장거리 전철선로의 전압안정화를 위한 4MVA급 TVR 장치

4MVA TVR System for Voltage Regulation of Long-distance Electric Train Transmission Lines

이홍원*, 이을재*†, 박성원**, 김재언***

Hong-Won Lee*, Eul-Jae Lee*†, Sung-Won Park**, Jae-Eon Kim***

초 록 장거리 전철선로의 전압변동은 선로에 분포하는 임피던스와 차량부하에서 소모되거나 회생되는 전류에 의한 전압의 강하/상승이 주원인이다. 선로에서 발생하는 전압변동을 감소시키기 위해서는 변전소간의 거리를 가깝게 하는 것이 요청된다. 하지만 운용의 경제성을 고려하면 선로의 길이를 길게 하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 중장거리 전철선로에서 발생하는 전압의 강하/상승을 저비용이면서 효과적으로 제어하기 위하여 4MVA급 단상 직렬형 TVR(Tap Voltage Regulator)장치를 적용하는 방법에 대하여 설명하고 시뮬레이션을 통해 효용성을 확인하였다.

주요어 : 전철선로, 전압변동, 회생전력, TVR, IGBT

1. 서 론

철도차량의 운행을 위해서는 전력공급을 위한 안정적인 전철선로가 필요하다. 국내 중장거리 전철선로에서는 25kV/60Hz의 단상 교류전압이 공통으로 사용된다[1]. 차량의 운행중에는 선로에 포함된 리액턴스 성분과 선로에 흐르는 전류에 의하여 무효전력과 전압강하가 발생하는데 선로의 길이가 길수록 전압의 변동이 크게 발생된다. 본 논문에서는 소용량의 TVR 장치(4MVA)를 이용하여 장거리 전철선로의 말단에서 차량의 운행시에 발생하는 전압의 강하 또는 회생전압의 상승을 억제하는 방법에 대하여 설명한다.

2. 본 론

2.1 TVR 장치의 회로 구성

근래에 분산전원 제어용으로 개발된 TVR 장치는 원래 특고압 3상 배전라인(22.9kV)의 말단 전압변동을 보상하기 위해 개발되었지만[3] 이를 단상구조로 변경하고 출력전압을 조정하여 전철선로에 적용하면 차량의 부하전류나 회생시 발생하는 전류로 인한 전압의 강하/상승을 효과적으로 제어할 수 있다.

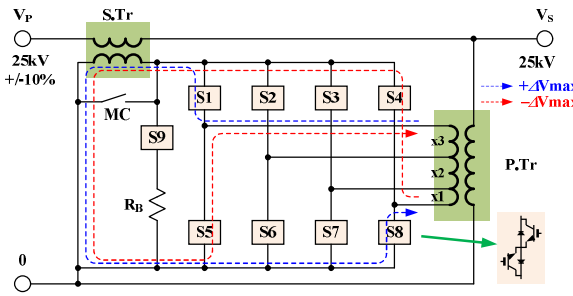

Fig. 1 Block diagram of TVR system for long-distance electric train transmission lines

TVR 장치는 그림 1에서 보이는 바와 같이 2조의 독립된 직/병렬 변압기(S.Tr/P.Tr)와 IGBT 등으로 구성된 9개의 양방향 스위치로 이루어진다. 이중에서 스위치 S1~S8을 이용하면 병렬 변압기에서 출력되는 다중 탭 전

† 교신저자: 이경산전주식회사(euljae@e-kyoung.com)
* 이경산전주식회사, 부설연구소
** 제룡전기주식회사, 부설연구소
*** 충북대학교, 전기공학과

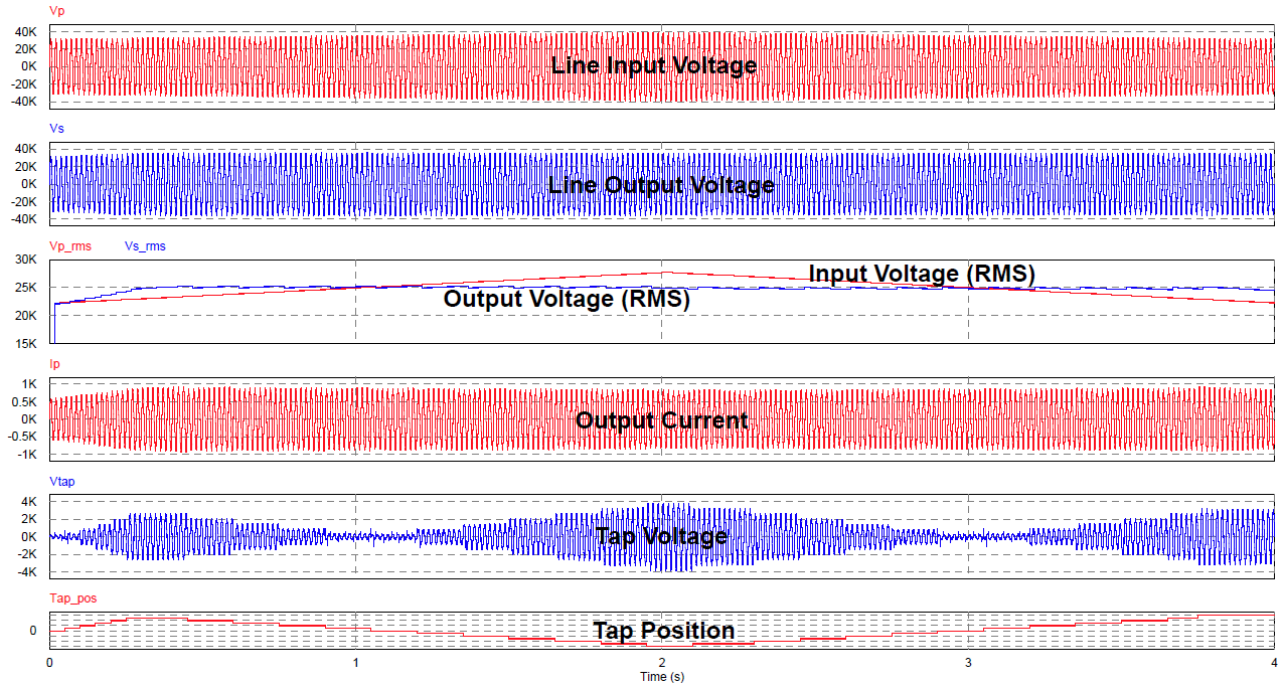

Fig. 2 Simulation results for line output voltage regulation of proposed TVR system

압에 대해 13조의 서로 다른 스위치 조합을 발생시키는 것이 가능하다[3]. 이에 따라 부호와 크기가 다른 전압이 직렬 변압기로 출력되어 선로의 전압을 순시적으로 증감하는 제어를 수행할 수 있다. 그림 2는 10%의 입력전압을 변동시켰을 때 제안된 TVR을 이용하여 고정된 출력전압이 발생하는 것을 시뮬레이션한 결과이다. 장치가 설치되는 지점을 총 선로길이의 1/2 지점으로 선정하면 TVR의 용량은 선로의 50% 이하가 되며 2/3 지점이면 33% 이하가 되므로 선로길이 축소를 위한 변전설비의 추가에 비하여 경제성 있는 대안이 될 수 있다.

Table 2 Specification of proposed TVR system.

Item	Specification	Remarks
Power	Single phase 4[MVA]	@25[kV]
Structure	S/P.Tr + 9 switches	Bi-dir switch
Device	IGBTs	400[kW]
Line input	19~29[kV]	
Regulation	±10[%] of line input	20.9~26.1[kV]
Tap level	13 steps	-6 ~ 0 ~ 6
Step voltage	416.7[V]	

3. 결 론

본 논문에서는 중장거리 전철선로의 전압 변동을 제어하기 위한 25kV/4MVA급 TVR 장치에 대하여 제안하였다. 제안된 장치는 9개의 양방향 스위치와 직/병렬 변압기를 이용하여 스텝형식의 출력전압 제어가 가능하다. 시뮬레이션을 통해 제안된 TVR 장치가 전철전압 변동제어에 적용이 가능함을 확인하였다.

참고문헌

[1] IEC 60850 (2014) Railway applications Supply voltages of traction systems.

[2] KR (2012) A study on Stability Analysis of Electric Train Transmission Lines, KRIC.

[3] S. Park, E. Lee, J. Kim (2020) Development of SVR based on Power Electronics Switching Device for Voltage Stabilization of Medium-Voltage Distribution System, KEPCO, R18DO01.

[4] P. Barkerk (2013) Distributed Solar Integration Experiences, 2013 Distributed Wind/Solar Interconnection Workshop, Golden, CO.

[5] H. Akagi, E. Watanabe, M. Aredes (2017) Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning, IEEE Press Wiley.