

축소모형에 의한 STATCOM의 전압안정도 개선효과 분석

한 병문, 김 희중, 박 지용*
 명지대학교 전기공학과

Improvement Analysis of The Voltage Stability of STATCOM
 by Scaled Hardware Model Test.

Byung-Moon Han, Hee-Jung Kim, Ji-Yong Park
 Myong Ji University Dept. of Electrical Engineering

Abstract - This paper describes an experimental results to analyze the dynamic characteristics of STATCOM, which is connected to the ac system for improving the voltage stability. The experimental results confirms that the scaled model for STATCOM operates correctly by the conceived control algorithm and properly compensates and regulates the bus voltage at the common connection point.

1. 서 론

최근 혁신적으로 발전하는 전력전자기술과 컴퓨터에 의한 고속제어를 통해 전력계통의 운용효율을 증대시키기 위해 미 전력연구원에서 제안한 프로젝트가 FACTS 이다[1]. FACTS는 초창기에는 수동소자와 싸이리스터 스위치를 이용한 방식으로 접근이 시도되었으나 최근 전력용반도체기술의 획기적인 발달로 인버터방식으로 활발한 연구가 전 세계적으로 추진되고 있다.

인버터식 FACTS 설비로 현재 미국과 일본에서 상용화 단계에 있는 것이 STATCOM(static synchronous compensator)이다[2,3,4]. STATCOM은 전력계통의 전압안정도를 증대시키고 부하나 선로에서 발생하는 무효전력을 연속적으로 제어하는 기능을 한다.

본 논문에서는 STATCOM의 축소모형을 제작하여 기본동작과 제어기의 동작을 검증하고 이 축소모형이 모선의 전압을 조정하는 기능을 실험적으로 확인하고 그 결과를 기술하였다. 축소모형은 2KVA용량으로 제작되었으며 제어알고리즘은 마이크로프로세서 80C196KC를 이용하여 구현하였다. 모선의 전압을 조정하는 기능을 시험할 때는 교류전원과 부하사이의 리액터를 삽입하여 모선의 단락용량을 감소시켰으며 모선의 리액터를 가변하므로써 무효전력보상기의 동특성을 측정하는데 역점을 두었다.

2. 본 론

2. 1. 전압안정도 개선원리

그림 1은 전압안정도 개선의 기능을 설명하기 위한 간단한 계통도이다. E는 모선전압을 나타내며 V는 부하단의 전압 즉 전압의 안정화를 도모하는 대상의 전압이다. 이 사이를 전

압 강하를 야기하는 선로임피던스 Z_s로 등가하였고 부하는 어드미턴스 Y_L로 나타내었으며 보상기는 제어대상 선로에 병렬로 연결되어 있다.

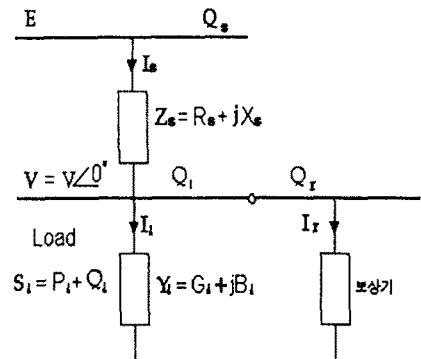


그림 1. 전압안정도 개선의 기능을 설명하기 위한 간단한 계통도

우선 모선과 대상선로점사이의 전압을 ΔV 라 하면 이는 다음식과 같이 표현할수 있다.

$$\Delta V = E - V = Z_s I_L \quad (1)$$

$$S = VI^*, S^* = V^* I \quad (2)$$

$$I_L = \frac{P_L + jQ_L}{V} \quad (3)$$

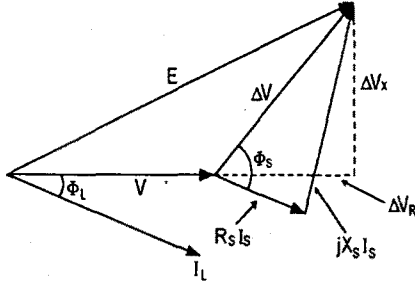
복소전력을 나타내는 식(2)으로부터 I_L을 구하면 식(3)과 같으며 이와 식(1)을 이용하여 ΔV를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta V &= R_s + jX_s \frac{(P_L + jQ_L)}{V} \\ &= \frac{(R_s P_L + X_s Q_L)}{V} + j \frac{(X_s P_L - R_s Q_L)}{V} \\ &= \Delta V_R + j\Delta V_X \quad (4) \end{aligned}$$

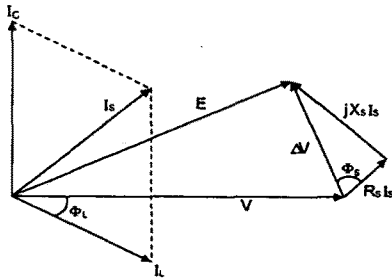
즉 실수부와 허수부의 성분으로 나타낼수 있다. 또한 ΔV는 E에서 선로임피던스 Z_s에 의한 전압강하로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta V = I_s R_s + jI_s X_s \quad (5)$$

보상기가 없을 경우 $I_s = I_L$ 이므로 ΔV 는 선로전류 I_s 와 부하전류 I_L 는 방향이 같음을 알 수 있다. 그림 2.(a)는 보상기가 부가되지 않았을 경우 전압안정도 벡터선도를 나타낸다.



(a) 보상전 전압안정도 벡터선도



(b) 보상후 전압안정도 벡터선도

그림 2. 전압 안정도 벡터선도

전압안정도 개선 가능한 보상기를 부가하였을 경우 다음 식이 성립한다.

$$I_s = I_L + I_c \quad (I_c \text{ 는 보상기전류}) \quad (6)$$

그림 2.(b)는 보상기가 부가되었을 경우를 나타낸다. 부하가 일정한 상태에서 I_L 의 크기와 용량성 보상기를 부가함으로써 보상기전류 I_c 의 크기를 조절하여 I_s 의 위상각을 변화시킬 수 있다. 따라서 식(5)로부터 ΔV 의 크기와 위상각이 변화하는데 이는 ΔV 의 조절로써 부하단에서도 모션전압 E 와 크기가 동일한 일정전압 V 를 유지하여 $|E| = |V|$ 전압안정도 개선 기능을 만족시킬수 있음을 알 수 있다. 그러나 E 와 V 간의 위상차는 점점 커지게 된다.

2. 2. 하드웨어 축소모형 및 실험

하드웨어 축소모형은 3상 220V 2KVA로 하였고 인버터의 스위칭 소자로는 DUAL IGBT를 이용하였으며 출력파형은

PWM방식으로 동작시켰다. 시스템의 제어장치로는 마이크로프로세서 80C196KC를 사용하였다. 정확한 각도 조절을 위해 계통전압의 영교차점을 검출하여 80C196KC의 외부 인터럽트로 사용하여 인버터 출력 PWM의 동작시점에 사용하였다. 이렇게 형성된 PWM을 계통의 전압과 동기시키는 것이 매우 중요하므로 실제 프로그램상의 시작점은 인버터동작을 하지 않았을 때 전압을 기준으로 진상의 전류가 손실분만큼 흐르게 되며, α 를 0° 로 했을 때 전압을 기준으로 진상의 전류가 기존의 손실분에 스위칭손실분만큼 조금 상승하는 프로그램 data table의 주소번지를 시작점으로 하였다. 무효전류를 제어하기 위해서 연결점의 전압 V_a , V_c 와 전류 I_a , I_c 를 검출하여 정좌표계로 변환한후 PLL회로부터 입력되는 기준전압의 각속도를 이용하여 회전좌표계로 변환하는 d-q변환을 행하였다. 그래서 구해진 I_q 성분을 그림 4의 제어블록선도와 같이 제어함으로써 전압안정도개선을 피할수 있다. 한편 PWM방식은 기존의 일반적인 기준사인파에 캐리어를 비교하는 PWM방법보다 그 성능이 우수한 3고조파 주입방식의 PWM변조법을 사용하였다. 3고조파 주입방식은 기준사인파에 그 크기가 1/6배인 3고조파를 합하여 이를 캐리어와 비교하는 방식이다. 이 방식으로 사용한 결과 예전의 방식보다 출력 전압, 전류의 파형이 보다 더 개선됨을 알 수 있었다. 스위칭 주파수는 제어기의 동작주기(326 μ s)를 감안하여 3KHz로 하였다. 그림 3은 계통인덕턴스에 대한 전압강하보상실험을 하기 위해 전압, 전류검출센서를 전원단에 설치하고 투입, 차단이 자유로운 가변리액터를 설치한 축소모형회로도이다. 그림 4는 전압안정도 개선시 제어블록선도이다.

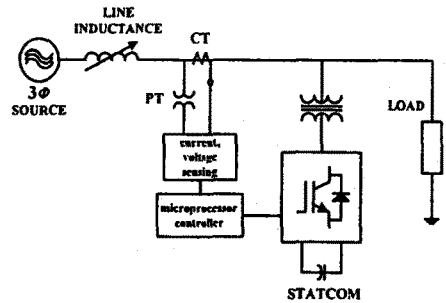


그림 3. 전압보상시의 축소모형회로도

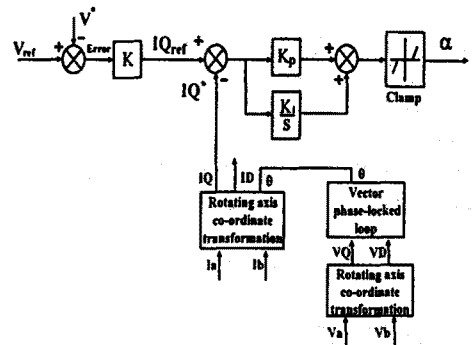
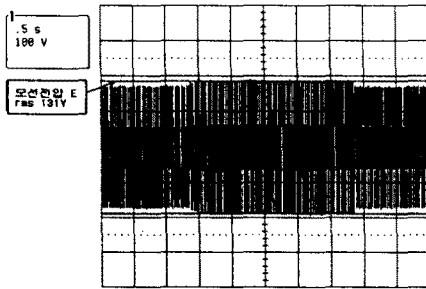
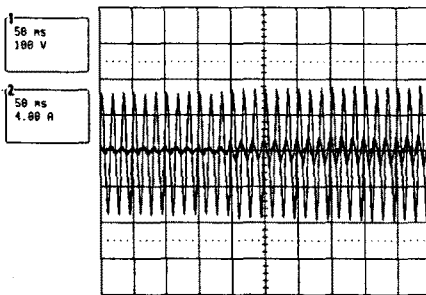


그림 4. 전압안정도 개선시 제어 블록도

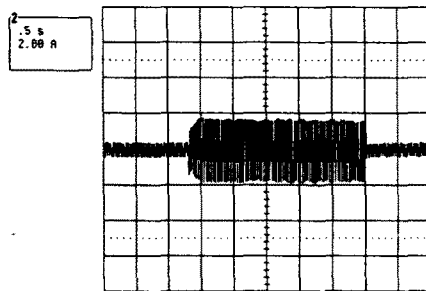
그림 5.(a)는 전압안정도개선실험을 하기 위해 STATCOM의 전원단에 40mH의 리액터를 삽입하여 약 RMS 10V의 상전압 강하를 발생시켰을 때의 기준모션전압파형과 STATCOM을 투입시켜 전압강하를 보상시킨 모션전압파형을 동시에 보여주고 있다. STATCOM투입시 모션전압강하 10V를 보상하여 전압강하가 없을 때의 RMS 모션전압 131V를 유지함을 볼 수 있다. 그림 5.(b)는 모션전압과 STATCOM의 보상무효전류를 나타내고 있는데 역시 전압강하가 즉각적으로 무효전류를 공급하여 모션전압을 안정화하는 것을 볼 수 있다. 그림 5.(c)는 그림 2.(b)에서 I_c 라 표현된 STATCOM의 보상무효전류파형을 나타내고 있다. 그림 5.(d)는 보상이가 부가되었을 경우 모션전류 I_s 를 나타낸다. 한편 계통인덕턴스의 연속적인 변화에 따른 STATCOM의 동특성을 확인하는 실험에서도 STATCOM이 연속적으로 모션전압을 보상하여 전압이 안정화되는 것을 실험적으로 확인하였다.



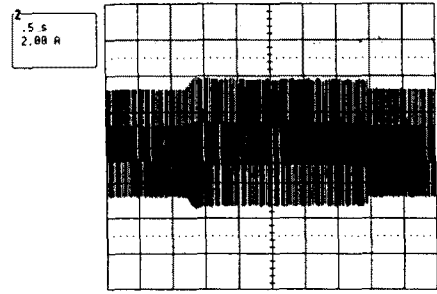
(a) STATCOM의 전압 안정도 개선 파형



(b) 모션전압과 STATCOM 보상전류 파형



(c) STATCOM 보상무효전류 파형



(d) 모션 전류 파형

그림 5. STATCOM 실험파형

3. 결 론

본 논문에서는 인버터식 무효전력보상기의 축소모형을 제작하여 기본동작과 제어기의 동작을 검증하고 이 축소모형이 모션의 전압을 조정하는 기능을 실험적으로 확인하고 그 결과를 기술하였다. 모션의 전압을 조정하는 기능을 시험할 때는 교류전원과 부하사이에 리액터를 삽입하여 모션의 단락용량을 감소시켰으며, 모션전압변화에 따른 무효전력보상기의 동특성을 측정하는데 역점을 두었다.

실험 결과에 의하면 본 논문에서 고안된 전압조정 알고리즘이 효과적으로 동작함을 확인할 수 있었으며, 특히 보상기의 동특성이 매우 양호함을 알 수 있었다. 금후의 연구과제는 직류모터에 의해 교류발전기를 직접 구동하고 여기서 생성되는 교류전력을 선로모형을 통해 상용전원에 연계한 후 선로중간점에 보상기를 병렬로 연결하여 전송 유·무효전력의 변동과 발전기의 동특성을 확인하는 것이다.

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 중기과제 연구비지원으로 이루어졌음 (과제번호 95-지-02)

4. 참고 문헌

- [1] N. G. Hingorani, "Flexible AC Transmission", IEEE SPECTRUM April, 1993, pp. 40-45.
- [2] C. W. Edward, et al, "Advanced Static Var Generator employing GTO Thyristors", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, NO. 4, Oct. 1988, pp. 1622-1627.
- [3] S. Mori, et al., "Development of A Large Static Var Generator using Self-Commutated Inverters for Improving Power System Stability", IEEE PES Winter Meeting, Paper No. 92-WM165-1PWRS, Jan. 26-30, 1992.
- [4] C. Schauder, et al, "Operation of 100MVar TVA STATCON", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997.
- [5] 한 병문, 박 종근, "EMTP에 의한 STATCON과 송전계통의 동적응동 분석", 대한전기학회논문지, 제46권 7호, pp. 991-997. 1997. 7.
- [6] 한 병문, 최 대길, "EMTP에 의한 STATCON과 송전계통의 동적응동 분석", 전력전자학회논문지, 제 3권 1호, pp. 77-84. 1998. 3.