

고속전철 회생 제동시 스코트 변압기의 계량오차 보정 알고리즘

윤동현*, 신동구*, 최의성**, 차한주***
 (주)신동파워텍*, (주)데벤테론코리아**, 충남대학교***

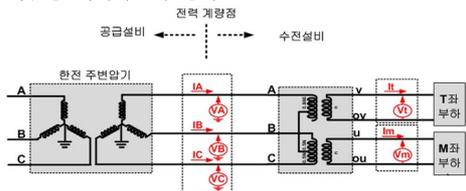
Algorithm for the correction of errors on metering method in the scott transformer by regenerative braking in high speed trains

DongHyun Yun*, Dong-Gu Shin*, Eui-Seong Choi**, HanJu Cha***
 Shindong Powertec CO., LTD*, DEWETRON KOREA., LTD**, Chungnam National University***

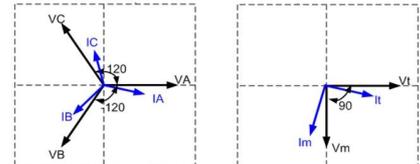
Abstract - 일반적으로 국내의 대부분의 전기철도는 단상 교류식이므로 전력계통의 3상 154[kV]을 스코트 변압기를 통해 단상 55[kV]로 변환하여 단상 교류로 공급받는다. 전기철도는 기동 특성 및 제동 특성에 따라 부하의 급증과 급감, 임의의 한 급전 구간 내에 운행 일정 중복으로 다수의 전기철도 차량이 운행될 경우 상호간 전기적 특성이 수시로 변한다. 이와 같은 전기적 특성이 수시로 변하는 전력량은 스코트 변압기에서 전력량을 측정하게 된다. 스코트 변압기 1차측 3상 전력이 2차측 단상 전력으로 변환하는 전기기기이며, 전동차가 제동시 회생전력이 발생하는데 이로 인해 스코트변압기의 1차측과 2차측 위상이 다르게 발생되어 계량오차가 발생하는 문제점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 계량오차의 문제점을 해결하기 위해, 스코트 변압기 2차측 기준으로 전압과 전류의 위상차를 계산하여 회생전력과 수전전력을 정확하게 계량하여 오차를 판단하고 보정하는 알고리즘을 제시하고자 한다.

1. 서 론

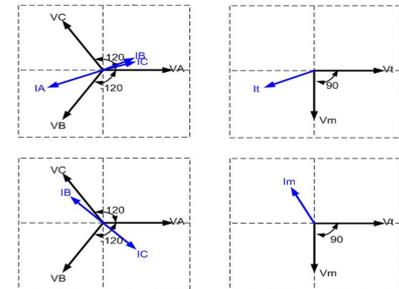
전기철도의 교류급전계통은 흡상변압기를 이용한 흡상급전방식, 단권 변압기를 이용한 단권급전방식, 스코트 변압기를 이용한 상하선별 이상 급전방식과 방면별 이상 급전방식으로 볼 수 있으며, 국내에서는 전철용 결선으로 가장 많이 사용되고 있는 스코트 변압기 결선방식을 사용하고 있다. 즉, 일반적으로 국내의 대부분의 전기철도는 단상 교류식이므로 전력계통의 3상 154[kV]을 스코트 변압기를 통해 단상 55[kV]로 변환하여 단상 교류로 공급받는다. 이에, 전기철도는 기동 특성 및 제동 특성에 따라 부하의 급증과 급감, 임의의 한 급전 구간 내에 운행 일정 중복으로 다수의 전기철도 차량이 운행될 경우 상호간 전기적 특성이 수시로 변한다[1]~[3]. 이와 같은 전기적 특성이 수시로 변하는 전력량은 스코트 변압기에서 전력량을 측정하게 된다. 그림1은 일반적인 스코트 변압기 계량 방법이며, 스코트 변압기는 3상 전력을 2상 전력으로 변환하는 변압기이므로 고속전철의 상행선과 하행선에 각각 단상부하 2개가 연결되어 있다. 이에, 전동차 제동시 회생전력이 발생되어 스코트변압기의 1차측과 2차측 전압과 전류의 위상차가 발생부하로 발생되어 계량오차가 발생하는 문제점이 있다. 즉, 그림1에서 수전설비의 스코트변압기의 계량측정방법은 스코트변압기 2차측의 T좌와 M좌의 전압, 전류를 측정하여 계량하는 방법인데 이 경우 스코트 변압기의 손실을 측정할 수 없다. 또한, 정상적인 수전계량은 그림2의 벡터도와 같이 T좌의 회생제동 부하를 제외하고, 전압과 전류의 위상차 90도 이내로 M좌 수전부하만 계량해야 한다. 그러나 현재 스코트 변압기 1차 3상 전력계량방법은 그림 3에서와 같이 전압과 전류의 위상차 90도 초과하는 회생제동 부하를 모두 적용된 방식으로 계량하여 계량오차가 발생된다. 이유는, 현재 한전에서는 3상전력합산방식을 상순합산방식과 벡터합산방식을 사용하고 있다. 상순합산방식은 상별전력 값이 “-”값 일 때 “0”의 값으로 합산하는 방식이며, 벡터합산방식은 상별전력 값이 “-”값 일 때 “-”의 값으로 합산하는 계량방식이다. 이에 국내 고속철도에서의 전력계량 측정방법은 상순합산방식을 적용하고 있어, 고속철도 제동시 회생전력을 “0”으로 합산되어 과다계량 됨으로써 계량오차가 발생된다. 따라서, 본 논문에서는 기존의 스코트변압기에서 회생제동시 발생하는 계량오차를 해결하기 위해, 기존 변압기 1차측 계량측정방법을 이용한 계량장치와 3상 전력을 2상 전력으로 변환하는 방법을 제안하고 이를 이용하여 전압과 전류의 위상차를 계산하여 계량오차를 판단하고 보정하는 알고리즘을 제시하고자 한다.



〈그림 1〉 고속전철용 스코트 변압기의 1차 계량점



〈그림 2〉 그림 1에 의해 측정된 1-2차측 벡터도



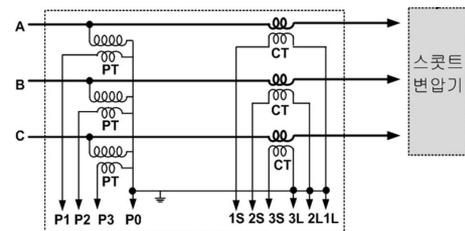
〈그림 3〉 회생 제동시 스코트 변압기 1-2차 벡터도

2. 본 론

2.1 기존 변압기 계량 측정방법을 이용한 계량장치

2.1.1 3상4선 계량장치

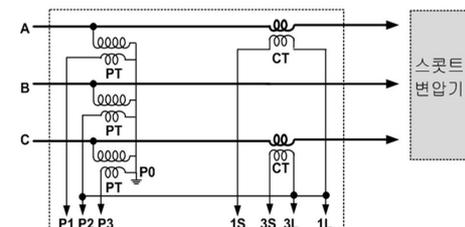
그림 4는 3상4선 계량장치로 변성기(PT) 3개, 변류기(CT) 3개를 상별로 설치되어 있고, 고속전철 특고압 선로는 1차 전압이 154[kV]이고 계량장치는 스코트변압기 1차측에 설치하였다.



〈그림 4〉 스코트변압기 1차측 3상4선 계량장치

2.1.2 3상3선 계량장치

그림5은 3상3선 계량장치로 스코트 변압기 1차측에 구성되어 있고, A상과 C상에 변류기가 설치되어 있고, B상에는 변류기가 없다. 또한 위치적으로 스코트 변압기 1차에 3상3선 계량장치가 연결된 구조로 되어 있다.



〈그림 5〉 스코트변압기 1차측 3상3선 계량장치

2.2 계량장치를 이용한 2상 전력변환 방법

본 논문에서 제안된 2상 전력변환 방법은 2.1의 기존의 3상4선 및 3상 3선 계량장치를 이용하여 스코트변압기 2차측 회생부하 발생시 변압기 2차측 부하를 측정하지 않고, 스코트 변압기 1차측에서 3상4선 또는 3선 3선 방식으로 측정된 상별 전압과 전류를 이용해 3상 전력을 2상전력으로 변환하고자 한다.

2.2.1 3상4선 2상 전력변환 방법

그림 6의(a)에서 2상 전압 변환장치는 2개의 단상 변압기(PT)로 구성되어 있고, T좌는 1차 P1과 M좌는 1차 중성점에 전압비(N배)와 2차 Vt 전압비(n배)로 구성되고, M좌는 1차 P2와 P3사이 전압비(N배=0.5N+0.5N)로 직렬로 연결된 중성점 단자구조이고, 2차 Vm 전압비(n 배)으로 구성된다. 3상 전압(P1, P2, P3)을 2상 전압(Vt, Vm)으로 변환은 식(1), (2)와 같다.

$$V_t = (P1 - (\frac{P2+P3}{2})) \times \frac{N}{n} \quad (1)$$

$$V_m = (P2 - P3) \times \frac{N}{n} \quad (2)$$

여기서, P1/P2/P3: PT로 상별 측정된 전압

그림 6의(a)에서 2상 전류 변환장치는 3개의 단상 변류기(CT)로 구성되어 되어 있고, T좌는 1차 1S와 1L사이 전류비(N)과 2차 It 전류비(n)로 구성되고, M좌는 1차 2S와 2L, 3S와 3L 전류비(N배) 연결되고, 2S-2L의 2차 전류비(2n)과 3S-3L의 2차 전류비(2n)이 2S상 기준으로 2차측과 3L 2차가 연결되고, 2L의 2차와 3S의 2차가 병렬로 역결선 형태로 연결되어 있는 구조이다. 3상 전류(1S, 2S, 3S)을 2상 전압(It, Im)으로 변환은 식(3), (4)와 같다.

$$I_t = 1S \times \frac{N}{n} \quad (3)$$

$$I_m = (\frac{2S-3S}{2}) \times \frac{N}{n} \quad (4)$$

여기서, 1S/2S/3S: CT로 상별 측정된 전류

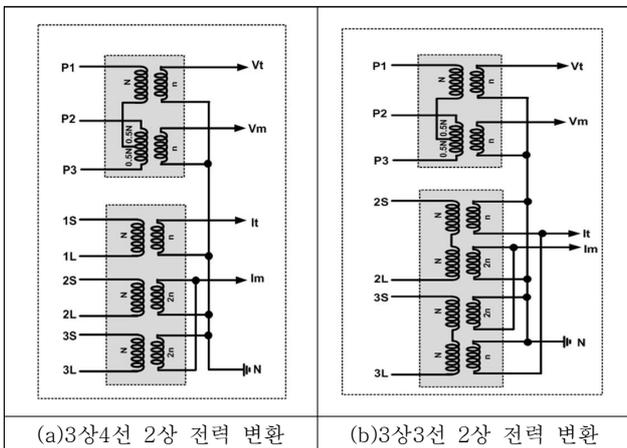
2.2.2 3상3선 2상 전력변환 방법

그림 6의(b)에서 3상4선과의 차이점은 변류기가 3개에서 2개로 감소하였다. 즉, A상과 C상에 전류검출이 가능하고, B상에 전류검출이 불가능하여 전류를 간접적으로 측정해야 된다. 이에 2상 전압 변환장치는 3상4선의 2상 전압 변환장치와 동일하며, 전류 변환장치는 단상 변류기는 (N/2n)과 (N/n)의 특징을 가지고 있다. 한편, 스코트 변압기의 1차 영상분이 없는 특징을 사용하여 A상 전류를 간접측정하기 위해서 B상과 C상 변류기를 이용해 A상의 전류를 측정(-B상과 -C상의 벡터합)하고, 1차와 2차 변류비를 곱하여 T좌의 전류(It)를 측정한다. 또한, M좌의 전류(Im)은 3상4선 방식과 동일하다. 따라서 3상3선 방식의 상전류(2S, 3S)을 이용하여 2상 전류(It, Im)로 변환은 식 (5), (6)과 같다.

$$I_t = -(2S+3S) \times \frac{N}{n} \quad (5)$$

$$I_m = (\frac{2S-3S}{2}) \times \frac{N}{n} \quad (6)$$

여기서, 1S/2S/3S: CT로 상별 측정된 전류

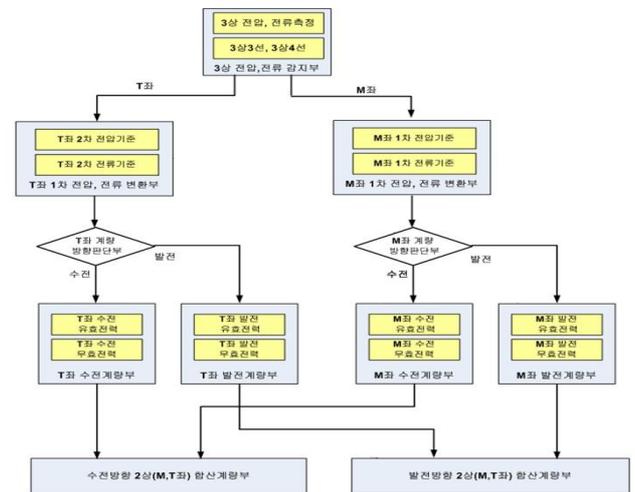


<그림 6> 제안된 계량방식별 2상 전력변환 방법

3 제안된 알고리즘

그림7은 스코트 변압기용 양방향 계량방법으로 T좌와 M좌에서 발생된 회생전력을 제외하고 수전전력을 측정하는 알고리즘 순서는 아래와 같다.

- ① 전압전류 감지부는 3상4선 방식과 3상3선 방식으로 구성되어, 3상 전압, 전류를 감지한다.
- ② T좌 1차 전압, 전류 변환부는 T좌 2차 전압기준(Vt), 전류기준(It)를 1차측에서 환산하여 측정한다.
- ③ M좌 1차 전압, 전류 변환부는 M좌 2차 전압기준(Vm), 전류기준(Im)을 1차측에서 환산하여 측정한다.
- ④ T좌 계량관단부와 M좌 계량관단부는 스코트 변압기 T좌(2차) 전압과 전류의 위상각을 측정하여, 전압위상 기준 ±90도 이내이면 수전으로 판단하고, ±90도 초과이면 발전으로 판단한다.
- ⑤ T좌 M좌 수전계량부는 스코트 변압기 2차측 전압과 전류를 1차로 환산하여 변압기 손실을 포함하여 유효전력과 무효전력을 계량하여 수전방향 2상(M,T좌) 합산계량부에서 스코트변압기 1차측에서 3상 계량을 한다.
- ⑥ T좌 M좌 발전계량부는 스코트 변압기 2차측 전압과 전류를 1차로 환산하여 발전 유효전력과 무효전력을 계량하여, 발전방향 2상(M, T좌) 합산 계량부에서 스코트 변압기 1차측에서 3상 발전방향 계량을 한다.



<그림 7> 제안된 알고리즘

4. 결 론

본 논문은 3상에서 2상을 변환하는 스코트 변압기 사용시, 실제 2차측 전압과 전류가 1차측에서 계량시 전압과 전류의 위상차에 의해 발생하는 유효전력과 무효전력에 대한 계량오차를 해결하였으며, 특히 고속전철에서 기관차가 정지할 때 회생제동으로 인해 모터가 발전을 하게 되어, 전압과 전류의 위상차를 정확하게 판단할 수 없는 문제로 수전계량과 발전계량을 정확하게 계량하지 못하는 문제점을 해결하였다. 또한, 전체적인 스코트변압기 계량설비 원가를 볼 때, 2차측에 변성기와 변류기를 설치하지 않기 때문에 시공 및 유지보수 비용을 고려하면 기존 방식에 비해 경제적이다.

본 논문에서 국내최초의 기술로 스코트 전용 3상 양방향 계량방법을 개발하였으며, 추후 기술 상용화시 계량오차로 인한 전기사용비용의 절감 효과 및 해외수출 등 시너지 효과가 클 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김진천, "전기철도공학", 신기술, 2005
- [2] 김양수, 이준경, 김진오, "전기철도", 기다리, 2006
- [3] 손호익, 유형준, 김학만, "철도 급전계통 해석을 위한 컨버터 기반 부하 모델링", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineer, Vol 61, No.12, pp.1959-1963. 2012.