

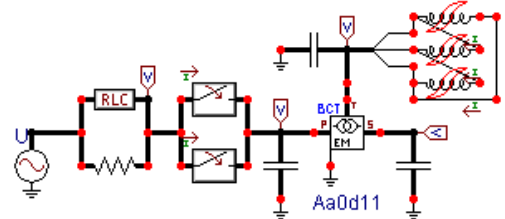
## EMTP를 이용한 단권변압기의 여자돌입 현상 분석

임경섭, 박건우, 김철환  
성균관대학교

### Analysis of Autotransformer Inrush Current using EMTP

Kyeong-Seob Lim, Keon-Woo Park, Chul-Hwan Kim,  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 산업이 발달하면서 산업 전반에 걸쳐 전기에 대한 의존도가 높아짐에 따라, 안정적인 전력의 공급이 점점 더 중요해지고 있다. 이러한 요구에 맞춰 안정적이고 질적으로 우수한 전력공급은 필수적이며, 현재 우리나라도 전력의 품질을 높이기 위해서 더욱 노력하고 있는 실정이다. 그중 변압기의 여자돌입 현상이 전기품질에 영향을 주며, 상황에 따라서 기기에 충격을 줄 수 있고, 기기의 고장을 불러일으킬 가능성도 있다. 이러한 문제를 줄이는데 도움이 되고자, 본 논문에서는 변압기의 여자돌입 현상을 분석하였다. 여자돌입을 분석하기 위해서 EMTP 시뮬레이션 프로그램을 사용하였으며, 변압기의 여자돌입 전류의 파형 등을 관찰 및 분석하였다.



〈그림 1〉 EMTP를 이용한 BCTRAN 변압기의 회로 모델

### 1. 서 론

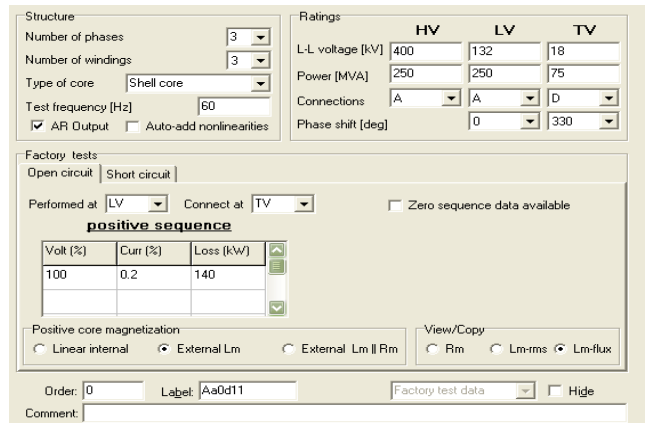
변압기는 오래전부터 개발되고 사용되어 왔으며, 장비들도 계속 증가되는 추세이다. 변압기는 전자기 유도현상을 이용하여 교류의 전압과 전류 값을 변형시키는 장치이다. 본 논문에서 사용한 단권변압기는 1차와 2차의 코일이 공유되는 변압기를 말한다. 단권변압기의 특징은 1차와 2차 코일을 따로 두는 보통 변압기에 비해, 코일에 필요한 구리의 양 및 철심의 양이 적어도 되지만(자체용량에 의해 양이 정해진다), 결점으로는 1차와 2차 사이에 도통이 있기 때문에 전압이 높은 쪽에서도 높은 쪽의 전압 값에 따른 감전의 위험이 있다. 따라서 이러한 문제점 때문에 1차와 2차 전압비가 1에 가까울 경우에 단권변압기의 장점이 가장 잘 발휘된다. 용도로는 배전선 등의 전력용 외에도 텔레비전이나 라디오 수신기 안에도 널리 사용되고 있다. 또, 단자 b가 권선에 접속되는 점을 자유로이 이동할 수 있도록 해두면, 일정한 전압의 전원에서 가변전압을 끌어낼 수가 있다. 여자돌입 전류는 변압기 투입 시 생기는 현상으로 그 크기는 정격전류의 최대 8배~30배이며, 변압기 용량, 계통전압, 전원과 변압기간의 계통저항과 변압기 손실, 변압기 철심의 제질, 잔류자속, 여자 초기 전압 위상각에 의존한다. 그 모양은 첫 몇 주기에서는 급격히 감소하는 모양을 띄며, 시간이 지나면서 천천히 감소하게 된다. 이 여자돌입의 문제는 자기회로의 매우 큰 자속에 의해 철심을 열 손상시킬 수 있고, 와전류(Eddy current) 손실의 원인이 된다. 이러한 변압기의 고장유발이나 손실의 문제를 줄이기 위해서 여자돌입 현상에 대한 분석을 하였다 [1].

### 2. 본 론

#### 2.1 변압기의 특성과 모델링

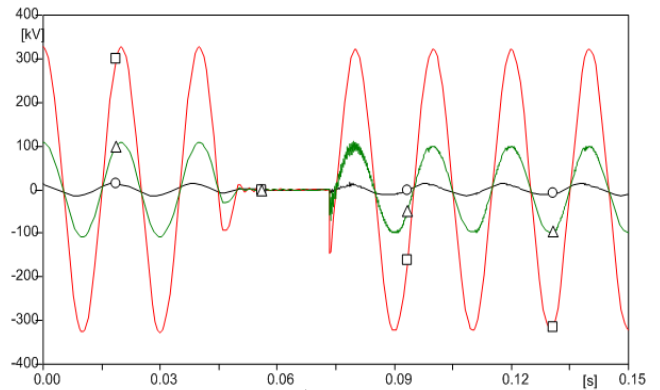
변압기는 전기기기 중에서도 널리 사용되는 기기로 송전계통이나 배전계통에서 교류전압을 승압하거나 강압하여 경제적인 송배전을 통해 산업설비나 공장, 가정에 필요한 전압을 공급하는 용도로 사용된다. 변압기의 1, 2차 권선 중에서 어느 한 단자를 개방하고(부부하 상태), 나머지 단자에 전압을 인가하게 되면 순간적으로 흐르는 큰 충격전류를 여자돌입 전류라 하며, 그 크기는 인가전압의 위상, 변압기 철심의 잔류자속에 따라 달라지며 때로는 정격전류보다 더 큰 전류가 흐르기도 한다. 부하상태에서도 돌입전류가 생기는 하지만 계통기의 오동작을 초래할 정도는 아니다. 변압기의 여자전류는 보통 1% 이다. 역률이 나쁠수록 전압비와 권선비의 차이가 생기고 철심의 크기를 최소화하기 위해 정상운전 시에도 포함되도록 하므로 여자특성이 선형성을 보장받지 못하게 된다. 이때 여자전류는 정현파가 아니고 기수고조파를 포함한다. 돌입전류를 100으로 생각했을 때, 직류성분이 50~60% 이고, 제 2고조파 성분이 30~50% 이며, 제 3고조파 성분은 제 2고조파 성분의 1/2 정도인 것이 보통이다 [2]. 그림 1은 본 논문에 대한 모델계통으로 ATPDraw를 이용하여 구성하였다.

변압기의 내부고장이나 여자돌입 현상을 모의할 수 있는 변압기는 단락 시험이나 개방시험을 할 수 있는 모델이다. 그중 EMTP 내부에서는 XFORMER와 BCTRAN 모델이 있다. 그림 1의 변압기는 BCTRAN으로 여자돌입 현상을 효과적으로 분석할 수 있다.



〈그림 2〉 회로의 BCTRAN 변압기의 입력값

변압기의 입력 값으로 주파수와 선간전압이 있으며, 주파수 값은 60Hz를 사용하였다.



〈그림 3〉 각 커패시터에서의 A상 전압파형

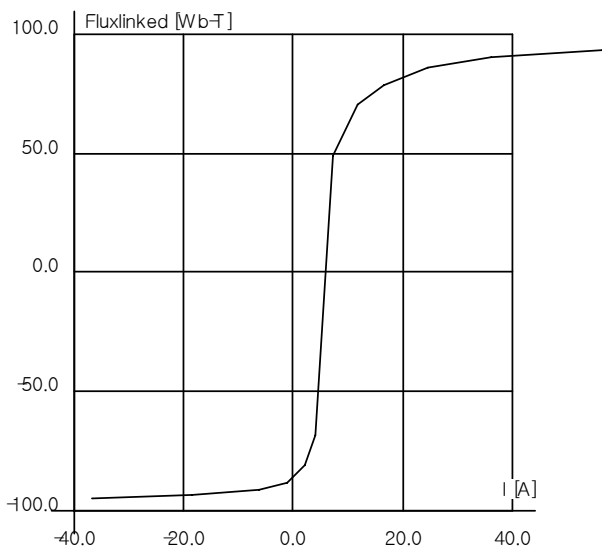
그림 3은 그림 1의 모델계통 중 BCTRAN에 연결된 커패시터들의 전압

을 측정했다. 입력 값은 선간전압의 RMS값이고 그래프에 나타난 값은 상전압의 최대값이기 때문에 진폭에 차이가 있으며, 그 값은 선간전압값보다 작아진다. 그림 2의 TV의 위상이 30° 뒤지기 때문에 다른 두 파형보다 약간 뒤쳐지는 모습을 볼 수 있다.  
 (상전압max값 = 선간전압rms값 \*  $\sqrt{2}$ )

〈표 1〉 변압기 특성

I[A]	쇄교자속[Wb*T]
-36.825	-94.9129412
-18.4125	-93.7694118
-6.1375	-90.9105882
-1.2275	-88.0517647
2.148125	-81.1905882
4.05075	-68.6117647
7.365	49.1717647
11.66125	70.3270588
16.57125	78.9035294
24.55	85.7647059
36.21125	90.3388235
56.465	93.7694118
98.2	97.2
135.025	97.7717647

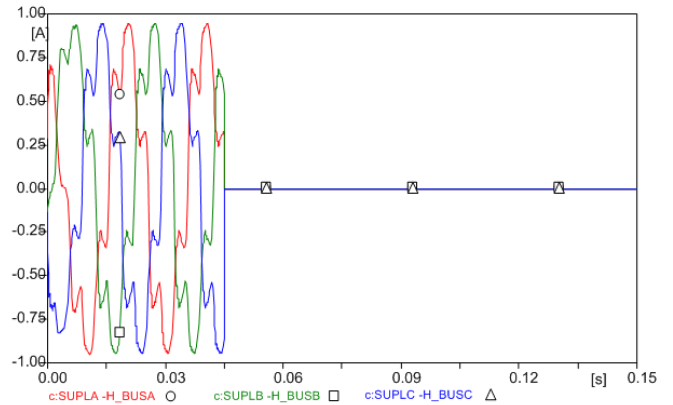
그림 1의 권선을 클릭하면 표 1과 같이 변압기의 특성을 확인할 수 있다. 이것은 전류에 따른 자속의 값을 정리해 놓은 것으로 이 전류는 자화세기에 비례한다고 볼 수 있고, 자속은 자속밀도와 면적의 곱으로 표현하므로 자속밀도에 비례한다. 따라서 이것은 자속밀도와 자화세기에 대한 그래프로 생각해도 틀리지 않다. 표 1의 데이터를 그래프로 나타내면 그림 4와 같다.



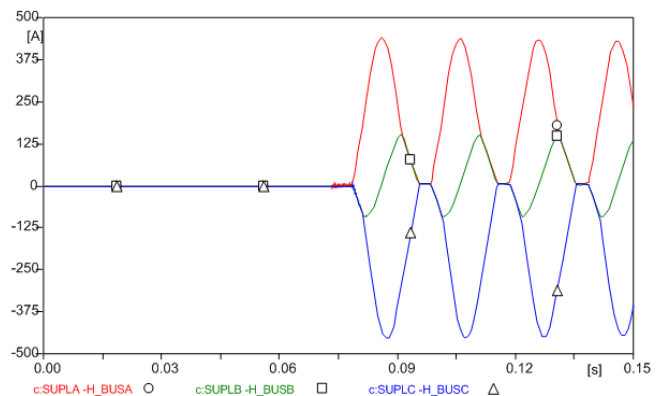
〈그림 4〉 변압기의 히스테리시스 곡선

위의 그림 4에서는 부분적인 히스테리시스 곡선을 표현한다. 이 곡선은 전류의 세기가 클수록 자속도 증가하는 것을 나타낸다. 전류를 서서히 인가함에 따라 자속도 선형에 가깝게 증가하지만 결국 전류가 증가해도 자속이 증가하지 않는 포화점이 나타나게 되며, 그 포화점에서부터 다시 변압기 코어의 반대방향 자속을 만들기 위해, 전류를 줄여서 전류가 0이 되도, 자속은 처음처럼 0이 되지 않으며, 이때 남아있는 자속을, 잔류자속이라고 한다. 잔류자속을 없애주기 위해서는 반대방향의 전류를 인가해줘야 하며, 반대방향의 전류를 인가할 시, 자속역시 반대방향의 자속으로 계속 증가하게 된다. 그러면 전과 마찬가지로 포화점이 반대방향에도 나타나고, 포화점에서 다시 전류를 반대방향으로 인가하면, 자속도 반대방향으로 다시 증가하다가 시작점과 마주치거나 시작점과 비슷한 점에서 곡선이 끝나게 되는데, 이렇게 만들어진 폐곡선을 Hysteresis loop라고 한다. 히스테리시스 루프를 만드는 폐곡선의 면적을 그 기기의 한주기 손실이라고 하는데, 넓이가 넓을수록 손실이 커지게 되므로 이 면적을 줄이는 방법이 필요하다. 이 손실은 결국 자성체(변압기의 코어 부분)의 성질에 달려있으며, 규소강판이 발견된 이후 예전에 비하여 상당히 보완된 상태이다 [3].

## 2.2 모델링된 회로의 전류특성



〈그림 5〉 정상상태에서의 자화전류



〈그림 6〉 여자돌입 전류의 파형

그림 5에서는 45ms에서 스위치가 개방되므로, 45ms까지는 정상상태의 자화전류를 확인할 수 있다. 45ms가 지난 후에는 스위치가 개방되므로 전류가 흐르지 않는 것도 확인할 수 있다. 그림 6의 그래프는 돌입전류를 나타낸다. 73.5ms에서 스위치가 동작되므로 갑자기 큰 진폭의 여자돌입 전류를 확인할 수 있다. 위와 같이 여자돌입전류의 진폭은 440A를 넘는 값이며, 지나치게 큰 전류이기 때문에, 기기의 고장이나 손실을 유발하는 중요한 요인 중 하나이다.

## 3. 결 론

각 커패시터에서 전압 값들은 진폭은 다르지만 형태적으로 비슷한 모양을 하고 있는 것을 알 수 있다. 파형이 없어지고 전압이 0이 될 때가 45ms로 모두 동일하였다. 또 전압파형이 다시 시작한 시점이 0.735ms임을 확인했으며, 약간의 고조파 성분도 발견되었다. 또한 여자돌입에 관하여 결과적으로 정상상태의 전류는 스위치가 45ms에 열리면서 나타나지 않게 되었고, 73.5ms에서 스위치가 닫힘과 동시에 여자돌입 현상을 나타내었다. 시점에서 돌입전류가 큰 진폭과 함께 나타났다. 이렇듯 큰 전류가 나타나면 변압기나 주변기기에 악영향을 끼칠 수 있으며, 와전류 손실도 늘어날 수 있기 때문에 좋지 않다. 돌입전류를 감소시키기 위한 노력이 필요하다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Kim Sang-Tae, "A Study on the Crisp and Fuzzy Rule based-Protective Relaying Algorithm for Three-Phase Power Transformer", 명지대학교 박사학위논문, 2003
- [2] Jung Jong-Jin, "Analysis on Operation Zone Settings of a Transformer Relay by Using a Three Winding Transformer Model", 명지대학교 석사학위논문, 2003
- [3] Suh Ki-Young, Ryu Jae-Yup, Mun Sang-Pil, "Variable Hysteresis Curcuit Optimal Control of Switched Reluctance Motor". 경남대학교 신소재연구소, 2000