CT1000S AC/DC 스플릿 코어 전류 센서

Hiroyuki Ishida [*1] ***Hiroyuki Degawa*** [*2] ***Hiroki Minami*** [*1]

스플릿 센서 섹션이 포함된 CT1000S AC/DC 스플릿 코어 전류 센서를 개발하였다. 이 센서의 정격 전류는 1000A이고, 작동 온도 범위는 −40~85°C이며, 진폭 정확도(0.1Hz~100Hz)는 판독값의 ±0.2% 및 전체 스케일의 ±0.01%이고, 주파수 대역폭은 DC에서 300kHz(−3dB)이다. 분리 가능한 구조임에도 불구하고 이는 스플릿 코어 타입의 전류 센서를 위한 고정밀, 고대역폭 전압 출력 전류 센서이다.

센서 부품의 분리 가능한 구조는 측정용 관통 홀을 통하여 케이블을 손쉽게 삽입할 수 있도록 설계하였고, 이로 인하여 케이블을 분리할 수 없는 애플리케이션에서도 전류 측정이 가능하여 더욱 폭넓은 활용성을 제공한다. 측정 재현성을 개선하기 위해 센서를 바닥에 안정적으로 위치시킬 수 있도록 설계하였고, 전류 센서 본체를 고정시키기 위한 나사 홀이 제공되었으며, 컨덕터 위치 조정 장치를 사용하여 케이블의 위치를 제한할 수 있다. 이 논문은 CT1000S AC/DC 스플릿 코어 전류 센서의 구성 및 이 개발 과정에 적용한 기술에 대하여 소개한다.

개요

산업 부문은 탈탄소 사회를 실현하기 위해 오랫동안 장비의 에너지 효율을 향상시키는 작업을 수행해 왔다[(1)] . 전력 변환기 및 배터리 관리 시스템의 에너지 효율을 개선하는 것은 전력을 보다 효율적으로 활용하는 효과적인 방법이다. 그러나 이를 구현하기 위해서는 전력을 정밀하게 측정할 필요가 있다[(2)(3)] .

완성된 제품이나 장비의 전류를 측정하는 경우, 종종 케이블을 분리하거나 절단하는 것이 어려운 경우가 있기 때문에 스플릿 코어 전류 센서가 사용된다. CT1000S AC/DC 스플릿 코어 전류 센서(이하 “CT1000S”)는 측정 케이블에 손쉽게 부착 및 탈착할 수 있는 스플릿 코어 센서이다. 일반적으로 스플릿 코어 전류 센서는 측정 정밀도가 낮지만, CT1000S는 매우 높은 정밀도로 전류를 측정할 수 있다. 또한 위상 오차가 ±0.1°로 매우 작고, 전력 측정을 위한 전류 센서로도 사용할 수 있으며, 출력 노이즈가 적어 파형 측정에 사용하기에도 적합하다.

그림 1은 CT1000S의 외관이다. 측정 재현성을 향상시키기는 메커니즘을 도입함으로써 CT1000S는 높은 측정 재현성과 스플릿 코어 구조의 편리성을 결합한 제품이다. 이 논문은 CT1000S의 구성과 설계 과정에서 개발한 기술을 소개한다.

*1 Decarbonization Business Division, Yokogawa Test & Measurement Corporation
*2 Common Technology & QA Division, Yokogawa Test & Measurement Corporation

그림1 CT1000S의 외관

CT1000S의 구성

고정밀 비접촉 전류 센서의 개념은 일반적으로 클림프형 및 관통형 센서로 구분한다. 클림프형 센서는 센서 유닛에 케이블을 용이하게 부착하기 위한 개폐 메커니즘이 있다. 이 메커니즘은 개폐 전 센서 위치의 재현성이 필연적으로 감소하게 되며 이로 인하여 관통형 센서에 비해 측정 정확도와 재현성이 낮아지게 된다.

그러나 CT1000S는 클램프형 센서임에도 불구하고 센서 위치의 재현성을 개선하도록 설계하였고, 관통형 센서와 비교할 만한 측정 정밀성 및 재현성을 구현할 것을 목표로 개발하였다. 특정 설계 구성은 다음과 같다.

- 바닥 장착을 위한 평평한 섹션이 있는 안정적인 구조
- 마운팅 나사 홀(×6)
- 컨덕터 위치 제한 조정 장치
- 장착을 위한 스플릿 섹션 연동 구조 나사 홀

그림2 마운팅용 나사 홀 사용의 예

그림3 분할 단면 연동 구조

비접촉식 전류 센서의 측정값은 케이블과 같은 측정 컨덕터의 위치 및 외부 자기장에 의하여 영향을 받는다. 따라서 전류 센서와 측정 컨덕터 사이의 위치적 관계를 고정시킨다면 재현성을 개선할 수 있을 것이다.

그림 2는 장착용 홀을 사용하여 설치한 CT1000S의 예이다. CT1000S를 정확한 위치에 나사를 사용하여 고정시키는 경우 측정 재현성을 개선할 수 있다. 그림 3은 CT1000S의 스플릿 섹션의 연동 구조이다. 완충재를 사용한 부유 구조를 채택함으로 개폐 전후에 연동된 정렬 상태가 변화되는 것을 방지하고, 이렇게 함으로 측정 재현성을 개선한다.

CT1000S는 사용자가 전류를 보다 쉽게 및 더 높은 정확도로 측정할 수 있게 한다는 개념으로 개발하였다. 이는 완성된 제품 및 장비뿐 아니라 기존의 관통형 센서를 사용하는 응용 분야에도 적용할 수 있다.

성능: 온도 특성

CT1000S는 메인 유닛, 서브 유닛 및 IV 유닛으로 구성된다. 서브 유닛 및 IV 유닛의 작동 온도 범위는 5°C~40°C인 한편 센서 섹션을 포함하고 있는 메인 유닛은 −40°C~85°C의 온도 범위에서 작동하여 전류를 광범위한 온도 조건 하에서 측정할 수 있다.

그림 4는 CT1000S의 온도 특성을 보여준다. 메인 유닛의 주변 온도가 0°C~40°C 사이인 입력 전류가 없는 경우 일차 전류의 등가 오프셋 규격은 ±0.2A이며, 0°C에서 최악의 측정값은 0.02A였다(그림 4 위 참조)

입력 전류가 50Hz에서 1,000A인 경우, 출력 에러에 대한 규격은 판독 값의 ±0.21%이며, 최악의 측정값은 0°C에서 판독 값의 0.0043%였다(그림 4 아래 참조). DC(direct current−직류)로부터 저주파수 범위까지의 전류를 탐지하기 위해 FG(fluxgate−플럭스 게이트) 센서를 사용하였기 때문에, CT1000S는 주변 온도의 변화에 대하여 안정적인 성능을 보인다.

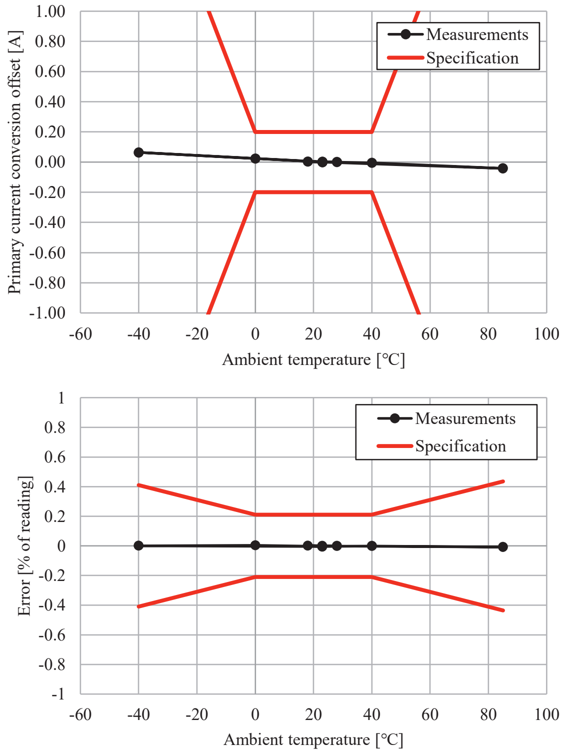

그림4 입력이 없을 때 출력 옵셋 전류(상단), 입력 전류가 1000A/50Hz인 경우 출력 오차의 온도 특성(하단)

성능 주파수 특성

그림 5는 CT1000S의 진폭 주파수 특성이다. 센서는 판독 값의 ±5.0% 이내의 진폭 규격을 가지며, 실제 측정값은 0.63%으로 이는 높은 주파수에서도 양호한 특성을 보여준다. 넓은 주파수 범위에서 평탄성이 탁월하기 때문에 센서는 DC뿐 아니라 인버터 캐리어 주파수와 고주파 구성 요소를 분석하는 데에도 사용할 수 있다.

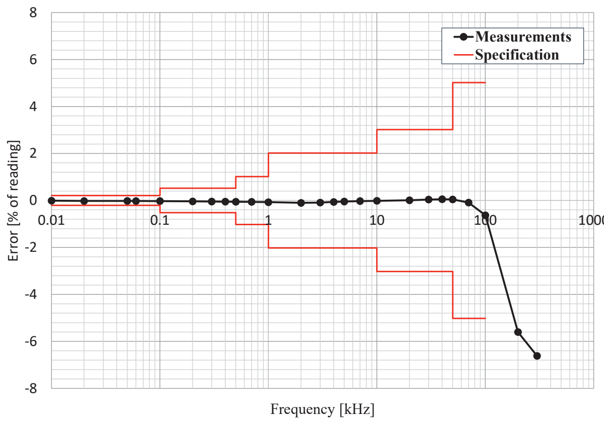

그림5 진폭 주파수 특성

성능: 위상 특성

그림 6는 CT1000S의 위상 주파수 특성이다. 최대 0.1kHz의 주파수 범위에서, 위상 에러 규격은 ±0.1° 이내이며 실제 측정값은 −0.03° 이다.

위상 오류가 작기 때문에 CT1000S는 전력계와 결합하여 높은 정확도로 전력을 측정하는데 사용할 수 있다. 일부 전력계에는 전압 입력과 전류 입력 사이의 딜레이를 보상하는 위상 보정 기능이 장착돼 있다. 그림 6의 실제 측정값(보정 후)은 이 기능을 사용할 때 발생하는 위상 에러이다. 보정하지 않은 경우와 비교하는 경우, 고주파 범위에서 조차도 위상 에러가 현저하게 감소하였다는 사실을 알 수 있다. 다시 말하면, 위상 보정 기능을 사용하여 높은 정밀도로 전력을 측정할 수 있다.

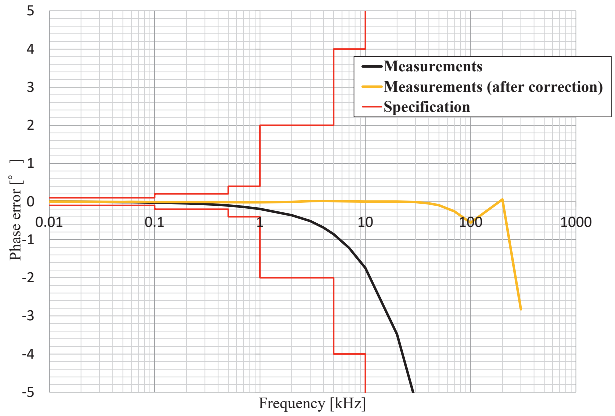

그림6 진폭 주파수 특성

성능: DC 특성

그림 7은 CT1000S의 DC 특성이다. 1,000A의 정격 전류에서 DC 특성 규격은 ±0.21% 이내이고, 이 때 실제 측정값은 0.021%이다. 우수한 선형성으로 인하여 CT1000S는 높은 정확도로 저진폭에서 고진폭까지 전류를 측정할 수 있다.

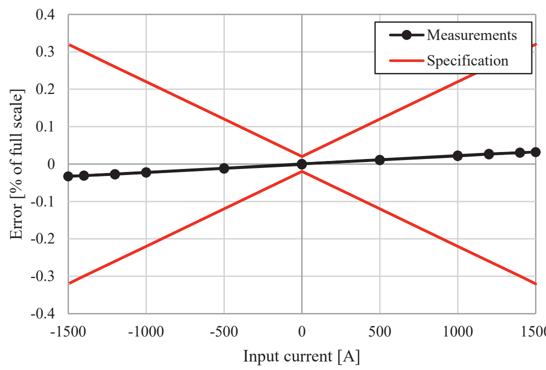

그림7 DC 특성

측정 기기와의 조합

CT1000S를 전력계와 함께 사용하는 경우, 전류 센서의 오프셋을 상쇄하는 널(null) 기능을 활용하여 저진폭 전류에 대하여 조차도 높은 정확도로 측정값을 구할 수 있다.

CT1000S를 오실로스코프와 같은 파형 측정 기기와 함께 사용하는 경우, 출력 노이즈가 낮은 특성으로 인하여 일반적인 FG 센서를 사용하는 전류 센서 보다 높은 신호 대 잡음비를 제공하기 때문에 저진폭 파형을 측정할 수 있다.

성능: 노이즈 허용 값

그림 8은 CT1000S의 노이즈 허용 값에 대한 지표인 CMRR (common mode rejection ratio–공통 모드 제거비) 특성을 보여준다. 이 논문에서 CMRR은 일차 컨덕터 전압 대 센서 출력 전압의 비를 의미한다. CMRR 규격은 50kHz에서 −100dB 이하이나 실제 측정값은 −133dB이다. 그림 9에서 확인할 수 있는 바와 같이, CMRR 특성은 정전기 차폐 효과로 인하여 저주파 및 고주파 모두에서 양호하다.

최근 몇 년 동안, 스위칭 장치의 속도가 빨라지면서 인버터 스위칭 속도도 증가하게 되었다[2]. 인버터의 위상 전류 측정 시, 측정한 전류 값을 운반하는 컨덕터의 전압 역시 빠르게 변하기 때문에 전류 센서에는 높은 CMRR이 요구된다. CT1000S의 CMRR 특성은 높은 주파수 성분을 포함하고 있는 인버터 신호를 측정할 때 우수한 파형 반복성을 제공할 수 있다.

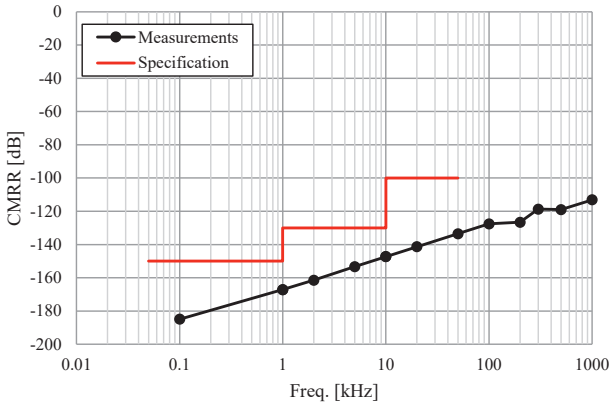

그림8 CMRR 특성

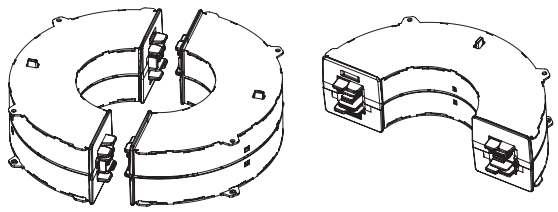

그림9 정전기 차폐 구조

Hall 소자 방식과 달리, FG 방식은 센서 섹션에서 반도체를 사용하지 않아 온도 변화에 안정적이며 장기간 탁월한 안정성을 제공한다. CT1000S는 자기 코어 내부에 자기 플럭스가 남아 있지 않는 제로 플럭스 방식을 채택하였다. 그림 11의 블록 다이어그램에서 확인할 수 있는 바와 같이, 제로 플럭스 방식은 코어 내의 자기 플럭스가 0이 될 수 있도록 구성된 음의 피드백 시스템이다. 상세한 작동 절차는 다음과 같다.

- 일차 전류 I_1은 자기 코어 내에서 자기 플럭스 Φ_{I1}를 생성한다.
- 코어 내의 플럭스 Φ_{I1}가 FG 센서에 의하여 탐지되는 경우, 이차 권선에 전류가 인가되어 코어 플럭스를 상쇄하는 Φ_{I2}가 생성된다. 이 때 FG 센서 출력의 게인이 매우 크기 때문에 $\Phi_{I1} = \Phi_{I2}$가 유효하게 되고, 그 결과 코어 내부의 자기 플럭스는 완전히 상쇄된다.
- 이차 권선을 통해 흐르는 전류 I_2의 IV 변환 결과를 센서 출력으로 사용함으로 일차 전류 I_1에 비례하는 센서 출력을 구할 수 있다.

이 작업을 통해 코어 내의 자기 플럭스가 최소화되고, 이는 자기 물질의 비선형 효과를 억제하게 되며, 그 결과 매우 정밀한 전류 측정이 가능하게 된다.

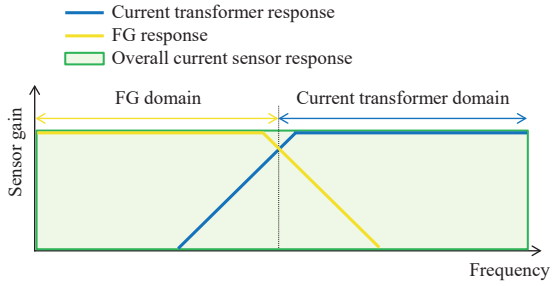

그림10 검출된 전류의 주파수와 전류 검출 방법 사이의 관계

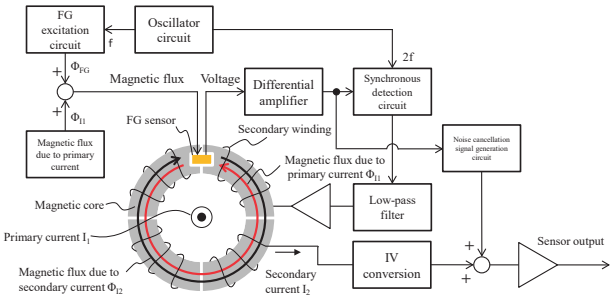

그림11 블록 다이어그램

CT1000S 기술 개요

전류 탐지 방법

그림 10은 CT1000S로 탐지한 전류의 주파수 범위와 해당 전류 탐지 방법 사이의 관계이다. AC (Alternating Current–교류) 영역의 경우, 전류 변환기의 원리에 따라 1차 전류를 권선 비율에 따라 2차 전류로 변환하여 전류를 탐지한다. 이러한 방법으로 탐지할 수 없는 DC로부터 저주파 전류까지의 경우, FG 방식이 사용된다.

플렉서블 인쇄 기판을 사용하는 FG 센서

CT1000S를 개발하면서, FPC(flexible printed circuit–플렉서블 인쇄 기판)으로 구성된 FG 센서를 제작하였고, 그림 12는 해당 센서의 개략도이다. 이 FG 센서의 구성은 다음과 같다.

• 손쉬운 수작업을 위한 보호된 자기 소재
• 대량 생산 시 특성 변화가 적음
• 커넥터 연결을 통한 간단한 센서 조립
• 유연한 형상 및 자기 플럭스 탐지 민감도를 손쉽게 증가시킬 수 있음
• 자기 소재와의 결합에 있어 높은 설계 자유도를 가능하게 해주는 얇은 프로파일
• 센서 개폐 시 벤딩 응력에 대하여 강하게 저항할 수 있는 높은 내구성

표준 FPC에 자기 소재를 삽입한 구조에서는 온도 특성이 좋지 않은 문제가 있었다. 따라서 CT1000S에서는 FPC 구조를 개선하여 양호한 온도 특성을 구현하였다. 다음 섹션에서는 FG 센서의 작동 원리에 대하여 설명하고 그 후 설계 개선 사항에 대하여 소개한다.

그림12 FPC로 제작된 FG 센서의 계통도

FG 센서의 작동 원리

그림 13은 코일이 감겨 있는 얇은 스트립 자기 소재로 구성된 FG 센서의 개략도이다. 이 센서는 자기 소재의 내부를 통과하는 일차 전류에 의해 자기 플럭스가 발생할 수 있도록 위치시킨다. FG 권선은 일정한 전류를 유지할 수 있도록 제어된 AC 신호원에 의하여 연결 및 구동된다. 자기 소재가 얇기 때문에, 자기 포화 상태에 쉽게 도달하게 되며 FG 권선에 발생하는 여자 전압의 파형은 왜곡된다. 그림 14 및 15는 FG 권선을 삼각파 AC 전류로 구동하는 예이다. 이 예의 경우 여자 전압의 피크에서 자기 포화가 발생한다. 그림 14는 일차 전류에 의하여 DC 자기 플럭스가 인가되지 않은 경우의 여자 전압 파형이다. 여자 전압 파형은 양의 방향과 음의 방향에서 대칭이고, 여기에는 기본 파형과 홀수 차수의 고조파만 포함된다. 동기 검출 회로는 여자 전압 파형을 여자 주파수의 두 배인 주파수를 가진 검출 신호와 곱하지만, 주파수가 서로 다르기 때문에 검출 후 파형의 평균 값은 0이 된다.

그림 15는 일차 전류에 의하여 DC 자기 플럭스가 인가된 경우 여자 전압의 파형이다. 전류 영점 교차와 전압 피크 사이의 시간에 초점을 맞추면 자기 소재가 포화 상태에 도달하기 시작하는 타이밍이 DC 플럭스가 인가되지 않은 경우인 그림 14와 달라진다는 사실을 발견할 수 있다. 이는 일차 전류에 발생하는 DC 자기 플럭스가 여자 자기 플럭스와 중첩되기 때문이다. 이로 인하여 파형은 양과 음의 대칭성을 상실하게 되고, 짝수 차수 성분인 이차 고조파를 포함하게 된다. 이 이차 고조파를 여자 주파수의 두 배인 검출 신호에 곱할 때 검출 후 파형에는 DC 성분과 여자 주파수의 4차 고조파가 포함된다. 이는 삼각함수 식인 $\sin(2\omega t)\cdot\sin(2\omega t) = \{\cos(0) - \cos(4\omega t)\}/2$를 사용하여 확인할 수 있다. 4차 고조파를 제거하기 위해 이 파형을 저역 통과 필터를 통과시키면, 일차 전류에 의해 생성된 DC 플럭스 성분에만 비례하는 전압을 구할 수 있다. FG 센서는 DC 자기 플럭스를 여자 주파수의 두 배로 변조하고 이렇게 함으로써 자기 소재의 온도 특성과 회로 DC 드리프트의 영향을 제거하면서 우수한 DC 성능을 구현할 수 있다.

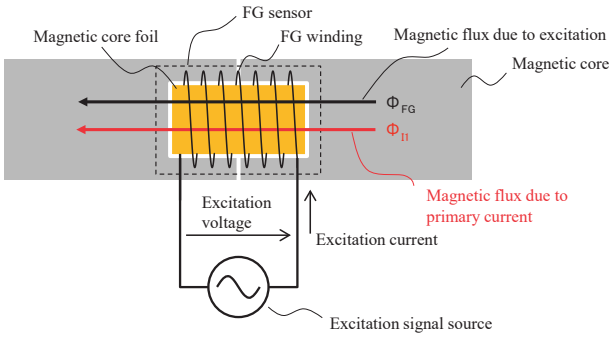

그림13 FG 센서의 계통도

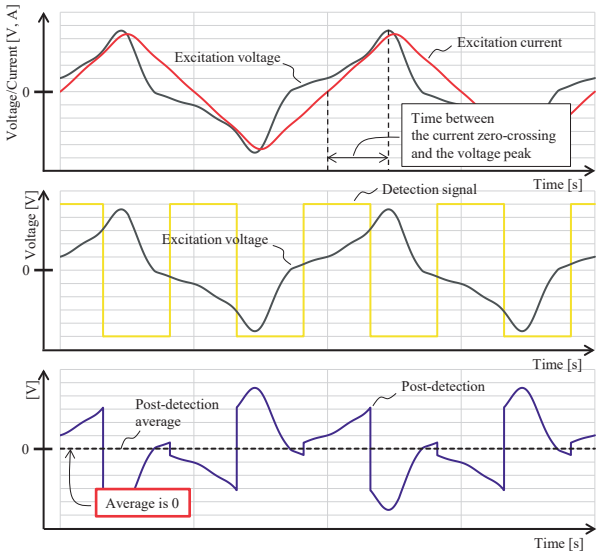

그림14 DC 자기 플럭스가 없는 경우의 여기 전압 파형

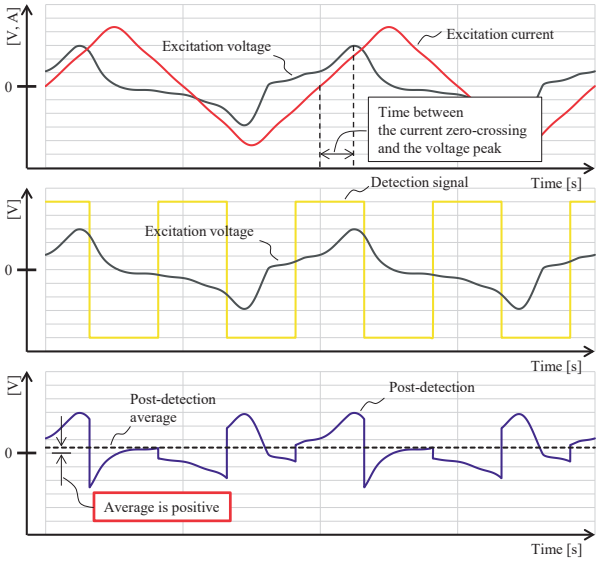

그림15 DC 자기 플럭스가 있는 경우의 여기 전압 파형

FPC를 사용하여 FG 센서를 구성할 때 발생하는 문제와 그 대응책

일반적으로 FG 센서는 양호한 DC 특성을 보이지만, FG를 FPC를 사용하여 제작하는 경우, 온도 특성이 저하되는 경향이 있다. 그림 16은 온도 특성이 저하된 FG 센서의 여자 전압 파형의 예이다. 주변의 온도가 −40°C 및 85°C인 주변 온도에서 여자 전압의 파형을 비교하면, 온도의 변화로 인하여 파형이 현저하게 변화한다는 사실을 알 수 있다. 먼저, FG 센서에서 게인의 변화를 고려해 보자. 여자 전압의 파형이 변하는 경우, DC 자기 플럭스가 FG 센서에 가해질 때 생성되는 이차 고조파 성분의 진폭도 변화하게 되는데, 이는 게인이 변동하게 된다는 의미이다. 그러나 CT1000S은 제로 플럭스 방식으로 작동하기 때문에 그러한 게인의 변동은 무시할 수 있을 정도로 압축되고, 문제가 되지 않는다. 다음으로 FG 센서에서 DC 드리프트를 고려해 보자. 이전 섹션에서 설명한 바와 같이 FG 센서의 작동 원리에 따르면 DC 드리프트는 발생하지 말아야 한다. 그러나 여자 전압 파형을 전달하는 증폭기의 양 및 음의 기울기 속도 특성에 차이가 있는 경우, 파형의 비대칭이 발생할 수 있다. 이로 인해 이차 고조파가 생성되게 된다. 이차 고조파가 전체 온도 범위에서 일정한 경우, DC 드리프트는 발생하지 않는다. 그러나, 그림 16에서 확인할 수 있는 바와 같이, 온도의 변화로 인하여 여자 전압의 파형이 현저하게 변화하는 경우, 증폭기에 의하여 생성된 이차 고조파의 진폭도 변동하게 되고 DC 드리프트의 결과를 가져오게 된다. 신호를 전송하는 증폭기의 기울기 속도 특성을 고려할 경우, FG 여자 전압 파형이 최소한의 변동을 보이는 것이 바람직하다.

그러한 파형의 변화는 FPC 제조 공정 중 FPC를 자기 물질과 함께 고정시키기 위해 사용하는 접착제가 원인이다. 접착제나 이와 유사한 요소를 사용하여 자기 물질에 기계적 응력이 가해진 경우, 응력의 양은 온도에 따라 변화하게 되고, 이는 결과적으로 물질의 자기 투과율에 상당한 변화를 초래하여 여자 전압 파형 변동의 원인이 된다. 이 문제를 해결하기 위해 CT1000S는 FPC와 자기 물질 사이에 접착제를 사용하지 않는 구조를 채택하였다. 그 결과, FPC를 사용하는 이점은 유지하면서 우수한 온도 특성을 가진 FG 센서를 구현할 수 있게 되었다(그림 17 참조).

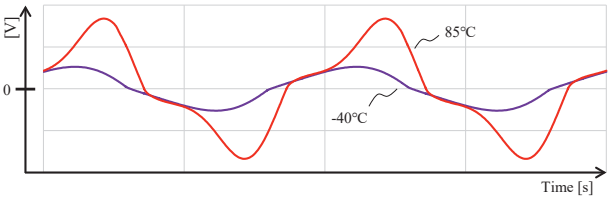

그림16 열화된 온도 특성을 가진 FG 센서에서 여기 전압 파형의 예

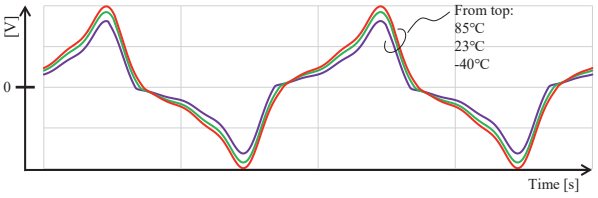

그림17 양호한 온도 특성을 가진 FG 센서에서 여기 전압 파형의 예

FG 여자 노이즈의 감소

이전 섹션에서 설명한 바와 같이, FG 센서는 여자를 통해 센서로서의 기능을 수행한다. FG 여자로 인하여 생성된 자기 플럭스는 이차 권선과 연계되고 이는 일차 전류와 관련없는 신호, 즉 여자 노이즈가 센서 출력에 나타나게 된다. 이러한 이유로 인하여 FG 센서를 사용하는 전류 센서는 보다 높은 출력의 노이즈가 발생하는 경향이 있고, 전류 파형의 측정에는 적합하지 않은 것으로 간주되었다. 현재 전류 파형을 측정하기 위해 Hall 소자 검출 방식을 기반으로 한 전류 프로브가 널리 사용되고 있다.

전류 파형 측정에 사용하기 위해 CT1000S는 FG 센서의 여자 신호로부터 생성된 센서 출력에 상쇄 신호를 추가하여 노이즈를 감소시킨다(그림 11의 노이즈 상쇄 신호 생성 회로 참조). 이 노이즈 상쇄 회로는 여자 노이즈의 양을 1/3 이하로 줄인다. 그림 18은 이러한 효과를 보여준다. 그 결과, CT1000S는 전력 계측기뿐 아니라 오실로스코프와 같은 파형 측정 장비에서도 높은 정밀도의 전류 측정 작업이 가능하다.

그림 19에서 출력 노이즈 레벨을 비교 확인할 수 있다. 여자 노이즈가 기존의 FG 센서에서는 크고 Hall 소자 센서에서는 작지만, CT1000S는 FG 센서를 포함하고 있음에도 불구하고 Hall 소자 센서와 비슷한 수준의 출력 노이즈를 구현하였다.

접착제를 사용하지 않는 구조를 채택하였다. 그 결과, FPC를 사용하는 이점은 유지하면서 우수한 온도 특성을 가진 FG 센서를 구현할 수 있게 되었다(그림 17 참조).

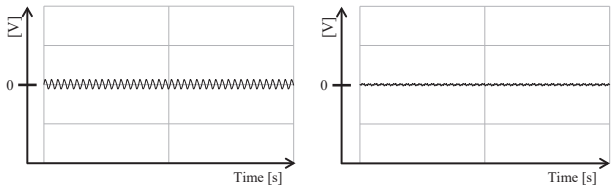

그림18 노이즈 캔슬 전(좌) 및 후(우)

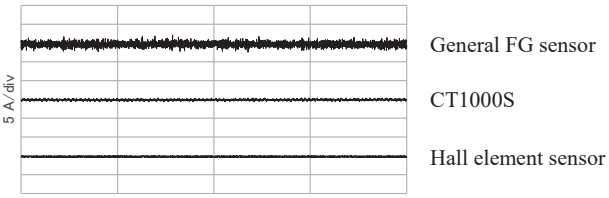

그림19 출력 노이즈의 비교

일차 컨덕터 위치의 효과

일반적으로 클램프형 및 관통 형 전류 센서의 정확도는 일차 컨덕터가 관통 홀의 중앙에 위치한 경우를 기준으로 지정된다. 이는 일차 컨덕터가 중심에 위치하지 않을 경우, 제로 플럭스 방식으로 작동하더라도 자기 코어에 자기 플럭스가 잔류하기 때문이다. 그림 20은 일차 컨덕터가 관통 홀 중앙에 위치하고 이차 권선에 플럭스를 상쇄하는 방향으로 전류가 인가되었을 때의 시뮬레이션 결과이다. 우리는 여기서 자기 내의 자기 플럭스가 효과적으로 상쇄되어 거의 0에 가깝다는 사실을 확인할 수 있다. 한편, 그림 21은 일차 컨덕터와 이차 권선 모두에서 전류 값이 동일하게 유지되지만, 일차 컨덕터가 관통 홀의 중심에서 벗어나 있는 경우를 시뮬레이션한 경우이다. 이차 권선에 동일한 상쇄 전류를 인가하였음에도 불구하고, 코어에는 현저한 양의 자기 플럭스가 잔류하였다. 이차 권선은 자기 코어의 주변을 순환하는 자기 플럭스만을 상쇄하였을 뿐이다. 따라서, 일차 컨덕터가 중앙에서 벗어나 있는 경우와 같이 자기 코어를 순환하지 않으면서 분산 및 수렴하는 플럭스는 상쇄할 수 없다. 이러한 자기 플럭스가 자기 코어에 잔류함으로 인하여 플럭스 밀도가 증가하게 되면, 자기 회로의 동작 지점이 이동하게 되고, 이로 인하여 선형성은 저하되며, 게인이 감소하여 측정 오차가 증가하게 된다.

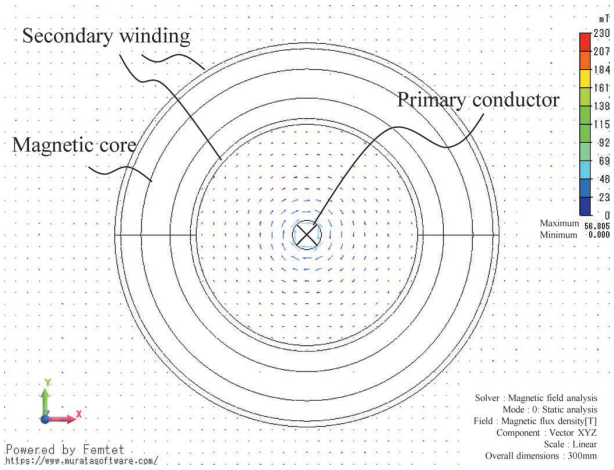

그림20 스루 홀의 중심에 1차 컨덕터가 위치하는 경우의 자기 플럭스 밀도 분포

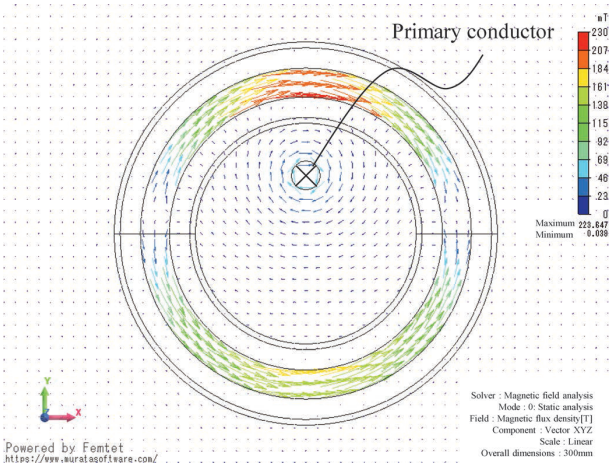

그림21 스루 홀에서 벗어난 위치에 1차 컨덕터가 위치하는 경우의 자기 플럭스

이러한 상쇄 불가능한 자기 플럭스가 발생하는 정도를 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 CT1000S에 필요한 차폐 구조와 자기 코어 단면적이 결정되었다. 그림 22에서 확인할 수 있는 바와 같이, 일차 컨덕터 위치의 영향은 미미하지만, 이를 추가적으로 더 감소시키기 위해 컨덕터의 위치 조정 장치를 사용하였다(그림 23 참조). 그림 24는 1kHz의 일차 전류 주파수에서 컨덕터 위치 조정 장치의 유무에 따른 측정값의 변화를 비교하여 보여준다. 결과는 조정 장치가 있는 경우의 측정값에서 컨덕터의 위치에 따른 영향력이 1/3 감소하였다는 사실을 확인할 수 있었다. 이는 CT1000S가 클램프형 센서임에도 불구하고 높은 재현성으로 측정 작업을 수행할 수 있다는 사실을 보여주는 것이었다.

Primary conductor position key
Variation evaluated relative to position (1)

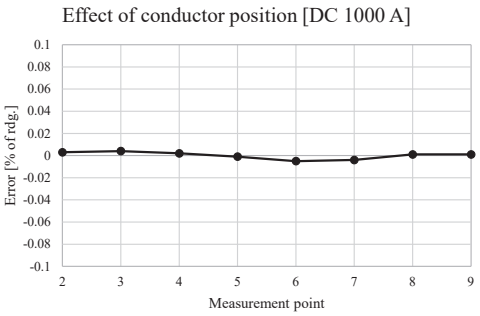

그림22 컨덕터 위치의 효과

그림23 컨덕터 위치 조정기(좌) 및 마운팅 시의 그림(우)

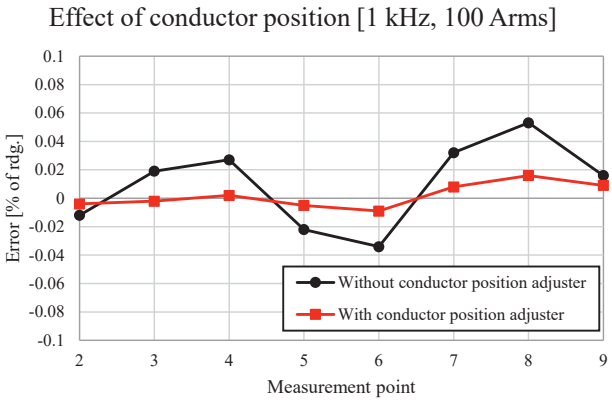

그림24 컨덕터 위치 조정기의 효과

완충재를 사용한 부유 구조

CT1000S 본체를 실수로 떨어뜨리는 경우 내부 센서 부분을 충격으로부터 보호하기 위한 보호 구조가 필요하다. 또한 측정 재현성을 향상시키기 위해 자기 코어가 닫힌 상태에서는 스플릿 섹션이 충분히 맞물려야 한다. 이러한 요구사항을 충족시키기 위해 CT1000S는 내부 구성 요소를 높은 충격 흡수력을 가진 완충재를 사용하여 지지하는 부유 구조를 채택하였다.

그림 25는 부유 구조의 세부 사항이다. 센서 섹션(하늘색)은 완충재(적색)로 모든 부분, 즉 위, 아래, 내부 및 외부를 감싸고 있고, 하우징 내부에 견고하게 고정돼 있다. 이러한 구조는 충격 하중을 받는 경우에도 확실하게 센서 섹션을 보호할 수 있다. 또한, 외부 완충재의 접촉면이 내측보다 더 크도록 설계하였기 때문에 센서 섹션이 안쪽으로 밀려들어가 스플릿 섹션이 충분히 맞물릴 수 있게 해준다.

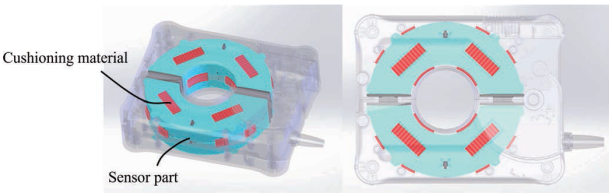

그림25 플로팅 구조

결론

이 논문은 CT1000S AC/DC 스플릿 코어 전류 센서의 특징과 개발 과정에서 구현된 기술에 대하여 설명하였다. CT1000S는 전력 측정과 파형 측정 모두에 대하여 사용할 수 있으며, 탈탄소화 사회를 실현하기 위한 다양한 기기의 개발에 기여할 수 있게 되기를 바라는 바이다.

참고문헌

(1) Ministry of Economy, Trade and Industry, FY2022 Annual Report on Energy (Energy White Paper 2023), 2024 (in Japanese)
(2) Katsuaki Suganuma, Hiroshi Yamaguchi, et al., System Integration of Wide Band Gap Semiconductors, CMC Publishing, 2016 (in Japanese)
(3) Toshihiko Iwata, “Cooperative Energy Management System Utilizing EV and PV,” Mitsubishi Denki giho, Vol. 93, No. 7, 2019, pp. 35-38 (in Japanese)

* All company names, organization names, product names, service names, and logos that appear in this paper are either registered trademarks or trademarks of Yokogawa Electric Corporation or their respective holders.