

## 디지털 C.T의 제작 및 특성분석

김재철, 김준영, 홍주연, 강병재  
 송실대학교 전기공학부

### Digital C.T Design and Analysis

Jae-Chul Kim, Jun-Young Kim, Joo-Yeon Hong, Byung-Jae Kang  
 Soongsil Univ of Electrical Engineering

**Abstract** - Rogowski Coil Current Transformer using PCB(Printed Circuit Board) is produced to analyze characteristics of digital C.T(Current Transformer). Conclusively, this paper expresses a difference and a good point of C.T using PCB.

#### 1. 서 론

급속도로 발전하는 전기 부품과 디지털시대에 맞추어 전기 계측 장비도 계속 디지털로 바뀌고 있다. 이런 상황 속에서 전류 측정 도구로 사용되는 변류기는 여전히 아날로그식과 철심을 사용하고 있는 곳이 많다. 이 아날로그 변류기는 현재 큰 전력계통의 지락 및 단락 시에 큰 고장 전류를 정확히 검출하는데 어려움이 있다. 이것은 아날로그 변류기의 단점으로 철심에 의한 포화현상이 나타나기 때문에 정확한 신호를 만들 수 없고 디지털화 된 변전소에 적용하기 위해 여러 가지 컨버터 같은 부품들을 사용해야 하는 불편함을 가지고 있다. 그래서 1912년에 알려진 자장(magnetic field)을 이용한 로고스키 코일 변류기가 현재 많이 연구되고 상용화가 되고 있다. 로고스키 코일은 선형성과 전기적 절연이 매우 우수하고 측정하고자 하는 곳에 맞추어 쉽게 크기 및 모양을 바꿀 수 있다. 이러한 장점을 바탕으로 현재 PCB를 이용하여 좀 더 간단하게 만들 수 있는 로고스키 변류기가 있다. 이 변류기는 전류범위가 190[KA] 까지 거의 모든 범위를 측정 할 수 있고 소형이기 때문에 GIS(Gas Insulated Switchgear)의 크기를 줄이는 방법으로 이용되고 있다. 본 논문에서는 PCB를 이용한 로고스키 코일형 변류기를 제작한다. 또한 PCB 로고스키코일 변류기를 각각 다르게 제작하여 서로의 변류기의 차이를 분석함으로써 어떤 방법이 깨끗한 파형을 나타내는지 알아 볼 것이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 로고스키 코일의 원리

전자식 변류기(Electronic Current Transformer)는 로고스키 코일을 사용한다. 로고스키 코일은 전자기학의 암페어의 주회법칙과 패러데이 법칙이 적용된다. 이 법칙을 기본으로 로고스키 코일의 원리에 대해서 살펴본다.

##### 2.1.1 암페어의 주회법칙

“임의의 폐곡선을 따라 자계 H를 선적분한 결과는 그 폐곡선으로 둘러싸인 직류 전류와 같다”를 말한다. 즉,

$$\int_C \vec{A} \cdot d\vec{l} = \vec{I} \quad (1)$$

이다. 이는 일 직선 상에 도선이 지나가면 도선 주위에 자기장이 형성되고 그 상태에서 r[m]만큼 떨어진 거리에서 자계의 세기 H를 구하는 것이다



<그림 1 암페어의 주회법칙>

<그림1>과같이 전선 전류의 흐름과 그 주위의 자계와의 관계로 로고스키 코일에 전류가 관통하면 이 주위에 자계가 형성된다. 라인 전류가 전체적으로 일주하여 루프가 그려지면 암페어의 주회법칙에 따라 루프 주위에 자계의 라인 합계는 통로 루프가 가지는 것이 무엇 일지라도 둘러싸이는 최종 전류와 같다. 루프가 만약 일주하지 않는다면 라인 합계의 최종 전류는 0이 된다.

##### 2.1.2 패러데이 법칙

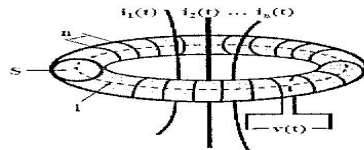
“전자유도에 대한 기전력은 시간에 대한 자속의 변화율과 같다” 이것은 코일을 관통하는 자속이 시간적으로 증가, 감소되면 코일 단자에 기전력이 발생하는데 이것이 전자기 유도의 패러데이 법칙이다. 이것을 식으로 표현하면

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

가 된다. 식(2)에서 e=기전력이며  $\phi$ =자속 이다. 즉 기전력의 성질을 나타낸 것이다. 위식은 폐회로 내에서 성립이 되며 음의 부호는 기전력의 방향이 자속의 증가, 감소는 방해하는 방향이며 기전력의 크기에는 영향을 미치지 않는다.

##### 2.1.3 로고스키 코일의 동작이론

로고스키 코일은 비마그네틱 코어로 된( $\mu=\mu_0$ ) 권선으로 구성되어 있다. 코일은 도체 주위에 위치되고 도체의 전류는 <그림2>에 보여준 것처럼 측정 할 수 있다.



<그림2 코일 동작이론>

코일에 유도된 전압은 식3에 의해 정의된다.

$$v(t) = - \frac{d}{dt} \left( \sum_{j=1}^N \Phi_j \right) \quad (3)$$

$\Phi_j$ 는 총 턴수 N의 j번째 턴의 순간적인 자속이다. 코일에 총 자속은 식(4)에 주어진다.

$$\Psi = \int_l dl \int_s HndS \quad (4)$$

v(t)는 코일의 출력 전압이고  $\Psi$ 는 총 자속이다. l은 코어 길이이고, n은 권선밀도(단위 길이 당 권선 감은 수)이다. S는 코어 단면적이고, H는 자계의 세기이다.

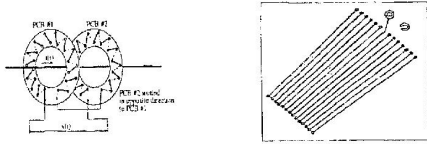
##### 2.2 로고스키 코일의 장 · 단점

마이크로프로세서를 기초로 한 relay에 적합한 로고스키 코일은 transformer들이 제거되고 장치들이 그들의 동작을 위해 필요한 전압을 직접 받아들일 수 있도록 설계가 된다면, CT를 대신하여 사용되어질 수 있다. 하지만 로고스키 코일이 비록 일부 고출력 장치들에는 사용될 수 없고 외부 잡음 유입 시 큰 오차를 낼 가능성과 포화효과 없는 적절한 electron적분기 장치 EH는 clipping과 릴레이와의 조화를 위한 비용이 필연적으로 많이 드는 단점이 있지만 로고스키 코일은 예전의 CT와 비교하여 볼 때 다음과 같이 더 많은 장점을 가지고 있다

- ① 반도체의 개폐 과도현상 측정 등의 매우 광범위한 영역에서의 사용이 가능하다
- ② 대전류의 측정이 가능하다. 다른 전류 측정기가 측정전류의 증가에 따라서 크기가 증가하는데 비해서, 로고스키코일은 동일한 크기에서 100[A] 또는 1000[KVA]의 측정에 사용이 가능하다.
- ③ 포화되지 않으므로 과전류에 의한 손상을 입지 않는다.
- ④ 1차측과 완전히 분리되어 있으므로 절연성이 우수하다
- ⑤ 사용이 간편하다. 코일이 비교적 가볍고, 플렉시블하기 때문에 도체나 전류가 흐르는 장치의 주위에 감아서 사용할 수 있다.
- ⑥ 자성물질을 포함하고 있지 않기 때문에 선형성이 우수하다.

### 2.3 PCB로고스키 코일의 특징

PCB 로고스키 코일 변류기는 로고스키 코일 변류기에 비하여 무게가 가볍고 또한 전자적인 특성 및 소형화 시킬 수 있다. 우리가 제작하고 실험하는 PCB 로고스키 코일 변류기는 상호간에 옆에 위치한 두 권선 코일로 구성되어 있고, 아래 그림3처럼 상호 연결되어 있다. layer를 두 개 쓰는 이유는 정밀도를 높게 하기 위함이다.



<그림3> PCB 두 권선 코일

<그림4> PCB판 확대

코일들은 반대 방향으로 감겨 있고, 회로 판의 위와 아랫면은 오른쪽으로 도는 성질을 가진 코일 형태를 만들기 위해 짝힌 것이고, 보드의 가운데 주위에 시계방향으로 진행된다. PCB의 아랫면과 윗면에 conductive imprint들은 conductive plated hole들에 의해 서로 연결되어 있고 왼쪽으로 도는 코일들의 경우는 반대 방향으로 감아야 된다는 것만 제외하고, 유사한 방법으로 설계되어 있는 것이다. 두개의 PCB는 출력신호를 증가시키기 위하여 직렬로 연결되어 있다. 장점들은 기존의 로고스키 코일과 비슷하지만 구리로 감는 코일에 비해서는 더욱 간단하고 정확한 신호를 받을 수 있다.

### 2.4 PCB로고스키 코일 변류기 제작

PCB를 이용하여 로고스키코일을 Single layer와 Double layer로 만들었다.

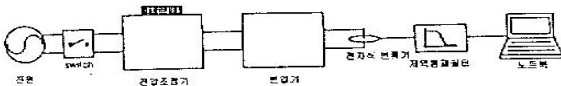
오토캐드작업으로 만들어진 .dxf파일을 이용하여 circuit캠에서 .cam파일로 변환 후 PCB의 직접 가공하는 종속프로그램 BoardMaster에서 프로그램을 실행하여 제작했다



<그림5> PCB를이용하여 제작된 Single layer

#### 2.4.1 로고스키 코일을 이용한 변류기 실험 구성도

<그림6> 에서 실험 장치 구성도를 나타내었다.



<그림6> 변류기 실험 장치

그림 6에서 알 수 있듯이 구성은 변압기 단락회로 시험을 이용했다. 이 실험에서 전원은 200[V]전원을 사용하였고 전원과 전압조정기 사이에 차단기를 설치하여 실험의 안전성을 높이고 스위치 역할을 하도록 했다. 또한 변류기 출력 전압의 보다 깨끗하고 큰 파형을 얻기 위해 <그림6>의 필터를 설치하여 실험을 했다. 이것을 통과한 출력전압은 오실로스코프를 이용하여 측정하였다. <그림7> 은 실제 실험 장치도이다.

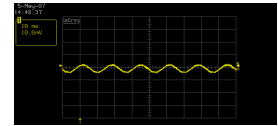
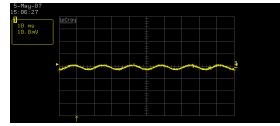


<그림7> 실제 실험 장치

### 2.5 로고스키 코일 실험결과

#### 2.5.1 Single layer의 실험 결과

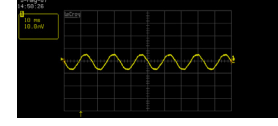
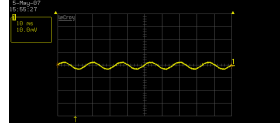
Single layer코일을 가지고 <그림7>의 실험 장치에서 <그림8>과 <그림9> 같은 결과를 얻었다.



<그림8> 인가된 전류 100A일 때 <그림9> 인가된 전류 200A 일 때

#### 2.5.2 Double layer의 실험 결과

Double 코일을 가지고 <그림7>의 실험 장치에서 <그림10>과 <그림11>의 결과를 얻었다.



<그림10> 인가된 전류 100A일 때 <그림11> 인가된 전류 200A 일 때

#### 2.5.3 실험의 결과 및 분석

<표 1> 로고스키 코일 실험 결과값

전류	layer	Single	Double
100		1.232 [mV]	2.455 [mV]
200		2.461 [mV]	4.810 [mV]

실험을 통해 layer에 따라서 그리고 인가전류에 따라서 결과가 달라짐을 알 수 있다.

<표1>에서와 같은 결과값이 나옴에 따라 흐르는 전류와 측정되는 전압이 선형적으로 나타난다는 것을 알 수 있고, 이는 기존의 철심CT는 포화현상으로 선형적이지 못한 것에 대신하여 사용되어 진다면 큰 이점이 있을 것이다.

### 3. 결 론

최근에 계통의 대형화와 부하설비가 증가되고 있는 추세이다. 이는 계통과 부하설비의 사고 시에 큰 사고 전류가 흐를 수 있는 원인이 된다. 만약 이 사고 전류가 계통에 흐른다면 이에 대한 피해는 커질 것이다. 따라서 계통에 큰 사고 전류가 흐를 때 이를 빨리 검출할 수 있어야 하고, 이 역할을 하는 것이 변류기이다. 하지만 기존에 쓰고 있는 철심형 변류기는 철심 때문에 생기는 자기포화 현상으로 계전기의 오동작을 일으킬 수 있기 때문에 큰 사고 전류를 측정하는데 어려움이 있다. 따라서 사고 시 큰 전류에 대한 포화현상이 적고 외란이 최소화된 상태에서 전류를 측정 할 수 있는 로고스키 코일 변류기의 필요성이 높아지고 있다.

본 논문에서는 PCB를 이용한 로고스키 코일 변류기를 제작하여 분석하였다. 이 변류기는 기존의 공심 형에 비해 더욱 높은 전류까지 측정이 가능하며 코일을 사용하지 않아 가볍고 턴 수의 제약이 없어 정확한 전류 값을 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 철심CT에서 측정이 곤란한 대전류를 소신호로 변성하여 디지털 기기에 연결하여 이용할 수 있는 장점이 있다.

PCB를 이용한 로고스키 코일을 Single layer, Double layer를 제작하여 각각 100A, 200A의 전류를 인가시켜 각각의 변화에 따른 특성을 비교하였으며 결과적으로 Single layer와 Double layer모두 선형적인 전류와 전압이 나타난다는 것을 알 수 있었다. 또한 앞으로 증폭기 및 필터를 지금보다 훨씬 정교하게 만든다면 현재의 철심형 변류기에 비해 좋은 특성으로 사용되어 질 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 이강원 외4인, "전기신호분야 : 전력시스템 ; 부분방전 전류 측정을 위한 로고스키 코일의 적용에 관한 연구", 2004년 추계 학술대회 논문집, page:2, 2004
- [2] 박영태 외 1인, "공심코어를 사용한 교류전류 센서", 전기자기학회집, page:1~2, 2005
- [3] 신중은, "디지털 계전기 적용을 위한 변류기(ECT) 특성분석", 숭실대학교 대학원 석사논문, page:4~7 2004
- [4] Liao Jungsheng, "Studies of Rogowski Coil Current Transducer for Low Amplitude Current Measurement", 2003
- [5] Ljubomir Kojovic, "PCB Rogowski Coils Benefit Relay Protection, 2002
- [6] D.A Ward, "Measurement os Current Using Rogowski Coils", 1993