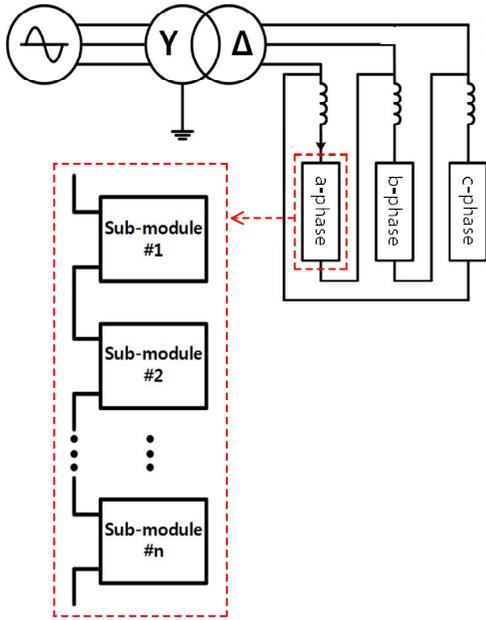


Fig. 1. Configuration for MMC-STATCOM.

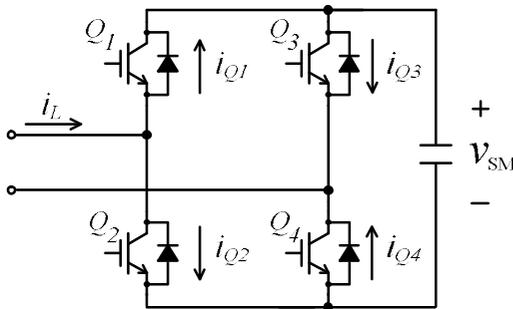


Fig. 2. Circuit diagram and current notation of sub module.

가령, 14.4 [kV] 의 경우 10 여개의 서브모듈이 필요하다. 그런데, 문제는 이러한 밸브의 성능시험을 하려면 고 전압원이 필요하며 인터페이스가 복잡한 제어 시스템이 필요하다. 따라서 국제적으로 밸브 시험의 중요성이 인식되어 최근에 MMC 기반 STATCOM 밸브시험에 관한 국제규격인 IEC 62927^[8] 이 제정되기에 이르렀는데, 이 규정에 의하면 STATCOM 시스템 운전시의 각 스위칭 소자에 흐르는 전류의 도통 기간, 스위칭 시점에서의 전류 크기와 유사한 전류를 서브모듈의 스위칭 소자에 흐르게 하고, 피시험체의 서브모듈 개수는 3 개 이상으로 하여 실제 성능을 확인할 수 있도록 요구하고 있다. 따라서 서브모듈의 개수를 3 개로 해서 성능시험을 해도 되는데, 다수의 서브모듈을 필요로 하는 종래의 시험 방식으로는 전압 레벨의 개수가 턱없이 부족하여 제대로 된 성능시험을 할 수가 없다.

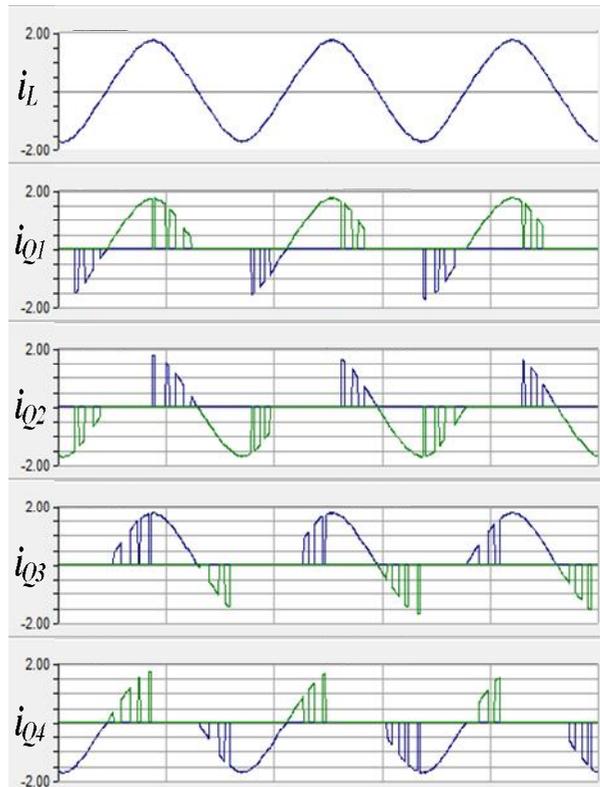
본 논문에서는 서브모듈 3 개만으로도 실제 시스템과 유사한 조건에서의 성능시험이 이루어질 수 있는 밸브 시험장치의 토폴로지를 제안하고자 한다. 제안한 회로 방식에 대한 동작원리를 소개하고 시뮬레이션과 축소모형에 대한 실험을 통해 그 타당성을 입증하고자 한다.

2. MMC-STATCOM 동작시 전류파형

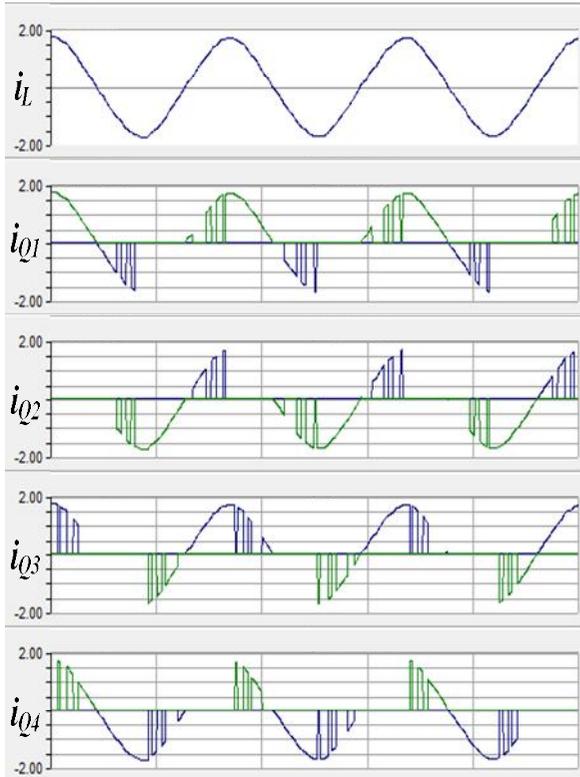
그림 1은 MMC-STATCOM의 정상 동작시 서브모듈에 흐르는 전류 패턴을 분석하기 위한 MMC-STATCOM 시스템 구성도이다. 그림 1에 나타낸 각각의 서브모듈은 단상 풀브리지 인버터 토폴로지로 구성되어 있다. 그림 2에 서브모듈 회로도도를 나타내었다.

그림 3은 14.4 [kV] 계통에 연결되는 50 [MVA] 급 MMC-STATCOM에 대한 시뮬레이션 결과 파형이다. 스위칭 소자 전류의 기준 방향은 그림 2를 기준으로 하였다. 서브모듈 입력 전류인 i_L 와 서브모듈을 구성하고 있는 각 스위칭 소자에 흐르는 전류 파형을 나타내었으며 스위칭 소자의 전류 파형에서 녹색은 다이오드 전류, 파란색은 IGBT 전류를 의미한다. 그림 3-(a)는 지상 무효전력, 그림 3-(b)는 진상 무효전력을 공급하는 경우에 대한 전류 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 i_L 과 각 스위칭 소자의 전류 패턴은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 마이너스(-) 피크값이 플러스(+) 피크값과 동일함
- IGBT와 다이오드에 흐르는 전류파형이 유사한 패턴을 가짐
- 서브모듈 입력 전류인 사인파를 기준으로 전류의 반주기 파형이 IGBT와 다이오드에 대칭으로 흐름
- 반주기 파형의 전후로 동일한 개수의 펄스형태 전류가 흐름



(a) Current waveforms in case of lagging mode



(b) Current waveforms in case of leading mode

Fig. 3. i_L and current patterns of switching devices in case of normal operation.

따라서 MMC-STATCOM의 밸브 성능시험을 위해서는 밸브를 구성하는 각 서브모듈의 전류 파형이 그림 3과 유사하도록 하면 된다.

3. MMC-STATCOM 밸브 성능시험회로

3.1 밸브 성능시험회로 구성

그림 4는 본 논문에서 다루고자하는 MMC-STATCOM용 밸브의 성능시험을 위한 회로도이다. 인터페이스 리액터 L 을 기준으로 우측 회로는 3개의 서브모듈로 구성된 피시험체이며 좌측은 전류패턴 형성 및 손실보상을 위한 전원공급장치이다. 전원공급장치는 3상 다이오드 정류기와 풀브리지 인버터로 구성되어 있다. 그러나 $S_1 \sim S_4$ 로 구성되는 부분은 인버터로 동작하지 않고 성능시험에 필요한 전류의 증감을 가능하게 하는 스위칭 패턴에 따라 동작한다. 3상 다이오드의 입력 전압은 수 ~ 수십 [V] 정도의 저전압이면 되는데 그 크기는 회로에서 발생하는 총 손실에 따라 결정된다. 서브모듈의 커패시터 전압($v_{SM1} \sim v_{SM3}$)은 1 ~ 2[kV] 정도되며 별도의 초기 충전회로에 의해 충전된다.

3.2 밸브 성능시험회로의 동작 원리

밸브 성능시험시 우측의 피 시험체를 구성하는 모든 서브모듈은 동일한 스위칭 패턴으로 동작한다.

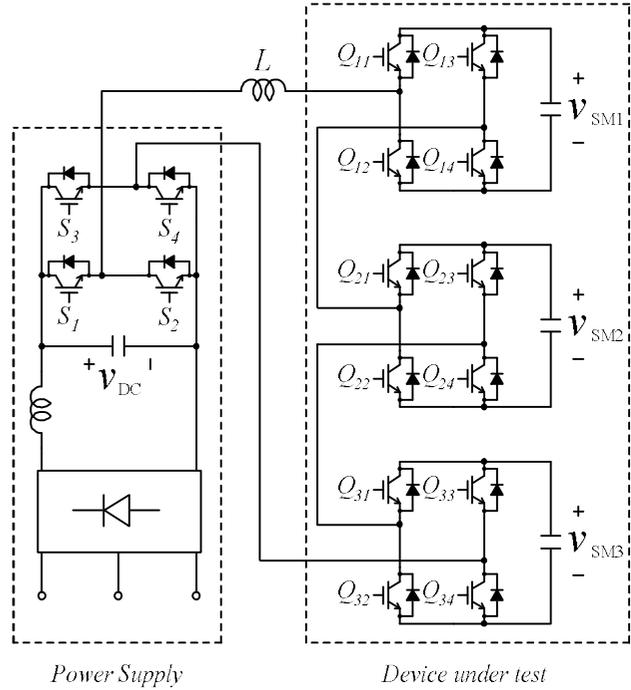


Fig. 4. Valve performance test circuit.

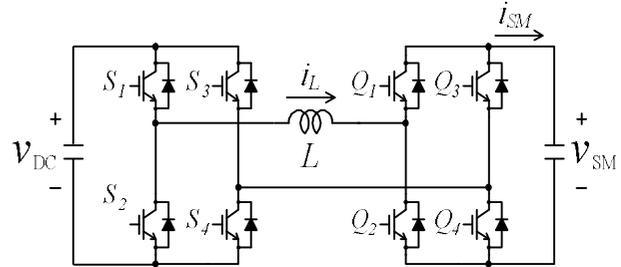


Fig. 5. Simplified valve performance test circuit.

이를 고려한 밸브 성능시험회로의 등가회로를 그림 5에 나타내었다. 전류패턴 형성 및 손실 보상용 인버터의 입력전압 v_{DC} 의 크기는 v_{SM} 과 비교하여 매우 작다.

제안하는 성능시험회로의 동작원리를 간단하게 설명하면 다음과 같다. 3개의 서브모듈이 미리 정해진 시간-테이블에 따라 동시에 턴-온 혹은 턴-오프 하여 각 스위칭 소자에 흐르는 전류 패턴을 생성하고 손실보상용 인버터가 듀티를 제어하여 서브모듈의 DC 전압을 제어한다.

그림 6에 제안하는 성능시험회로의 한 주기 동안의 i_L , 커패시터에 흐르는 전류 i_{SM} , 그리고 $Q_1 \sim Q_4$ 의 스위칭 신호를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 성능시험회로의 동작은 크게 인덕터 전류가 증가하는 구간(그림 6의 1, 3, 5, 18, 20, 22 구간)과 감소하는 구간(7, 9, 11, 12, 14, 16) 그리고 환류하는 구간($i_L > 0$: 2, 4, 6, 8, 10 및 $i_L < 0$: 2, 4, 6, 8, 10)으로 구분할 수 있으며, 각각 전류 상승모드, 전류 하강모드, 그리고 환류모드로 명명하여 성능시험회로의 동작을 설명하도록 한다.

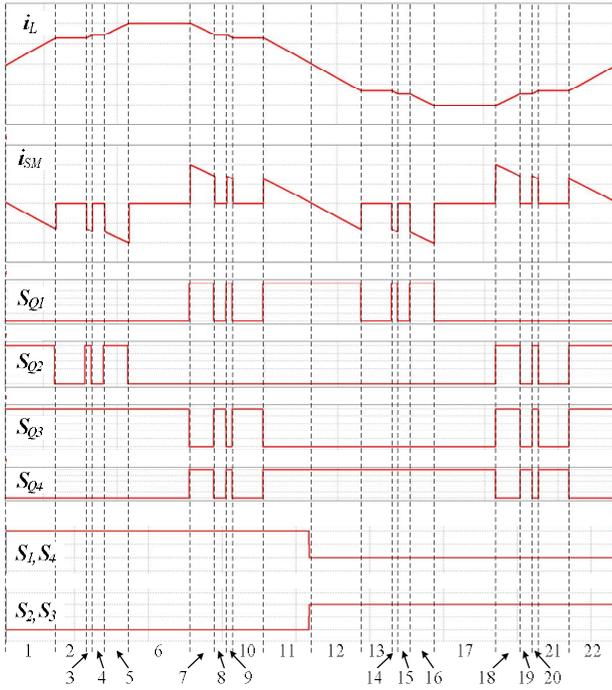


Fig. 6. Waveforms of inductor current, capacitor current, and switching signals.

1) 전류 상승모드

전류 상승모드는 인덕터에 정방향(+) 전압이 인가되어 인덕터 전류가 증가하는 구간이다. 서브모듈에서 $-v_{SM}$ 의 전압을 발생함으로써 인덕터 전류를 증가시킬 수 있으며, 이를 위해 서브모듈의 Q_2 와 Q_3 을 턴-온, Q_1 과 Q_4 를 턴-오프 한다. 시험 전류가 양($i_L > 0$)인 경우에는 $v_{SM} - Q_3 - S_4 - v_{DC} - S_1 - L - Q_2$ 의 경로를 통해 i_L 이 흐르고, 시험 전류가 음($i_L < 0$)인 경우에는 $v_{SM} - Q_3 - S_3 - v_{DC} - S_2 - L - Q_2$ 의 경로를 통해 흐른다. v_{DC} 의 전압이 v_{SM} 과 비교하여 매우 작다면 v_{DC} 는 i_L 의 상승에 영향을 미치지 않는다고 가정할 수 있으므로, 시험 전류 i_L 은 다음 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$i_L = i_L(t_{0u}) + \frac{1}{L} \times v_{SM} \times (t - t_{0u}) \quad (1)$$

여기서, t_{0u} 는 전류 상승(up) 이전 모드가 종료하는 시각

2) 전류 하강모드

전류 하강모드는 인덕터에 역방향(-) 전압이 인가되어 인덕터 전류가 감소하는 구간이다. 서브모듈의 출력 전압은 $+v_{SM}$ 이 되어야 하며, 이를 위해 서브모듈의 Q_1 과 Q_4 를 턴-온, Q_2 와 Q_3 을 턴-오프한다. 시험 전류가 양($i_L > 0$)인 경우에는 $v_{SM} - Q_4 - S_4 - v_{DC} - S_1 - L - Q_1$ 의 경로를 통해 흐르고, 시험 전류가 음($i_L < 0$)인 경우에는 $v_{SM} - Q_4 - S_3 - v_{DC} - S_2 - L - Q_1$ 의 경로를 통해 흐

른다. v_{DC} 의 전압이 v_{SM} 과 비교하여 매우 작아서 무시할 수 있다고 가정하면 시험 전류 i_L 은 다음 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$i_L = i_L(t_{0d}) + \frac{1}{L} \times (-v_{SM}) \times (t - t_{0d}) \quad (2)$$

여기서, t_{0d} 는 전류 하강(down) 이전 모드가 종료하는 시각

3) 전류 환류모드

인덕터에 영(Zero) 전압이 인가되면 인덕터에 흐르는 전류가 일정하게 유지되는 환류모드로 동작한다. 환류모드를 만들기 위해 Q_1 과 Q_3 는 턴-온, Q_2 와 Q_4 는 턴-오프한다. Q_2 와 Q_4 를 턴-온, Q_1 과 Q_3 을 턴-오프 하는 스위칭 조합을 이용하여 영전압을 발생시킬 수도 있다.

4) 손실 보상

시험 전류가 흐르는 동안 선로저항, 인덕터의 직렬 등가 저항, 그리고 IGBT의 손실로 인하여 서브모듈 커패시터의 에너지가 방전하므로 v_{SM} 의 크기가 감소한다. 손실 성분은 시험전류의 극성과 반대 극성의 전압으로 나타나며 그 크기는 수~수십[V]정도가 된다. 그림 5에서 $S_1 \sim S_4$ 로 구성되는 인버터 출력전압의 극성을 시험전류로 인하여 발생하는 전압강하 성분의 극성과 일치시킴으로써 손실을 보상할 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

표 1은 50[MVA], 14.4[kV]급 MMC-STATCOM을 시험하기 위한 성능시험회로의 시뮬레이션 파라미터이다. 그림 4의 표기된 회로 파라미터를 이용하였다.

제안하는 성능시험회로에서 손실 성분을 보상하는 전원공급장치의 출력 전압 크기는 서브모듈을 구성하는 IGBT의 턴-온 시 등가 전압원 V_{th} 와 등가 저항 R_{eq} 의 크기에 의하여 결정되기 때문에 실제 IGBT의 파라미터를 시뮬레이션에 반영하여야 한다.

그림 7은 시뮬레이션에 사용한 IGBT (Infineon: FZ3600R17HP4)의 등가 턴-온 저항을 구하기 위해 사용한 턴-온 시 $v-i$ 특성곡선이다. 정상 동작시 IGBT의 접합점 온도를 150[°C]로 가정하였으며 0.85[V], 0[A] 지점과 1.9[V], 2000[A] 지점을 직선으로 연결하여 턴-온시의 등가 저항값을 구하였다. 동일한 방법으로 IGBT 모듈에 구성된 역병렬 다이오드(FWD)의 파라미터를 구하여 시뮬레이션에 반영하였다. 인덕터(L)의 값은 STATCOM의 서브모듈 커패시터의 충·방전 에너지 크기와 STATCOM 동작시 Δv_{SM} 값을 이용하여 설계하였으며, 커패시터의 크기는 Δv_{DC} 가 1[%] 이하가 되도록 설계하였다.

TABLE I
SIMULATION PARAMETERS

| Parameter | Value | |
|---|----------------|--------------------|
| v_{DC} | 20 [V] | |
| v_{SM} | 1000 [V] | |
| i_{L_peak} | ± 1800 [A] | |
| L | 3.63 [mH] | |
| C | 670 [mF] | |
| IGBT (FZ3600R17HP4) | R_{eq} | 0.53 [m Ω] |
| | V_{th} | 0.85 [V] |
| FWD (FZ3600R17HP4) (Free Wheeling Diode) | R_{eq} | 0.38 [m Ω] |
| | V_{th} | 0.85 [V] |

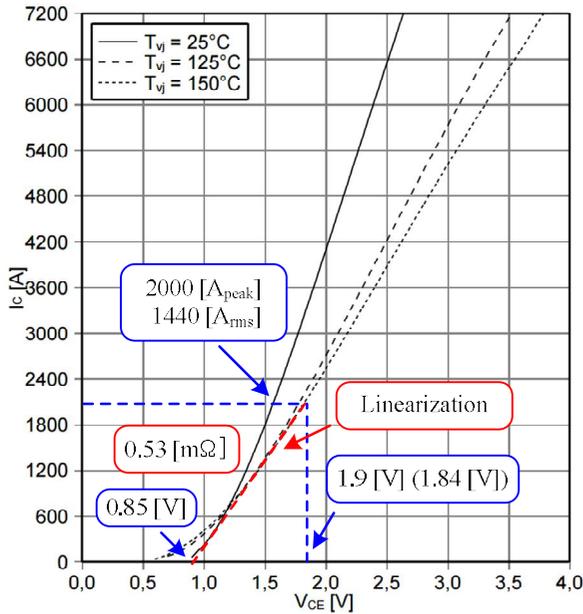


Fig. 7. IGBT v - i characteristics (FZ3600R17HP4).

그림 8은 제안하는 성능시험회로의 동작 파형이며, 전류 크기를 나타내는 세로축은 $-2 \sim 2$ [kA] 범위를 나타내었다. 그림 3에 나타난 각 스위칭 소자 전류와 비교를 위하여 그림 2에 나타난 스위치 전류의 방향으로 파형을 나타내었다. Q_1 과 Q_4 스위칭 소자에 흐르는 전류는 영점(그림 8의 점선)을 기준으로 다이오드와 IGBT의 극성이 반대로 나타난다. 서브모듈의 입력전류인 i_L 의 파형이 정현파와 일치하지는 않지만 각각의 IGBT가 스위칭할 시점에서의 전류의 크기는 정현파인 경우와 동일하므로 IGBT의 도통 및 스위칭 특성을 비교자하는 성능시험 측면에서는 동일한 효과를 나타낸다. 따라서 제안하는 성능시험회로는 실제 STATCOM 동작 시와 유사한 전류를 모의할 수 있다.

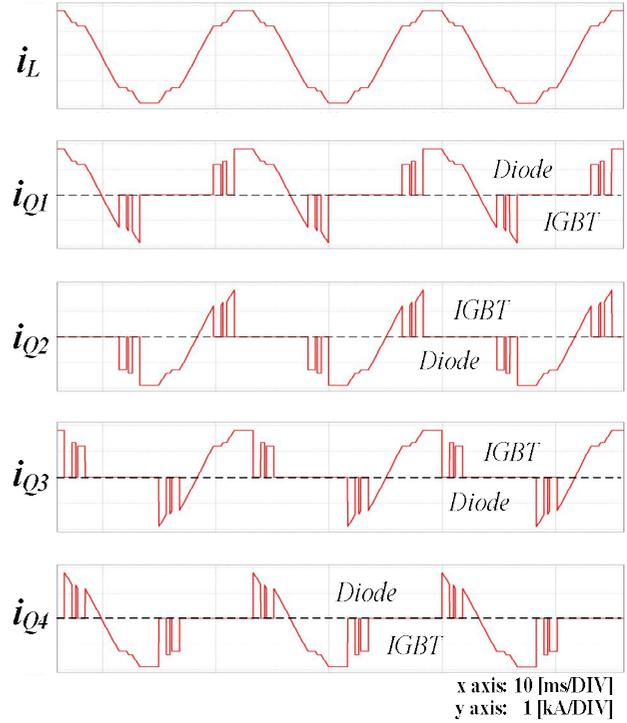


Fig. 8. Simulation waveforms of submodule currents.

TABLE II
EXPERIMENT PARAMETERS

| Parameter | Value | |
|--|--------------|-------------------|
| v_{DC} | 8 [V] | |
| v_{SM} | 50 [V] | |
| i_{L_peak} | ± 15 [A] | |
| L | 5 [mH] | |
| C | 20 [mF] | |
| IGBT (FM2G200US60) | R_{eq} | 1.6 [m Ω] |
| | V_{th} | 0.62 [V] |
| FWD (FM2G200US60) (Free Wheeling Diode) | R_{eq} | 1.6 [m Ω] |
| | V_{th} | 0.6 [V] |

5. 실험 결과

밸브 성능시험회로의 동작을 확인하기 위하여 축소모형세트를 제작하여 실험을 수행하였다. 그림 9는 축소모형 실험세트이며 표 2에 축소모형에 대한 실험 파라미터를 나타내었다. 그림 9의 DUT (Device Under Test)는 IEC 62927에서 규정하고 있는 최소의 레벨 개수인 3개의 서브모듈로 구성되어 있다.

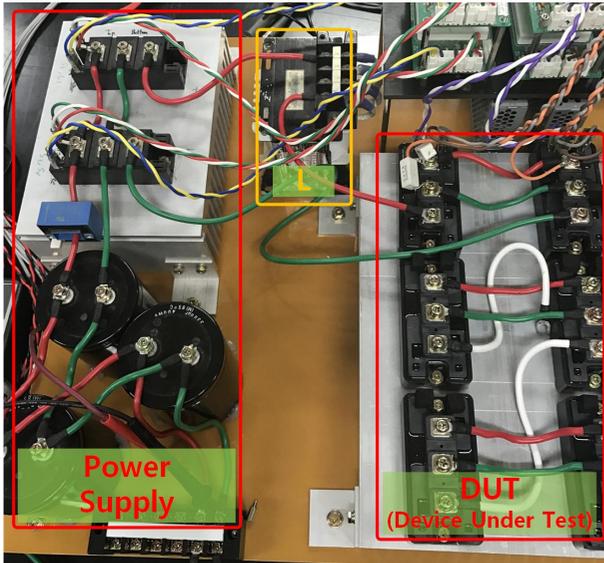


Fig. 9. Scale-downed setup.

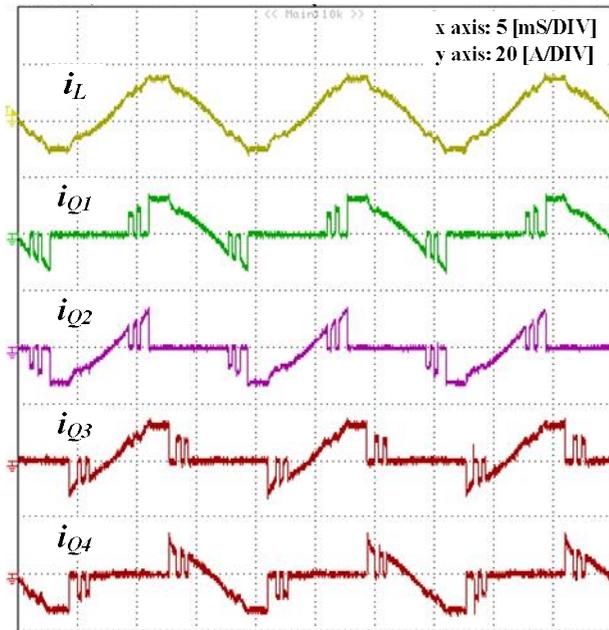


Fig. 10. Experimental waveforms of submodule currents 5[mS/DIV], 20[A/DIV].

성능시험시 power supply 에서 손실 성분을 보상하며 이 때, power supply 의 DC 전압은 약 8[V]이다. IGBT는 Fairchild 사의 FM2G200US60 을 사용하였으며, Ti 사의 TMS320 F28335 를 이용하여 스위칭 신호를 생성하였다.

그림 10 은 축소모형에 대한 실험 파형이다. 시간축과 수직축의 스케일은 각각 5[mS/DIV], 20[A/DIV] 이다.

그림 8 에 나타난 시뮬레이션 파형과 비교하여 크기는 다르나, 스위칭 소자에 흐르는 전류 패턴은 거의 동일함을 확인 할 수 있으며, '2. MMC-STATCOM 동작시 전류파형' 에서 설명한 i_L 의 특성을 제대로 모의하는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 IEC 62927 에서 요구하는 MMC 기반의 STATCOM용 밸브의 성능시험회로를 제안하였다. PSCAD 시뮬레이션을 통하여 50[MVA] 급 MMC-STATCOM 을 구성하는 서브모듈 스위치의 전류 패턴을 분석하였다. 이 전류와 동일한 전류를 흘릴 수 있는 밸브 성능시험회로를 제안하였다. 제안한 회로의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 서브 모듈 입출력 전류의 크기와 모양이 실제 STATCOM 동작 전류와 매우 유사함
- 성능시험시 시스템에 공급되는 전력은 IGBT 와 인덕터 및 선로에 의한 손실 성분만 공급하면 되기 때문에 성능시험설비의 소형경량화 및 저비용화가 가능함
- 손실 공급용 인버터의 DC 전압원의 크기가 수 ~ 수십 [V] 에 불과함
- 다수의 서브모듈을 직렬연결한 밸브들을 병렬 연결하여 시험하는 기존 성능시험회로에서 요구하는 고전압 전원설비가 필요 없음

제안하는 성능시험회로를 이용하여 50[MVA] 급 MMC-STATCOM 의 밸브에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며 축소모형 실험을 통하여 타당성을 입증하였다. 제안하는 성능시험회로는 MMC 를 기반으로 하는 STATCOM 시스템의 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] C. Duan, W. Fang, L. Jiang, and S. Niu, "FACTS devices allocation via sparse optimization," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 31, No. 2, pp. 1308-1319, Mar. 2016.
- [2] M. Sahraei-Ardakani and S. A. Blumsack, "Transfer capability improvement through market-based operation of series FACTS devices," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 31, No. 5, pp. 3702-3714, Sep. 2016.
- [3] C. K. Lee, J. S. K. Leung, S. Y. R. Hui, and H. S. H. Chung, "Circuit-level comparison of STATCOM technologies," *Journal of Power Electronics*, Vol. 18, No. 4, pp. 1084-1092, Jul. 2003.
- [4] H. Akagi, S. Inoue, and T. Yoshii, "Control and performance of a transformerless cascade PWM STATCOM with star configuration," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 43, No 4, pp. 1041-1049, Jun./Aug. 2007.
- [5] Fang Z. Peng and Jin Wang, "A universal STATCOM with delta-connected cascade multilevel inverter," *IEEE PESC'04*, pp. 3529-3533, Jun. 2004.

- [6] R. E. Betz and T. Summerst, "Using a cascaded h-bridge STATCOM for rebalancing unbalanced voltages," *7th International Conference on Power Electronics*, pp. 1219-1224, Oct. 2007.
- [7] J. I. Y. Ota, Y. Shibano, N. Niimura, and H. Akagi, "A phase-shifted-PWM D-STATCOM using a modular multilevel cascade converter (SSBC) - Part I: modeling, analysis, and design of current control," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 51, No. 1, pp. 279-288, Jan./Feb. 2015.
- [8] IEC Std., "IEC 62927 Ed.1: Voltage sourced converter (VSC) valves for static synchronous compensator (STATCOM) - Electrical Testing," *IEC*, 2015.



이진희(李鎭熙)

1976년 7월 12일생. 2003년 서울과학기술대 제어계측공학과 졸업. 2005년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2005년~2006년 동아일렉콤 전원연구소 연구원. 2006년~2013년 (주)효성중공업연구소 책임연구원. 2013년~현재 LS산전 책임연구원.



김영우(金榮佑)

1982년 3월 5일생. 2009년 서울과학기술대 제어계측공학과 졸업. 2012년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2012년~현재 LS산전 전임연구원.



배종우(裴鍾佑)

1969년 6월 15일생. 2008년 동의과학대 평생교육원 전기공학과 졸업. 2010년 부경대학교 전기공학과 졸업(석사). 2013년 동 대학원 수료(박사). 2015년~현재 한국폴리텍대학 스마트전기과 교수.



정재헌(鄭在憲)

1981년 10월 19일생. 2007년 부경대 공대 전기제어공학부 졸업. 2009년 부경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2015년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2015년~현재 부경대 박사후 연구생.



노의철(魯義哲)

1960년 8월 2일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공박). 1997년~1998년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 2005년~2006년 미국 University of California-Irvine 방문교수. 1995년~현재 부경대 전기공학과 교수. 당 학회 부회장.



정용호(鄭容昊)

1960년 5월 29일생. 1983년 한양대 공대 전자공학과 졸업. 1985년 KAIST 공대 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1994년~1995년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문연구원. 1985년~현재 LS산전 연구위원.



백승택(白承澤)

1971년 11월 24일생. 1997년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2006년~2010년 (주)효성중공업연구소 수석연구원. 2010년~현재 LS산전 수석연구원.