

EMTP MODELS를 이용한 전기철도 FACTS 설비의 제어 구현 연구

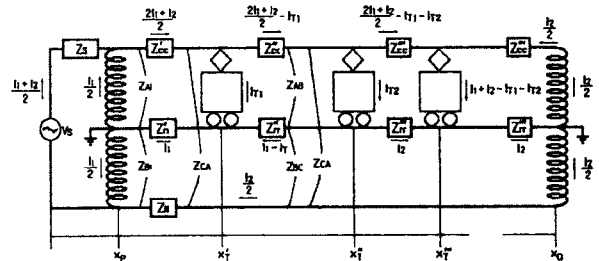
오민혁* 이병하
인천대학교 전기공학과

A Study on control realization of FACTS equipment in Electric Railway Systems using EMTP MODELS

Min-Hyuk Oh* Byung-Ha Lee
Department of Electrical Engineering, University of Incheon

Abstract - The purpose of this paper is to compensate the voltage drop of the power system in the AC Electric Railway Systems. Reactive power compensation is often the most effective way to improve system voltage drop. The suitable modeling of the electric railway system should be applied to the EMTP. the dynamic characteristics of 3-Phase Induction Motor in Electric Railway Systems is considered for precise modeling. it is shown through EMTP simulation using EMTP MODELS that voltage drop can be compensated effectively by STATCOM.

Key Words : voltage drop compensation, AC Electric Railway Systems, EMTP, MODELS



〈그림 2〉 선로임피던스 등가모델

1. 서 론

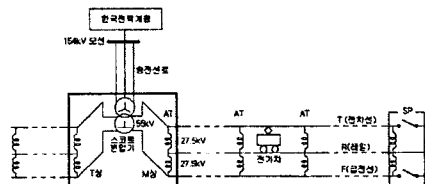
계통설비와 같이 점점 광대역화 되고 많은 이용자를 수송하는 전기철도에서 전기설비의 안정성과 효율적인 동작을 위해 FACTS설비의 더욱 개선된 제어기법의 적용이 필요하다. 최근 전기철도 계통에서 필연적인 전압강하, 전압 불평형, 고조파 및 역률 등의 전력품질 문제해결을 위해 FACTS(Flexible AC Transmission System)를 활용한 전기 철도급전 시스템의 적용에 관한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있는 실정이다. 본 연구의 궁극적인 목적은 전기철도 시스템에 급전 계통의 안정도 향상을 연구하고자 한다. 이를 뒷받침하기 위하여 ATP/EMTP를 사용하여 AT 급전시스템과 비선형 특성을 갖는 전기 철도부하를 모델링한다. 현재 진행되고 있는 전기철도의 운영관리와 제어에 있어서 전기 설비의 안전성과 기능이 더 향상되도록 전기설비 중 FACTS설비와 전기철도계통의 상호 연관성과 LQG제어기법을 적용할 수 있도록 EMTP를 이용하여 구현한다.

2. 시스템 모델링

교류 급전시스템을 해석하기 위해서는 그 구성요소들을 정확하게 이해하고 이들 각각에 대한 회로모델을 세워야 한다. 현재 우리나라에서 표준으로 사용하는 AT급전시스템의 구성요소를 전원계통, 스크트 변압기, 전차선로, 차량부하로 나누어 모델링한다

2.1 전기철도 교류 급전시스템 모델링

교류방식은 일반적으로 한전 변전소로부터 수전하는 상용 주파수 3상 전기를 변환장치에 의해 단상 교류전기를 전차선로에 공급하여 운전하는 방식이다. 교류방식의 특징은 대용량, 중·장거리 수송에 유리하며 에너지 이용률이 높고 사고시 선택 차단이 용이하며 전식의 우려가 없으나 통신유도장에 대책이 필요하다. 따라서 AT 급전방식은 변전소에서 급전선(Feeder)을 선로를 따라 가선하여 이 급전선과 전차선 사이에 약 10[KM] 간격으로 AT를 병렬로 설치 접속하여 변압기 권선의 중성점을 레일에 접촉하는 방식으로서 우리나라의 수도권 전철 및 중앙선 제천~영주, 영동선 영주~철암, 경부고속철도의 급전방식으로 채택되고 있으며 앞으로 계획되는 전철구간에도 이 방식이 채용된다.



〈그림 1〉 단권변압기 급전방식

2.1.1 전차선로 모델링

AT 급전방식의 전차선로는 차량에 전력을 직접 공급하는 전차선과 레일 그리고 귀환전류를 변전소로 유인하는 급전선 등 3가지 도체군으로 구성되어 있다. 전차선 도체군은 전차선과 조가선으로 이루어지고 레일 도체군은 레일, 접지케이블, 가공보호선, 대지회로 등으로 이루어진다. 이들 각 도체들은 자체의 임피던스뿐만 아니라 도체간에 작용하는 상호임피던스도 포함하고 있어 전차 선로에 대한 등가모델은 그림2와 같다.

2.1.2 차량부하

차량의 소모전력 및 회생전력을 계산하기 위해서는 차량의 견인력과 제동력, 차량의 입출력 효율이 필요하며 이는 다음과 같이 구한다.

- (1) 차량의 견인력과 제동력
열차제원과 선로조건을 적용하여 차량 견인력(제동력)을 포함한 운전특성을 계산하기 위한 운전방정식은 다음 미분 방정식의 형태로 주어진다.

$$W(1 + X) \frac{dV}{dT} = F - R, F = W(1 + X) \frac{dV}{dT} + R$$

여기서, W : 열차의 총 중량
 X : 회전부분에 관계되는 판계계수
 F : 차량의 견인력(제동력)
 R : 운행저항

(2) 차량의 운행저항

열차가 타행운전하고 있다면 속도가 저하된다. 동력차에서 발생하는 인장력은 차량의 저항력을 이겨내기 위하여 소비되어지는 것이고, 이때의 저항력을 열차저항 이라고 하며 대표적으로 출발저항, 구배저항, 곡선저항, 터널저항 등으로 분류된다.

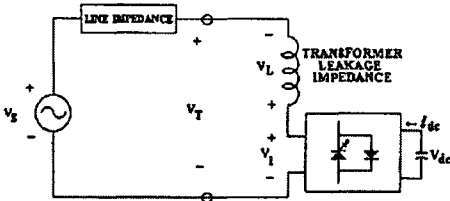
2.2 FACTS설비

최근 전기철도 계통에서 필연적인 전압강하, 전압 불평형, 고조파 및 역률 등의 전력품질 문제해결을 위해 FACTS(Flexible AC Transmission System)를 활용한 전기 철도급전 시스템의 적용에 관한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있는 실정이다. 일본을 포함한 일부 선진국에서는 AT(Auto Transformer) 급전계통에 단상 SVC(Static Var Compensator)나 STACOM을 설치하여 전압강하 및 역률을 보상하는 연구가 진행되었고 일부 운전 중에 있다. 따라서 현재 국내에서 진행되고 있는 전기철도의 보다 나은 운전을 위해서는 이러한 연구가 절실한 실정이다. 이 FACTS의 주요한 목적은 전력시스템의 전압을 신속히 제어하고, 기존의 송전선 경로에서의 전력흐름을 제어하는 것이다. 인버터 개념의 FACTS 제어기는 대표적으로 정지형 동기보상기(STATCOM : Static Compensator)와 정지형 직렬보상기(TCSC : Static Synchronous Series Compensator), 통합조류제어기(UPFC : Unified Power Flow Controller)등이 있다. STATCOM은 송전선로의 전압을 주로 제어할 목적으로 사용되며, TCSC는 정전압 송전계통에서의 송전용량을 증대시키고 조류분포를 적절히

안배할 목적으로 사용되며, UPFC는 송전선로의 유·무효전력과 모션전압을 제어할 수 있는 조류제어기이다. 본 연구에서는 전기철도 시스템에 STATCOM 설비를 PID 제어기법 적용하여 제어를 설계함으로써 전기철도급전 계통의 전압제어의 향상을 연구하고자 한다.

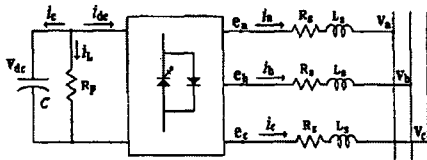
2.3 STATCOM의 모델링

STATCOM은 출력전압의 크기와 위상을 신속히 제어할 수 있는 교류전압원으로 간주할 수 있으며, 전압원 인버터, 직류캐패시터, 결합용변압기, 그리고 펄스발생 및 제어회로로 구성되어 있다. 변압기의 권선과 인버터의 손실이 있어 이 손실을 보상하기 위해 약간의 유효전력을 공급해야 하므로 인버터의 출력전압은 단자전압과 약간의 위상차를 갖는다.



〈그림 3〉 송전계통과 STATCOM의 단상 개념도

그림 2는 무효전력보상기의 벡터선도로 인버터전압 V_T , 충전압 V_T , 리액터 전압 V_L , 그리고 선로의 전류 I 를 위상각 α 에 대한 크기와 위상의 상호관계를 나타낸 것이다.

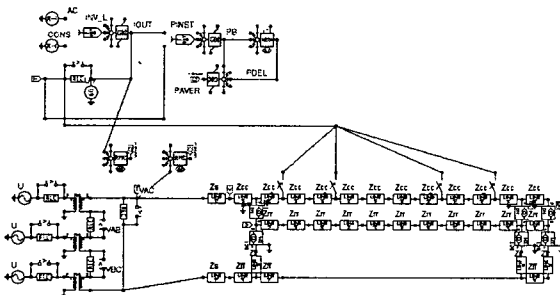


〈그림 4〉 송전계통과 STATCOM의 등가회로

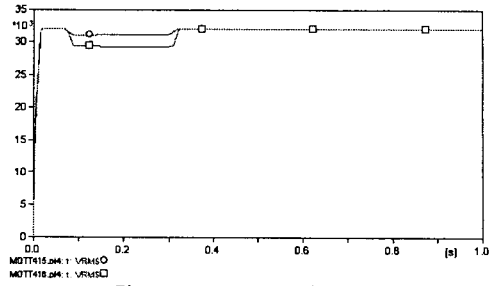
그림 3은 STATCOM이 송전선로와 연결된상태를 3상 등가회로로 나타낸 것이다. 이 그림에서 직렬리액턴스 L_s 는 실제의 전력용 변압기의 인덕턴스를 나타내고, 직렬저항 R_s 는 인버터와 변압기의 전도손실을 나타낸다. 또한 캐패시터와 병렬로 연결된 저항 R_p 는 인버터의 스위칭 손실을 나타낸 것이다.

3 시뮬레이션 및 결과 검토

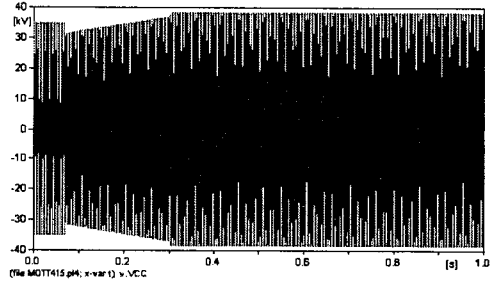
EMTP를 사용하여 STATCOM과 AT교류급전시스템 그리고 기동특성을 고려한 차량부하를 modeling하여 기존의 연구에서 다루어 지지 않았던 부하특성을 고려하였고 MODELS를 사용하여 제어를 구현하였다. 전기철도 운영방식에 따라 AT 급전시스템 한구간에 전차 한대가 있을 때를 고려하여 짧은 시간에 부하의 변화를 modeling하였다. 그림4는 AT급전시스템의 scott변압기를 modeling하여 전기철도의 전차선, 레일, 급전선의 임피던스를 거리에 따라 구분하였다. 좌상부에 가변부하모델링이 전차의 부하특성을 고려한 것이다. 그리고 EMTP의 또 다른 관련 TOOL인 ATPCC를 이용하여 STATCOM을 전원에 추가하여 추가하기 전의 모델과 비교 하였다.



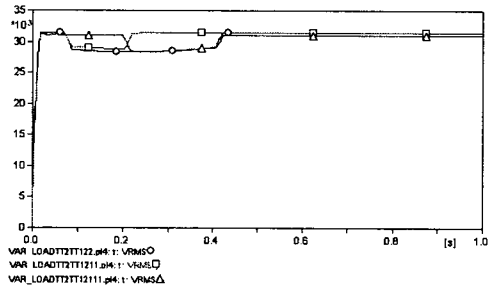
〈그림 5〉 EMTP를 이용하여 모델링한 AT교류철도 시스템



〈그림 6〉 STATCOM 보상시 전압강하 (□ : STATCOM 보상시, ○ : 일반적인 상태의 전압강하)



〈그림 7〉 STATCOM 보상시 전압파형



〈그림 8〉 각각의 구간과 거리를 조정한 결과

4. 결 론

EMTP 프로그램을 적용하여 전기철도 시스템을 분석함으로써 실제와 근접한 시뮬레이션 결과를 도출하였고 EMTP MODELS를 적용하여 제어를 더 효과적으로 구현할 수 있게 하였다. 현 AT 급전시스템을 고려하여 STATCOM을 설치하였을 때 부하의 변화에 따라 전압강하 보상이 이루어 지며 출력에 미치는 영향을 확인할 수 있다. STATCOM을 전기철도 수변전 설비 측에 연결하였을 때 전체적인 전압의 특성이 향상됨을 확인할 수 있다. 추후 세부적으로 전자기 유도 현상으로 인한 급전시스템에 미치는 영향을 고려한 연구가 더 수행될 필요가 있다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Carson W. Taylor, "Power System Voltage Stability", 1994 by McGraw Hill Inc.
- [2] Tsai-Hiang Chen and Yen-Feng Hsu, "Systematized short-circuit analysis of a 25kv electric traction network", Electric Power System Research, Vol. 47, No 2, pp.133-142, 15. October, 1998.
- [3] Hackwell, D. et. al, "The use of static shunt Compensation to upgrade existing electrified Railways". International Conference on Main Line Railway Electrification, pp 232-235, Sep. 1989.
- [4] Hase, S-I. et. al. "Compensation of voltage drop using static Var compensator at sectioning post in AC electric railway system". Power Conference 1997, Vol. pp. 955-960, Aug. 1997.
- [5] 최준호 외 6인공저 "전기철도 계통에 순간전압강하 보상장치 적용에 관한 연구" 조영·전기설비학회 논문지 제 17권 제6호, pp 95-104, 2003년 11월.
- [6] 정현수의 2인"STATCOM을 이용한 교류 전기철도 급전시스템의 전압강하보상" Journal of KIEE, Vol. 2002