

디지털 제어형 CT 및 PT에 관한 특성 분석

(The Analysis for the characteristics about the Digital Control CT & PT)

신중은* · 김재철 · 송승엽 · 권영욱(송실대학교) · 김언석(한국전기연구원)
(Jung-Eun Shin · Jae-Chul Kim · Seung-Youp · Young-mok Kwon · On-suk Kim)

Abstract

Generally, instrument transformer of the core type have been used for measuring current. Because instrument transformer has defects, electronic instrument was appeared. Electronic instrument has many merit-linearity, small size, low cost, etc. Rogowski coil is typical electronic CT and R-divider is typical electronic VT. This paper is introduced a basic concept and theory of electronic current transformer, electronic voltage transformer.

1. 서 론

오랫동안 계기용 변류기로써, 철심형 CT가 주로 사용되어 왔다. 철심형 CT는 제작이 매우 용이하고, 일차측 전류의 변환이 간단하다는 점에서 쉽게 적용되었다. 계기용 변류기는 주회로의 대전류를 특정비의 저전류로 변환하여 전류를 감시하거나 계측용으로 이용된다. 과전류를 감시하는 계전기용과 정상 전류를 감시하는 계측용으로 나뉜다[3].

변전소 시스템이 디지털화 되면서, 철심형 CT는 디지털 변전소에 적용하는데 있어서 많은 단점들이 부각되고 있다. 기존의 철심형 CT는 코어를 가지므로 포화특성이 있고, 측정 범위에 따라 크기가 커지는 단점등이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 대체 할 수 있는 전자식 전류 변성기(Electronic Current Transformer)가 등장하게 되었다. 로고스키 코일형 CT가 대표적으로 사용된다. 로고스키 코일형 CT는 공심 형태로써 코어를 제거하여 포화특성이 없기 때문에 선형성이 좋으며, 필요한 위치에 따라서 크기를 조절할 수 있으며, 계측기용과 계전기 용으로 나누어져 있던 기존 CT와는 달리, 하나의 로고스키 코일 CT로써 그 역할을 대신 할 수 있다. 전자식 전압 변성기(Electronic Voltage Transformer)도 마찬가지로 기존의 VT와 비교하여 포화가 없고, 선형성이 좋으며, 작고 가벼우며 또한 철공진도 일으키지 않기 때문에 저항 분압기(R-divider)가 대표적으로 사용된다[1].

본 논문에서는 전자식 변성기에 관한 개념과 기본이론 그리고 로고스키 코일에 대해 소개하였다.

2. 본 론

2.1. 전자식 변성기 출현 배경

최근 차단기, 가스절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear), 보호계전기등 중전기기 분야에서 전자식 변성기 적용이 급증하게 된 큰 이유는 정보 통신과 디지털 기기의 발전등에서 이다.

첫째로 가격 경쟁력이다. 로고스키 코일 전류 변성기의 경우 코어가 들어가지 않으므로 가격이 저렴하다. 또한 통신 기능을 이용하면 1대의 변성기로 여러개의 전기 기기와 연결할 수 있으므로 비용이 절감된다. 가격 경쟁력을 위해서 1대의 기기가 다기능 역할을 하여야 한다. 에폭시 지지애자에 전압 감지 기능을 추가한 것이 한 예라 할 수 있다.

두 번째는 공간적인 문제이다. 최근 환경 문제에 관심이 높아지면서 전력회사에서 변전소 부지를 확보하기도 어렵다. 그래서 최근에는 지하에 설치하는 경우가 많다. 지하에 설치하는 경우 이동성, 설치장소 등을 고려할 때 배전반의 소형화가 필수적이다. 이런 경우 배전반의 크기가 문제가 된다. 전자식 변성기를 사용하면 소형화가 가능하므로 이런 요구사항을 만족할 수 있다.

세 번째로 전력기기의 전자화로 인하여 큰 전압이나 전류 및 전력이 필요없기 때문이다. 기존 유도 원판형 보호계전기나 전력량계, 아날로그 미터는 큰 전압이나 전류를 필요로 하였으며 소비 전력이 커서 전자식 변성기는 사용이 어려웠다. 그러나 최근에는 대부분 마이크로 프로세서를 활용한 전자식 기기들이 개발되고 있어 관련 문제들은 모두 해결되었다.

네 번째로 통신 기술의 발달도 전자식 변성기 보급의 큰 이유이다. 전자식 변류기의 2차측은 아날로그 및 디지털 통신을 기본으로 한다. 변전소 종합자동화 및 배전

계통 자동화도 모두 통신을 활용하고 있다. 전자식 변성기의 가장 큰 장점은 통신으로 데이터를 전송하는 것이므로 앞으로 더욱 확대될 것이다.

2.2. 전자식 변성기 기본 개념

전자식 변성기는 기존의 코어 타입의 변성기와 상대적인 개념이다. 코어 타입의 기존 변성기와 전자식 변성기의 큰 차이점은 부담(burden)과 출력 신호의 크기이다.

표 1. 기존 변성기와 전자식 변성기의 비교
Table 1. Comparison of conventional instrument and electronic instrument

| 구분 | | 출력 | 부담 |
|---------|----|------------------------------|--------------|
| 기존 변성기 | CT | 1, 5[A] | 15, 40[VA] |
| | PT | 63.5, 110[V] | 100, 200[VA] |
| 전자식 변성기 | CT | 225, 150, 200, 225[mV], 4[V] | 저항 단위[Ω] |
| | PT | 1.625, 2, 3.25, 4, 6[V] | 저항 단위[Ω] |

코어 타입에서 부담[VA]은 변성기가 출력할 수 있는 용량을 의미한다. 전자식 변류기에서 부담과 같은 개념인 저항은 연결할 전기기기의 최저 입력임피던스를 의미한다.

전자식 변성기의 출력은 크게 아날로그와 디지털이 있다. 아날로그는 특별한 변환장치를 사용하지 않는 것이다. 디지털은 광케이블 등을 사용하여 통신으로 원격 기기로 데이터를 송신한다. 디지털 방식을 사용하기 위해서는 전자식 변성기 2차측에 전자회로를 구성한다. 특히 3상을 구성하여 전력을 측정하는 경우, 먼저 전압 및 전류 변성기에 각각에 대하여 3상을 구성해야 한다.

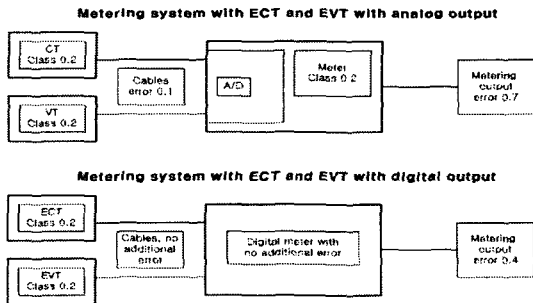


그림 1. 아날로그 및 디지털 출력 전자식 변성기의 시스템 오차 비교

Fig 1. The metering system comparison of analog output and digital output electronic instrument

그림 2는 단상 전자식 CT의 블록 다이어그램을 나타낸다.

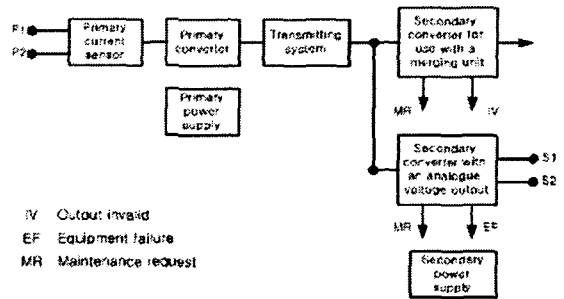


그림 2. 단상 전자식 CT
Fig 2. Single phase Electronic CT

2.3. 전자식 변성기 기본 이론

2.3.1 전자식 전류 변성기

전자식 전류 변성기(ECT : Electronic Current Transformer)는 로고스키 코일을 사용한다. 로고스키 코일은 그림 3과 같이 비자성체 코어에 균일하게 감은 코일로 이루어진다. 로고스키 코일은 전류가 흐르는 도체가 가까이에서 있을 수 있는 외부 자계의 영향을 줄이기 위하여 코일과 전기적으로 반대방향으로 연결된 2번째 와이어 루프가 있어야만 한다. 이것을 return coil이라고 하며, 로고스키 코일의 루프 바깥에서 나오는 모든 전계를 상쇄시키는 역할을 한다. 이러한 return coil은 그림과 같이 권선의 중앙을 통하는 와이어를 되돌리거나 이미 와이어가 있는 것에 반대방향으로 부가적인 권선을 winding 하므로써 만들 수 있다[4].

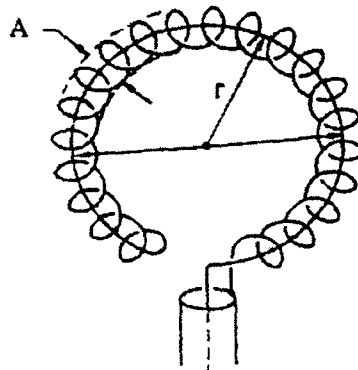


그림 3. 로고스키 코일의 구조
Fig 3. The structure of Rogowski coil

로그스키 코일에 유기되는 전압은 아래와 같다.

$$e = M \frac{di}{dt} \quad (1)$$

여기서, 상호인덕턴스 M은 다음과 같다.

$$M = \frac{\mu_0}{2\pi} NA \ln \frac{r_0}{r_i} \quad (2)$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m], N = 턴수, A = 두께,
 r_0 = 코일 외반경, r_i = 코일 내반경

코일은 출력이 전압이기 때문에 전류값을 얻기 위해서는 출력 전압을 적분해야 한다. 적분기는 저항과 커패시터로 구성된 수동형과 Op-amp를 사용한 능동형으로 나눌 수 있다. 코일의 출력 특성, 주파수 대역폭, 측정 전류의 시정수등의 요소들이 적분기 설계에 있어서 중요한 요소이다. 일반적으로 코일의 출력이 작기 때문에 능동 적분기를 사용한다.

일반적인 로그스키 코일의 주파수 응답 특성은 수 Hz에서 100kHz까지 측정이 가능하다. 이 범위는 상태 감시, 보호, 전력 품질 측정을 위해 충분하다. 특별히 설계된 코일은 200MHz 까지 측정이 가능하다.

2.3.2 전자식 전압 변성기

전자식 전압 변성기(EVT : Electronic Voltage Transformer)는 전압을 측정하는 센서로써 저항 분배기와 저항-커패시터 분배기등이 있다. 기본 원리는 아래 그림과 같다.

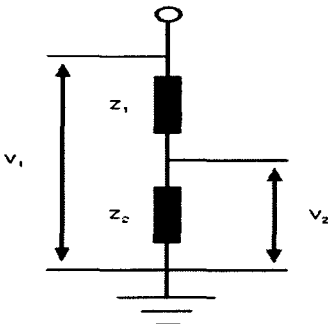


그림 4. 전자식 전압 변성기
 Fig 4. Electronic Voltage Transformer

$$V_2 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V_1 \quad (3)$$

저항 분배기는 실험 전압은 물론 모든 정상적인 상황이나 고장 상황에 대해 견딜수 있어야 하며, 따라서 매우 높은 저항을 사용하여야 한다는 것을 의미한다. 측정의 정확도를 위하여 저항과 정확한 전압 분배 비율이 중요하다. 또한, 저항 온도계수, 전압 온도계수, 표류 커패시턴스, 누화(cross talk)등에 의해서도 정확도에 영향을 받는다.

저항 분압기의 주파수 응답은 높은 임피던스 레벨 때문에 로그스키 코일 만큼 넓지는 않지만, 수 kHz이상의 주파수까지 측정할 수 있다. 이것은 로그스키 코일 CT와 마찬가지로 상태 감시와 보호 그리고 전력품질을 측정하는데 충분하다.

2.3.3 전자식 변성기 2차 회로 통합 시스템

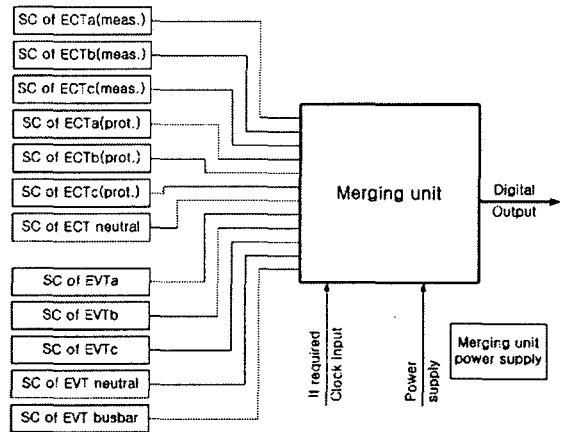


그림 5. 디지털 접속장치 구성도의 예
 Fig 5. Example of digital interface block diagram

12개의 2차변환기 데이터 채널까지는 병합 장치(Merging Unit)를 이용하여 그룹화한다. 하나의 데이터 채널은 계기용 전자식 변류기나 전자식 변압기로부터의 하나의 샘플링된 측정값을 전송한다. 다상 또는 연합된 장치의 경우에, 2차 변환기로부터 병합 장치로 몇 개의 데이터 채널이 하나의 물리적인 접속 장치를 통해 전송된 것이다. 병합 장치는 시간과 밀접한 관련이 있는 집합으로 2차 장치에 공급한다.[5]

2차 변환기 또한, 재래식의 계기용 변압기나 변류기들로부터 입력되는 신호의 취득에도 사용할 수 있으며, 병합 장치로 취득한 자료를 통합하게 된다.

3. 로고스키 코일(Rogowski coil)

3.1. 로고스키 코일의 종류

로고스키 코일은 크게 flexible 코일과 rigid 코일로 나눌 수 있다. flexible 코일은 말그대로 측정하려는 곳에 따라 유연하게 적용할 수 있는 코일을 말한다. 일자 형태로 되어 있어 필요한 곳에 코일 양끝단을 접속한다. rigid 코일은 원형 로고스키 코일 형태로 고정되어 있는 코일을 말한다. 일반적으로 flexible 코일이 많이 사용되지만, 정확도에 있어서는 rigid 코일이 더 정확하다.

flexible 코일은 코일 양끝단을 접속하여 원형 로고스키 코일을 만들기 때문에, 접속하는 방법에 따라 몇가지 형태가 있다.

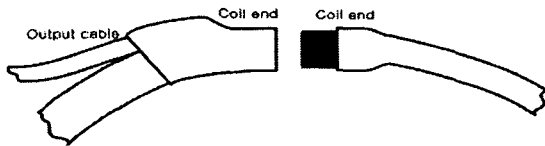


그림 6. 양끝단 푸쉬 타입
Fig 6. Push-together ends

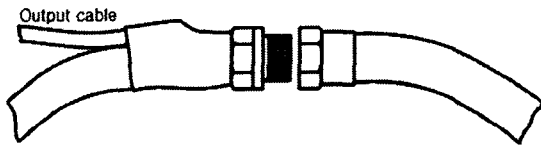


그림 7. 양끝단 스크류 타입
Fig 7. Screw-together ends

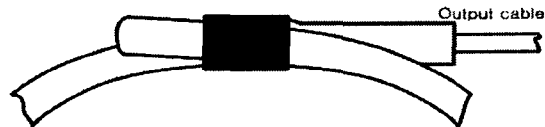


그림 8. 오버래핑 타입
Fig 8. Overlapping ends

3.2. 로고스키 코일 등가회로

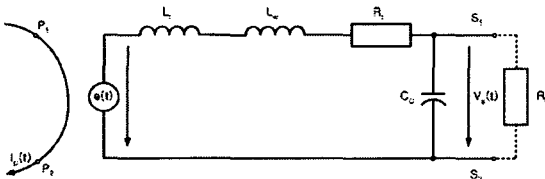


그림 9. 로고스키 코일 등가회로
Fig 9. Equivalent Circuit of Rogowski coil

그림 9에 로고스키 코일 등가회로를 보였다. S_1 , S_2 는 2차측 출력단이다. 출력은 전압이며 전류를 얻기 위해서는 2차측 단자에 적분기를 달아주면 된다.

전자식 전압 변성기와 전류 변성기의 시뮬레이션 모델을 연구하기 위해 등가회로의 구성은 매우 중요하다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존에 계기용 변성기의 단점을 보완하게 될 전자식 변성기에 대한 기본적인 개념에 대하여 검토하였다. 가장 큰 차이점은 출력 신호와 부담의 크기이다. 출력 신호가 작기 때문에 2차 변류기를 쓰지 않고 전자식 변성기의 출력을 그대로 사용할 수 있다. 또 부담이 작기 때문에 마이크로프로세서를 사용하는 전자식 전류기기에 적합할 것으로 사료된다. 외국에서는 제품을 제작하여 판매중이며, 실제 사용되고 있다. 우리나라에서도 일부 로고스키 코일 CT를 만들고 있으나 디지털 통신을 위한 통합장치(Merging Unit)등 아직 미흡한 실정이다.

앞으로 본문에 표현한 등가회로를 이용하여 전자식 변성기의 시뮬레이션 모델을 만들어 분석하고, 아직 미흡한 신호 통합(signal merging)등의 부분을 연구할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청의 연구비 지원으로 진행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Pentti Mahonen, Markku Moisio, Tapio Hakola, Harri Kuisti "The Rogowski Coil and Voltage Divider In Power System Protection and Monitoring", CIGRE, 34-103, 1996
- [2] D.A.Ward and J. La T. Exon, "Using Rogowski coils for transient current measurements", Engineering science and educational journal. pp105~114, June 1993
- [3] 이홍신, 박지훈, 함길호, 최완석, 장용우, "단락전류 측정용 Rogowski coil 개발", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 pp787~789, 2000.
- [4] 정영환, 김정배, 송원표, 김덕수, "170kV GIS용 Rogowski coil형 CT 개발", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 pp479~481, 2001.
- [5] IEC 60044-7. 1999, IEC 60044-8, 2002