

## Technical Article

# 원활한 작동의 비밀: 다축 홀 효과 전류 센서로 정밀한 토크 제어를 구현하는 방법



- 다중 센서 전류 센싱 솔루션은 버스바를 변경하지 않고도 단일 축 코어리스 대안 방식에 비교했을 때 20배 우수한 1% 미만의 정확도를 구현합니다.
- EV 및 하이브리드 차량에서 불균일한 가속과 모터의 고주파 소음을 제거합니다.

자동차 제조업체들이 EV(전기 자동차)부터 하이브리드 차량, 또는 두 차량의 동시 출시에 이르기까지 다양한 전동화 전략을 추진함에 따라, 설계 엔지니어들은 주행 거리를 늘리고 효율을 향상하기 위해 전자 시스템, 특히 트랙션 인버터의 크기와 무게를 줄여야 하는 과제에 직면하고 있습니다.

트랙션 인버터는 배터리 전력을 변환하여 전기 모터 토크를 정밀하게 제어합니다. 모터 위상 전류의 사소한 측정 오류는 토크 제어 루프에 부정적인 영향을 미쳐 토크 리플을 유발할 수 있습니다. 이는 진동, 불균일한 가속, 원치 않는 잡음 및 비효율적인 작동으로 이어져 차량의 주행 거리를 줄입니다.

기존의 측정 방식에서는 트랙션 인버터의 크기 및 무게 절감과 정확도 중에서 하나를 선택해야만 했습니다. **업계 최초의 다중 센서 다축 홀 효과 전류 센서인 TMCS2100-Q1**은 성능 저하 없이 전류 측정 과제를 해결합니다. 이는 차세대 800V 아키텍처의 도입으로 트랙션 인버터의 정확도 요구사항이 점점 더 높아지는 환경에서 매우 중요한 핵심 역량입니다.

## C-코어에서 코어리스로: 한 문제를 해결하면 또 다른 문제가 생기는 이유

기존에는 엔지니어들이 차량의 모터 위상 전류를 측정하기 위해 C-코어 방식을 사용했습니다. 이 방식은 도체를 둘러싸는 자기 코어의 에어 갭에 선형 주변 홀 효과 센서를 배치하는 구조로 이루어집니다(그림 1).

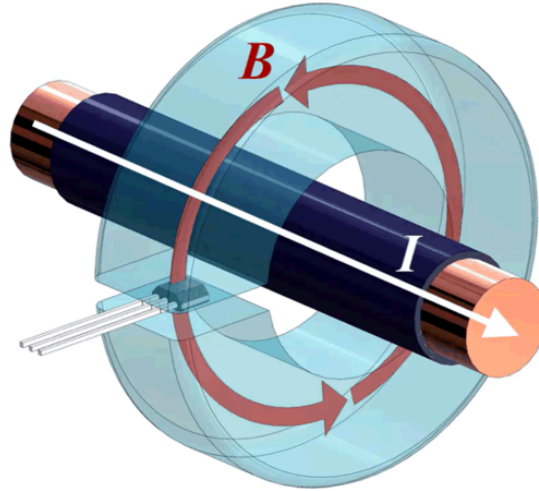


그림 1. 선형 주변 홀 효과 센서를 사용한 C-코어 구현

C-코어는 위상 간의 자기적 크로스토크를 제거하지만, 크기와 무게를 크게 증가시킵니다. 더 작고 가벼운 차량에 대한 업계의 요구로 코어리스 모터 위상 전류 측정 방식의 채택이 확대됨에 따라, 설계자는 위상 간 크로스토크와 진동으로 인한 변위 오차, 외부 자기장으로 인한 오프셋 오차를 해결해야 합니다.

### 변위 오차

코어리스 전류 센싱 솔루션은 전류를 직접 측정하는 것이 아니라, 앙페르의 법칙에 따라 도체에 흐르는 전류에 의해 생성되는 자기장을 측정합니다. 자기장의 세기는 도체에서 멀어질수록 감소하므로, 특정 전류값에 대해 도체와의 상대적 위치에서 측정되는 자기장 세기를 홀 효과 센서에 미리 설정해야 합니다.

센서에 전류와 자기장 간의 결합 계수를 설정한 후에는 센서가 해당 위치에서 벗어날 경우, 도체에 동일한 크기의 전류가 흐르더라도 센서가 감지하는 자기장의 세기가 달라집니다. 이로 인해 변위 오차가 발생합니다.

변위 오차에 영향을 주는 요소는 다음과 같습니다.

- 홀 효과 센서의 장치 간 편차.
- 어셈블리 기계 부품의 제조 공차.
- 어셈블리 공차.
- 차량 작동 중 발생하는 진동.

최종 단계 보정을 통해 이러한 요인의 대부분을 보정할 수 있습니다. 하지만 진동은 동적이고 무작위적인 변위 오차를 발생시키므로, 보정을 통해 이를 예측하거나 수정할 수 없습니다.

## 버스바 변경의 딜레마

진동은 코어리스 방식으로 전환할 때 발생하는 주요 과제 중 하나입니다. 버스바는 트랙션 인버터와 모터를 연결하며, 홀 효과 센서는 일반적으로 트랙션 인버터 내부의 인쇄 회로 보드에 배치됩니다. 절연 요구 사항으로 인해 버스바와 센서를 서로 견고하게 고정할 수 없으므로, 진동에 의해 둘 사이에 상대적인 움직임이 발생하며 이러한 움직임은 곧바로 측정 오차로 이어집니다. 이를 해결하기 위해 제조업체들은 다양한 버스바 형상을 개발해 왔으며, 각 형상은 자기 결합 강도와 상대적 움직임에 대한 민감도 사이에서 균형을 이룹니다.

차동 코어리스 솔루션은 최종 단계 보정이 수행되고 변위 오차가 0이 되는 공간상의 이상적인 지점에서 자기장의 변화를 기준으로 진동 영향을 평가합니다.

그림 2에서 보여 주듯이, 엔지니어는 이러한 이해를 바탕으로 센서의 변위로 인해 발생하는 특정 자기장의 크기( $|B|$ ) 변화를 계산할 수 있습니다.

- 자기장의 크기는 도체로부터의 거리( $d$ )에 반비례하여( $1/d$ ) 감소합니다.
- 자기장 세기를 최대화하기 위해 홀 효과 센서를 도체의 가장자리에 배치합니다.
- 차동 자기장은 크로스토크의 영향을 최소화합니다.
- z축 방향으로 변위가 발생할 경우, 수평 자기장( $B_x$ )은 수직 자기장( $B_z$ )보다 완만하게 감소합니다.
- x축 방향으로 변위가 발생할 경우, 수평 자기장( $B_x$ )은 수직 자기장( $B_z$ )보다 빠르게 감소합니다.
- 일반적인 진동은 0.5mm에서 0.7mm입니다.
- $|B|$ 의 변화는 전류 측정값의 오차로 직결됩니다.
- $|B|$ 의 변화는 각 축 오차의 제곱합의 제곱근으로 나타낼 수 있습니다(방정식 1).

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_z^2} \quad (1)$$

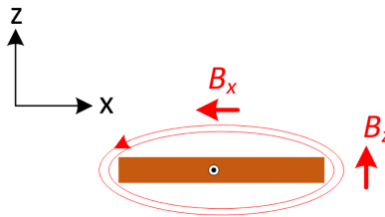


그림 2. 변위가 수평 및 수직 자기장 세기에 미치는 영향

시중에는 세 가지 유형의 차동 코어리스 센서가 있습니다. 수직 차동 코어리스 센서는 극성이 서로 반대인 두 개의 센서를 사용하여 수직 방향의 자기장만 측정하며, 버스바의 폭이 장치 내 센서 간격과 일치하도록 버스바를 변경해야 합니다(그림 3).

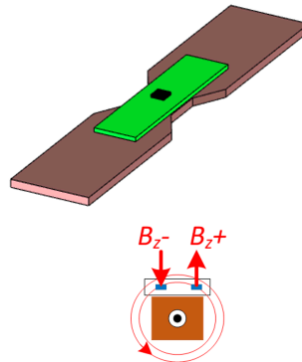


그림 3. 수직 차동 코어리스 솔루션

수평 차동 코어리스 센서는 극성이 서로 반대인 두 개의 센서를 사용하여 수평 방향의 자기장만 측정하며, 패키지 내 센서에 적합한 자기장 방향을 형성할 수 있도록 버스바에 노치를 추가하는 등의 변경이 필요합니다(그림 4).

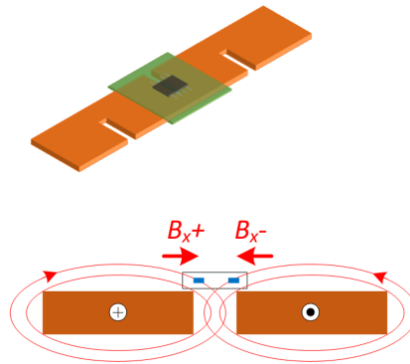


그림 4. 수평 차동 코어리스 솔루션

구멍 내부 차동 코어리스 센서는 버스바 중앙에 뚫은 구멍에서 생성되는 수평 자기장만 측정합니다(그림 5).

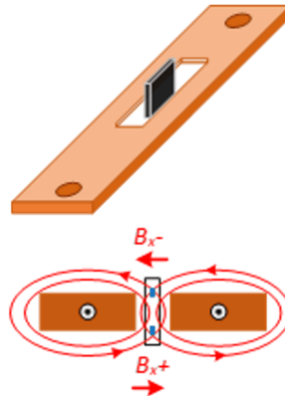


그림 5. 구멍 내부 차동 코어리스 솔루션

버스바를 기준으로 두 개의 장치를 사용하는 TI의 다중 센서 다축 방식은 버스바를 변경할 필요가 없으며, 다른 코어리스 솔루션에서 흔히 발생하는 핫스팟의 열 관리 문제를 단순화합니다(그림 6). 각 TMCS2100-Q1 장치는 버스바 가장자리에서 수평 및 수직 방향의 자기장을 모두 측정하여 계산에 필요한 자기장 정보를 100% 제공합니다. 이러한 전체 자기장 방식은 위상 간 자기적 크로스토크의 영향도 최소화하여 측정 정확도를 높이고 토크 리플을 줄입니다.

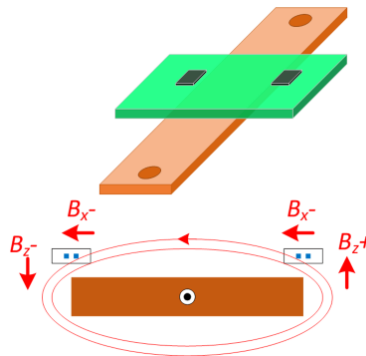


그림 6. 다중 센서, 다축 코어리스 솔루션

x축 방향으로만, z축 방향으로만 또는 두 방향으로 동시에  $d = 0.4\text{mm}$ 의 이동이 발생하는 단순한 진동 모델을 가정하면(표 1), 서로 다른 구현 방식에서 측정되는 자기장의 변화를 계산할 수 있습니다(표 2).

**표 1. 진동 범위 정의**

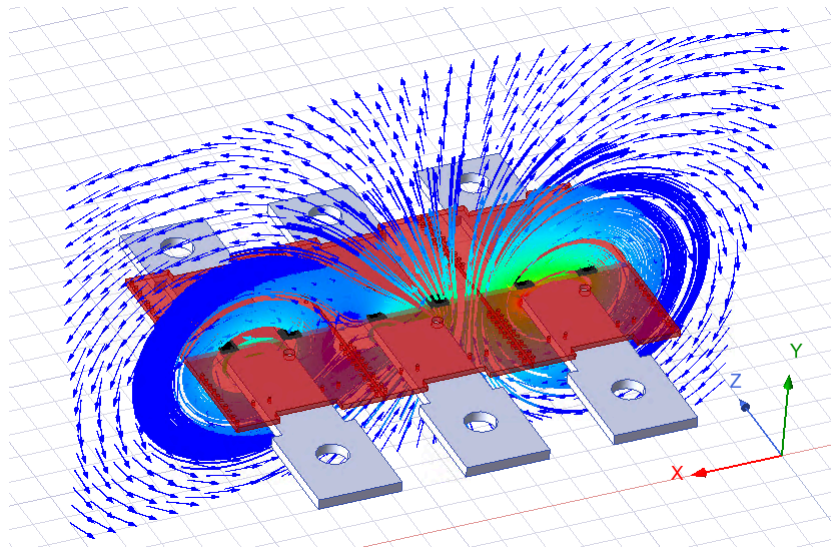
|                  |                   |                  |
|------------------|-------------------|------------------|
| $(x - d, z + d)$ | $(x, z + d)$      | $(x + d, z + d)$ |
| $(x - d, z)$     | 보정 지점<br>$(x, z)$ | $(x + d, z)$     |
| $(x - d, z - d)$ | $(x, z - d)$      | $(x + d, z - d)$ |

**표 2. TMCS2100-Q1은 코어리스 설계에서 가장 낮은 자기장 오차를 제공합니다**

|                  | 수직                                                                                                                                                                                                                                                                    | 수평                                              | 구멍 내부                                             | TMCS2100-Q1                     |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---|------|-----|------|-------|--------|--------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|---|------|-----|------|-------|--------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------|---|-------|-------|------|------|------|---|------|-----|------|-------|------|------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------|---|-------|-------|------|------|------|---|------|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| 초기 버스바 크기(w × t) | 18mm x 3mm                                                                                                                                                                                                                                                            | 18mm x 3mm                                      | 16mm x 2mm                                        | 18mm x 3mm                      |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| 센서를 위한 버스바 변경    | 3.5mm x 3mm<br>(장치 내 센서 간격에 맞추기 위한 노치)                                                                                                                                                                                                                                | 6mm x 3mm<br>(3개 슬라이스 - 슬라이스 폭을 장치 내 센서 간격에 맞춤) | 구멍:<br>10mm x 5mm<br>(버스바 두께는 장치 내 센서 간격과 일치해야 함) | 없음                              |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| 버스바와의 거리         | <2mm                                                                                                                                                                                                                                                                  | <3mm                                            | 버스바 내부                                            | >3mm                            |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| B 의 변화량          | B <sub>Z</sub> 만 해당                                                                                                                                                                                                                                                   | B <sub>X</sub> 만 해당                             | B <sub>X</sub> 만 해당                               | B <sub>X</sub> 및 B <sub>Z</sub> |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| 자기장 크기 오차        | <table><tr><td></td><td>x-0.4</td><td>x</td><td>x+0.4</td></tr><tr><td>z+0.4</td><td>18.1%</td><td>16.3%</td><td>18.1%</td></tr><tr><td>z</td><td>2.3%</td><td>Cal</td><td>2.3%</td></tr><tr><td>z-0.4</td><td>-17.9%</td><td>-21.1%</td><td>-17.9%</td></tr></table> |                                                 | x-0.4                                             | x                               | x+0.4 | z+0.4 | 18.1% | 16.3% | 18.1% | z | 2.3% | Cal | 2.3% | z-0.4 | -17.9% | -21.1% | -17.9% | <table><tr><td></td><td>x-0.4</td><td>x</td><td>x+0.4</td></tr><tr><td>z+0.4</td><td>15.9%</td><td>14.6%</td><td>15.9%</td></tr><tr><td>z</td><td>1.7%</td><td>Cal</td><td>1.7%</td></tr><tr><td>z-0.4</td><td>-15.7%</td><td>-18.1%</td><td>-15.7%</td></tr></table> |  | x-0.4 | x | x+0.4 | z+0.4 | 15.9% | 14.6% | 15.9% | z | 1.7% | Cal | 1.7% | z-0.4 | -15.7% | -18.1% | -15.7% | <table><tr><td></td><td>x-0.4</td><td>x</td><td>x+0.4</td></tr><tr><td>z+0.4</td><td>0.2%</td><td>2.9%</td><td>0.2%</td></tr><tr><td>z</td><td>2.3%</td><td>Cal</td><td>2.3%</td></tr><tr><td>z-0.4</td><td>0.2%</td><td>2.7%</td><td>0.2%</td></tr></table> |  | x-0.4 | x | x+0.4 | z+0.4 | 0.2% | 2.9% | 0.2% | z | 2.3% | Cal | 2.3% | z-0.4 | 0.2% | 2.7% | 0.2% | <table><tr><td></td><td>x-0.4</td><td>x</td><td>x+0.4</td></tr><tr><td>z+0.4</td><td>1.0%</td><td>1.1%</td><td>1.0%</td></tr><tr><td>z</td><td>0.0%</td><td>Cal</td><td>0.0%</td></tr><tr><td>z-0.4</td><td>-1.0%</td><td>-1.0%</td><td>-1.0%</td></tr></table> |  | x-0.4 | x | x+0.4 | z+0.4 | 1.0% | 1.1% | 1.0% | z | 0.0% | Cal | 0.0% | z-0.4 | -1.0% | -1.0% | -1.0% |
|                  | x-0.4                                                                                                                                                                                                                                                                 | x                                               | x+0.4                                             |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z+0.4            | 18.1%                                                                                                                                                                                                                                                                 | 16.3%                                           | 18.1%                                             |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z                | 2.3%                                                                                                                                                                                                                                                                  | Cal                                             | 2.3%                                              |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z-0.4            | -17.9%                                                                                                                                                                                                                                                                | -21.1%                                          | -17.9%                                            |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
|                  | x-0.4                                                                                                                                                                                                                                                                 | x                                               | x+0.4                                             |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z+0.4            | 15.9%                                                                                                                                                                                                                                                                 | 14.6%                                           | 15.9%                                             |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z                | 1.7%                                                                                                                                                                                                                                                                  | Cal                                             | 1.7%                                              |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z-0.4            | -15.7%                                                                                                                                                                                                                                                                | -18.1%                                          | -15.7%                                            |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
|                  | x-0.4                                                                                                                                                                                                                                                                 | x                                               | x+0.4                                             |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z+0.4            | 0.2%                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2.9%                                            | 0.2%                                              |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z                | 2.3%                                                                                                                                                                                                                                                                  | Cal                                             | 2.3%                                              |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z-0.4            | 0.2%                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2.7%                                            | 0.2%                                              |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
|                  | x-0.4                                                                                                                                                                                                                                                                 | x                                               | x+0.4                                             |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z+0.4            | 1.0%                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1.1%                                            | 1.0%                                              |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z                | 0.0%                                                                                                                                                                                                                                                                  | Cal                                             | 0.0%                                              |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |
| z-0.4            | -1.0%                                                                                                                                                                                                                                                                 | -1.0%                                           | -1.0%                                             |                                 |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |       |   |       |       |       |       |       |   |      |     |      |       |        |        |        |                                                                                                                                                                                                                                                              |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |       |   |       |       |      |      |      |   |      |     |      |       |       |       |       |

대부분의 트랙션 인버터 시스템은 모든 작동 조건에서 총 오차가 3% 미만이어야 합니다. 많은 설계 엔지니어는 진동 오차를 최대 1%로 할당하며, 이보다 더 낮은 오차를 선호합니다. 표 2에서 보여 주듯이, TMCS2100-Q1만이 모든 방향에서 0.4mm의 진동에 대해 1% 미만의 성능을 달성하는 반면, 경쟁 솔루션은 대부분의 조건에서 총 오차 허용 범위인 3%를 초과합니다. 변위가 더 작을 때는 TMCS2100-Q1의 강점이 더욱 두드러집니다. 0.1mm 이동 시 변위 오차가 0.25% 수준까지 떨어지며, 이는 단일 축 코어리스 방식의 대안 솔루션들보다 약 20배 더 정확한 수치입니다.

코어리스 차동 전류 측정에 다중 센서 다축 방식을 적용하면 진동으로 인한 오차를 최소화하는 동시에 버스바를 변경하지 않고도 다양한 기계적 구성에 적용하여 열 설계를 간소화할 수 있습니다. 그림 7에서는 모터를 제어하기 위해 트랙션 인버터에서 출력되는 전류에 의해 생성되는 자기장의 시뮬레이션을 보여줍니다.



**그림 7. 모터를 제어하기 위해 트랙션 인버터 전류 출력에 의해 생성되는 자기장의 시뮬레이션**

설계자는 TMCS2100 평가 모듈(TMCS2100EVM)을 사용하여 장치의 성능을 평가할 수 있습니다. 이 모듈에는 3D 프린팅 클립과 니켈 도금 버스바가 포함되어 있으며, 그림 8에 표시된 것처럼 사용자가 최대 3개의 버스바를 테스트할 수 있습니다. 이 평가 모듈은 TMCS2100 특성화 평가 모듈(TMCS2100CHAREVM)에 직접 연결되어 자기장 환경을 특성화하고 각 장치에 프로그래밍할 계수를 계산합니다.

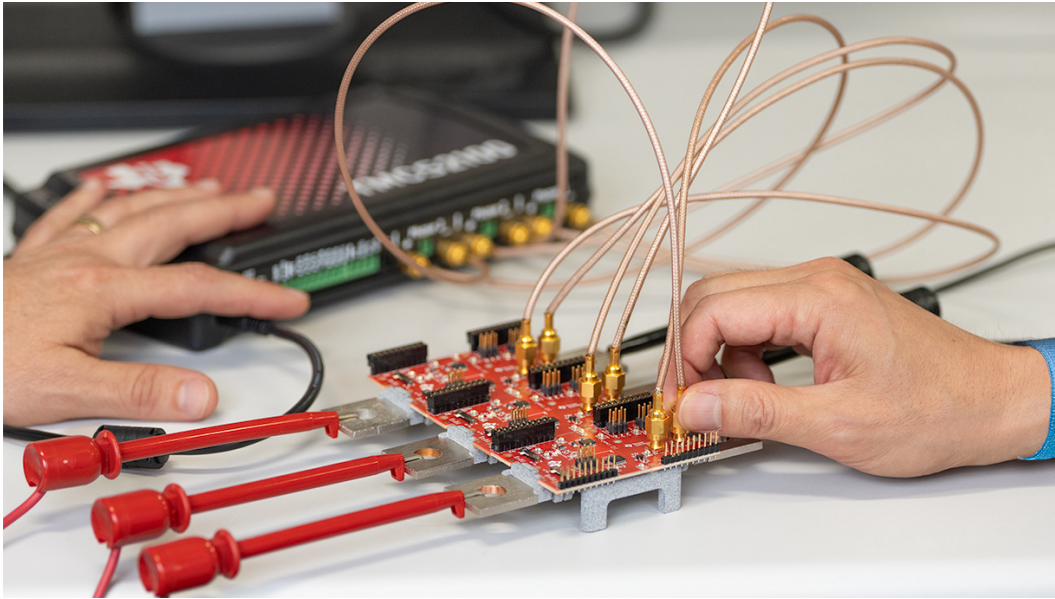


그림 8. 설계자는 TMCS2100EVM을 사용하여 장치의 기능과 성능을 평가할 수 있습니다. 이 평가 모듈은 TMCS2100 특성화 평가 모듈과 함께 사용되어 특성화 프로그래밍을 수행합니다

## 결론

전류 센싱 정확도 향상과 더불어 복잡성 및 비용 절감이라는 이점을 갖춘 이 기술은 차세대 EV 파워트레인을 구현하는 핵심 기술로 자리매김하고 있습니다. 자동차 제조업체들이 더 가볍고 효율적인 차량 개발을 추진하는 가운데, 다축 방식은 창조적인 엔지니어링 접근법을 보여줍니다.

TMCS2100-Q1 다축 코어리스 홀 효과 전류 센서는 여러 방향의 자기장을 동시에 측정하며, 단일 축 대안보다 최대 20배 높은 정확도를 제공합니다. 0.4mm 이동 시 1% 미만의 변위 오차(0.1mm에서는 최저 0.25%)를 달성하여 진동의 영향을 크게 줄여주며, 버스바를 전혀 변경할 필요가 없습니다.

## 추가 리소스

- [TMCS2100 평가 모듈](#) 및 [TMCS2100 특성화 평가 모듈](#)을 주문하세요.
- "[TI 코어리스 홀 센서, 전류 센싱을 재정의하다](#)"에서 TI의 코어리스 홀 센서와 기존 C-코어 홀 센서를 비교해 보세요.
- [고전력, 고성능 차량용 SiC 트래션 인버터 레퍼런스 설계](#)를 다운로드하세요.
- 기술 백서 "[EV 트래션 인버터의 설계 우선순위](#)"를 읽어보세요.
- 동영상 "[TI Precision Labs: 자기 전류 센싱 소개](#)"를 확인해 보세요.

## 상표

모든 상표는 각 소유권자의 자산입니다.

## 중요 알림 및 고지 사항

TI는 기술 및 신뢰성 데이터(데이터시트 포함), 디자인 리소스(레퍼런스 디자인 포함), 애플리케이션 또는 기타 디자인 조언, 웹 도구, 안전 정보 및 기타 리소스를 "있는 그대로" 제공하며 상업성, 특정 목적 적합성 또는 제3자 지적 재산권 침해에 대한 묵시적 보증을 포함하여(그러나 이에 국한되지 않음) 모든 명시적 또는 묵시적으로 모든 보증을 부인합니다.

이러한 리소스는 TI 제품을 사용하는 숙련된 개발자에게 적합합니다. (1) 애플리케이션에 대해 적절한 TI 제품을 선택하고, (2) 애플리케이션을 설계, 검증, 테스트하고, (3) 애플리케이션이 해당 표준 및 기타 안전, 보안 또는 기타 요구 사항을 충족하도록 보장하는 것은 전적으로 귀하의 책임입니다.

이러한 리소스는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TI는 리소스에 설명된 TI 제품을 사용하는 애플리케이션의 개발에만 이러한 리소스를 사용할 수 있는 권한을 부여합니다. 이러한 리소스의 기타 복제 및 표시는 금지됩니다. 다른 모든 TI 지적 재산권 또는 타사 지적 재산권에 대한 라이선스가 부여되지 않습니다. TI는 이러한 리소스의 사용으로 인해 발생하는 모든 청구, 손해, 비용, 손실 및 책임에 대해 책임을 지지 않으며 귀하는 TI와 그 대리인을 완전히 면책해야 합니다.

TI의 제품은 [TI의 판매 약관](#), [TI의 일반 품질 지침](#) 또는 [ti.com](https://www.ti.com) 이나 해당 TI 제품과 함께 제공되는 기타 조건의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다. TI가 명시적으로 제품을 사용자 정의 또는 고객 정의용으로 지정하지 않는 한, TI 제품은 범용의 표준 카탈로그 장치입니다.

TI는 사용자가 제안할 수 있는 어떠한 추가적이거나 상이한 조건도 반대하며 이를 거부합니다.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

최종 업데이트: 2025/10/25

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you fully indemnify TI and its representatives against any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may propose.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025