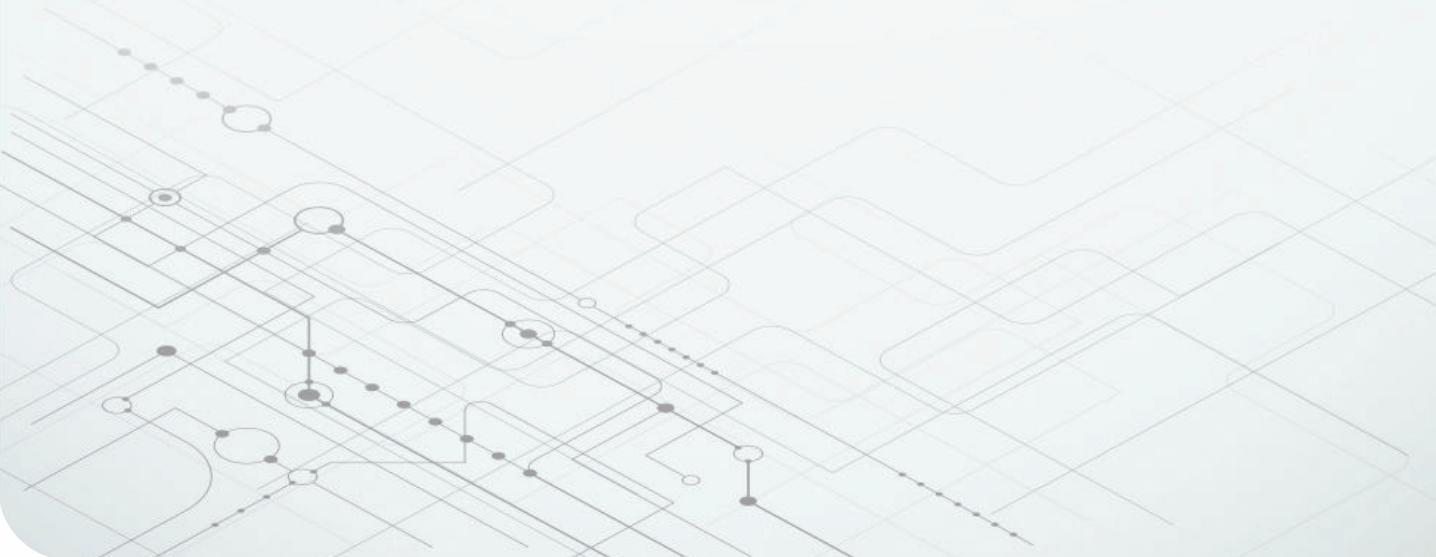


# 산업용 고정식 및 모바일 로봇의 안전한 전력 구현을 위한 전압 모니터링 통합



**Jackson Wightman**  
Applications Engineer  
Voltage References and Supervisors

**Kristen Mogensen**  
Systems Engineer  
Robotics Systems



# 한눈에 보기

-  1 전원 공급 장치 설계의 안전 고려 사항 및 잠재적 오류
-  2 산업용 시스템의 기능 안전 및 표준 소개
-  3 전압 통제기 IC를 사용한 전압 모니터링
-  4 전압 감시가 기능 안전 등급에 미치는 영향
-  5 안전한 토크 차단 설계 예

## 전원 공급 장치 설계의 안전 고려 사항 및 잠재적 오류

완벽한 세계에서 전원 공급 장치는 특정 설계 요구 사항 이상으로 흔들리거나 변하지 않는 정전압 및 전류를 제공할 것입니다. 하지만 현실 세계에서는 그런 일이 일어나지 않습니다. 전원 공급 장치는 오류를 유발하는 고유한 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라 종종 오류가 발생할 수 있습니다. 이러한 고장은 여러 형태로 나타납니다. 표 1에는 전원 공급 장치 장애 및 그 원인의 몇 가지 예가 포함되어 있습니다.

| 전원 공급 장치 고장의 영향     | 원인                            |
|---------------------|-------------------------------|
| 출력 전압 없음            | 전원 공급원의 결함                    |
| 너무 높은 전원 공급 장치 전압   | 부하 임피던스의 갑작스러운 변화, 다운스트림으로 단락 |
| 너무 낮은 전원 공급 장치 전압   | 부적절한 전원 공급 장치, 전원 공급 장치 고장    |
| MCU(마이크로컨트롤러) 브라운아웃 | 부적절한 전원 공급 장치, 전원 공급 장치 고장    |

### 표 1. 전원 공급 장치 고장 및 그 원인.

사람 주변에서 정기적으로 작동하는 장치와 기술을 설계 할 때는 전원 공급 장치 고장의 위험을 완화하는 적절한 조치를 취해야 합니다. 이는 산업용 모바일 로봇, 협동 로봇 또는 고장이 치명적인 기타 기술을 비롯한 다양한 응용 분야에 해당됩니다. 예를 들어, 모터 구동 애플리케이션에서 장치의 토크를 예측할 수 없는 상황은 매우 위험할 수 있습니다.

하지만 전원 공급 장치가 사양에서 벗어난 것을 어떻게 감지할 수 있을까요? 전원 공급 장치 변화가 문제가 되는 시점은 무엇일까요? 산업용 애플리케이션을 위한 전체 시스템 전반에 걸쳐 잠재적 결함이 어떻게 전달될까요?

## 산업용 시스템의 기능 안전 및 표준 소개

정의된 기능 안전 표준은 시스템이 안전한지 여부를 결정 하는 데 도움이 됩니다. 가장 널리 사용되는 표준은 IEC 61508 및 국제 표준화 기구(ISO) 13849입니다. 두 표준 모두 고장 모드 진단 범위 또는 안전 고장 비율과 하드웨어 내결함성을 검토하여 시스템이 충족하는 안전 무결성 수준(SIL) 또는 성능 수준(PL)을 결정합니다. 표 2에 이러한 등급이 요약되어 있습니다.

이 백서에서는 IEC(국제 전기 표준 회의) 61508 표준을 준수하면서 안전한 전원 공급 장치를 설계하는 방법을 살펴봅니다. 전원 공급 장치 모니터링 설계 관행과 안전한 전력 공급 및 원활한 고장 복구를 위해 전압 감시가 필수인 이유를 시연합니다. 내장 자체 테스트(BIST) 및 래치 클리어 핀과 같은 전압 통제기 집적 회로(IC) 기능은 정확한 전압 모니터링 외에도 기능적으로 안전한 설계 관행을 크게 개선 할 수 있는 새로운 기능입니다.

## 머리말

최신 제조 시설에서 산업용 고정식 및 모바일 로봇을 위한 모터 드라이브는 공장 출력, 효율성 및 안전성을 높이는 데 도움이 됩니다. 그러나 공장의 직원들이 점점 더 많은(점점 더 강력한) 자동화 로봇과 함께 작업함에 따라 시스템 설계자는 더 엄격한 안전 요구 사항을 충족해야 합니다. 표준 또는 신기술을 사용하고 전원을 사용하는 것은 직원과 로봇 간의 진정한 협업을 가능하게 하기 위해 어떤 상황에서도 안전해야 합니다. 또한 고장 발생 시 적절하게 전원을 끄거나 작동을 조정하는 것이 안전의 주요 요소입니다. 이러한 로봇 또는 다른 전자 장치를 위한 안전한 전원 설계는 시스템 수준의 기능 안전 요구 사항을 달성하는 데 필수적입니다.

| 하드웨어 내결합성(HFT) |      |      |            | 카테고리      |   |   |   |   |
|----------------|------|------|------------|-----------|---|---|---|---|
| IEC 61508      |      |      |            | ISO 13849 |   |   |   |   |
| 0              | 1    | 2    | SFF        | DC        | 1 | 2 | 3 | 4 |
| -              | SIL1 | SIL2 | 60% 미만     | 없음        |   |   |   |   |
| SIL1           | SIL2 | SIL3 | 60% ~ <90% | 낮음        | c | c | d |   |
| SIL2           | SIL3 | SIL4 | 90% ~ <99% | 중간        |   | d | e |   |
|                | SIL4 | SIL4 | ≤99%       | 높음        |   |   |   | e |
| 유형 B           |      |      |            |           |   |   |   |   |

표 2. IEC 61508과 ISO 13849 안전 표준 비교.

표 2를 가이드로 사용하여 각 IEC 61508 SIL 또는 ISO 13849 PL을 얻는 여러 방법이 있음을 알 수 있습니다. 적절한 안전 고장 비율 또는 진단 범위와 하드웨어 내결합성을 갖춘 시스템을 설계하면 이러한 수준 중 하나에 도달할

| 측정        | 정의   |
|-----------|--|
| 하드웨어 내결합성 | 안전 기능을 유지하면서 시스템에 대해 허용 가능한 최소 고장 횟수   |
| 안전한 고장 비율 | $\frac{\text{Total safe failures} + \text{Total detected dangerous failures}}{\text{Total safe failures} + \text{Total detected dangerous failures} + \text{Total undetected dangerous failures}} \quad (1)$ |
| 진단 범위     | $\frac{\text{Total detected dangerous failures}}{\text{Total detected dangerous failures} + \text{Total undetected dangerous failures}} \quad (2)$   |
| SIL       | 기능 안전 등급 시스템   |

표 3. 중요한 기능 안전 등급 용어.

## 전압 통제기 IC를 사용한 전압 모니터링

전압을 모니터링하는 방법에는 여러 가지가 있습니다. 또한 모니터링할 전압을 선택하는 것도 달라질 수 있습니다. 모든 산업용 애플리케이션에서 과전압 또는 부족 전압 조건의 경우 최대 48V나 0.8V의 낮은 전압을 모니터링해야 할 수 있습니다. 다행히도 기능적으로 안전한 설계의 몇 가지 측면을 활성화할 수 있는 시스템에서 중요한 전압 레일을 모니터링하는 효과적인 방법이 있습니다. 정확한 전압 감시를 통해 시스템을 완전히 고거나, MCU를 재설정하거나, 안전한 상태를 달성하기 위해 다른 시스템 수준의 선택을 해야 하는 시기를 알 수 있습니다. 안전 관련 전압 레일을 지속적으로 모니터링하지 않으면 시스템은 잠재적으로 위험한 상황이 발생할 경우 조치를 취할 수 없습니다.

개별 부품을 사용하여 전압 모니터링 회로를 설계하는 방법이 있지만, 기능 안전 중심 시스템에서는 전압 모니터링 기능이 하나의 서브시스템 회로에 통합되면 진단 범위를 훨씬 더 쉽게 결정할 수 있습니다. 임계값 정확도, 정동작

수 있습니다. 특히 전원 공급 장치의 전압을 모니터링하면 진단 범위를 늘릴 수 있습니다. 전압 모니터링을 구현하면 하드웨어 내결합성을 높일 수도 있습니다.

표 3에서는 이러한 각 안전 매개 변수에 대한 자세한 정보를 제공합니다.

보시다시피 가능한 실패 횟수뿐만 아니라 실패 발생 가능성도 고려해야 합니다. 또한 진단 커버리지나 안전 고장 비율을 높임으로써 하드웨어 내결합성을 변경하지 않고 SIL 또는 PL로 이동할 수 있으며 그 반대의 경우도 마찬가지입니다. 전압 모니터링은 시스템의 진단 범위 또는 안전 고장 비율을 결정하고 시스템 솔루션의 잔류 FIT를 줄이는 데 필수적입니다.

전류, 리셋 시간 지연, 래칭 기능, 전압 히스테리시스, 출력 유형 및 BIST의 다양한 조합이 포함된 전압 감시기 IC가 기능 안전에 특히 유용한 이유도 바로 이 때문입니다.

표 4에는 몇 가지 전압 통제기 매개 변수 및 기능이 나열되어 있습니다.

| 매개 변수 또는 기능 | 설명  |
|-------------|---|
| 임계값 정확도     | 공칭 임계값 전압 주변의 정확도 백분율입니다.   |
| 최대 입력 전압    | 장치가 모니터링할 수 있는 최대 전압입니다.  |
| 정동작 전류      | 유류 상태에서 장치가 소비하는 전류의 양입니다.  |
| 재설정 시간 지연   | 더 이상 고장이 없으면 장치가 고장 상태에서 해제되는 데 걸리는 시간입니다.                                    |
| 전압 히스테리시스   | 임계값과 디어설션 임계값 사이의 차이입니다. 이 매개 변수는 모니터링되는 전압이 진동하는 경우 잘못된 디어설션을 방지하는데 도움이 됩니다. |
| 출력 토플로지     | 액티브 로우 또는 액티브 하이 형식을 사용한 전압 통제기(오픈 드레인 또는 푸시-풀)의 출력 핀입니다.                     |

| 매개 변수 또는 기능 | 설명  |
|-------------|---|
| 래치          | 고장이 발생하면 통제기 IC가 로직을 지우기 위한 신호를 수신할 때까지 고장을 나타내는 핀이 어설션된 상태로 유지됩니다. |
| BIST        | 내부 장치 진단을 통해 내부 고장을 확인합니다.  |

표 4. 중요 전압 통제기/매개 변수

전압 통제기 IC는 전압을 모니터링합니다. 전압이 부족 전압 또는 과전압 상태로 들어가면 전압 통제기가 MCU에 알리고, 전원 스위치를 전환하거나 게이트를 구동할 수 있습니다. 전압 통제기는 전원 공급 장치의 변화를 감지하고 전원 공급 장치를 안전하고 효과적으로 신속하게 분리할 수 있습니다. 저전압 및 과전압을 모두 모니터링하는 통제기는 원도우 통제기라고도 합니다. 사용 중인 전압 모니터링 유형도 기능 안전 등급에 영향을 미칩니다.

표 5에는 이러한 등급이 나열되어 있습니다.

| 전압 모니터링 유형       | 잠재적인 진단 범위 또는 안전한 고장 비율 |
|------------------|-------------------------|
| 과전압              | 60%                     |
| 원도우(과전압 및 부족 전압) | 90% ~ 99%               |

표 5. 전압 모니터링이 DC에 미치는 영향.

안전 회로를 설계할 때는 진단 범위의 수준을 고려하는 것이 중요합니다. 또한 전압 통제기 IC를 사용하면 필요한 회로 부품의 수를 줄일 수 있어 설계가 간단해집니다.

## 전압 감시가 기능 안전 등급에 미치는 영향

목표 SIL 또는 PL을 위해 설계할 때는 설계의 이중화를 나타내는 하드웨어 내결함성 또는 안전 고장 비율을 고려하고 시스템에 전압 모니터링을 구현한 방법을 고려하는 것이 중요합니다. 가장 일반적인 두 가지 표준은 기능 안전 등급을 정립하거나 높이는 몇 가지 다른 방법을 정의합니다. 전압 모니터링은 이러한 결정을 내리거나 기능 안전을 높이는 데 필수적인 부분입니다. 전압 모니터를 사용하는 SIL 2 지원 설계를 보여주는 [그림 1](#) 및 [그림 2](#)를 참조하십시오.

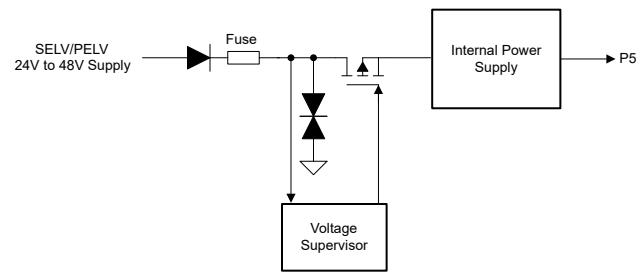


그림 1. IEC 61800-5-2 전원 공급 장치 및 전압 모니터링을 보여주는 고압측 안전 전원 공급 장치 구현.

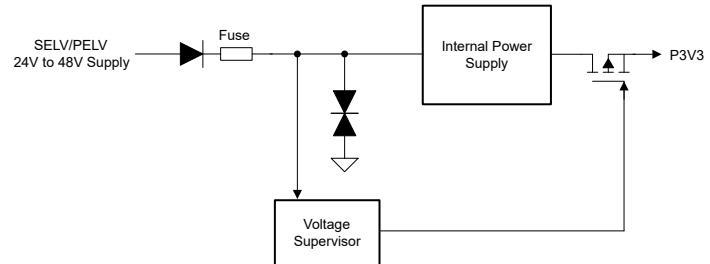


그림 2. IEC 61800-5-2 구현의 또 다른 옵션은 전원 공급 장치와 전압 모니터링을 보여주는 저압측 안전 전원 공급 장치입니다.

그림 2에서 전압 통제기는 과전압 및 부족 전압을 모니터링할 수 있는 하나의 단일 채널로 작동합니다. 전압 통제기의 출력은 안전한 작동 범위를 벗어나는 전원 공급 장치를 분리하거나 MCU에 고장 상태를 알릴 수 있습니다. [그림 1](#) 및 [그림 2](#)의 회로는 하드웨어 내결함성이 0이며 안전한 고장 비율 또는 최대 90%까지 진단 범위를 제공할 수 있습니다. 이러한 이유로 [그림 1](#)은 최대 SIL 2 또는 PL d 등급을 제공할 수 있습니다.

동일한 로직을 사용하여 회로 구성의 하드웨어 결함 허용을 높이면 기능 안전 수준이 높아집니다. [그림 3](#)에서는 전압 모니터링을 사용하면서 회로 구성의 하드웨어 결함 허용을 높이는 방법의 예를 보여줍니다.

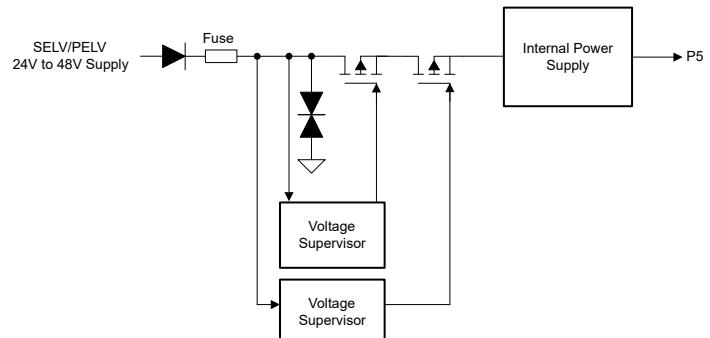


그림 3. 전압 모니터링을 사용하는 SIL 3 지원 전원 공급 장치에 대한 블록 다이어그램.

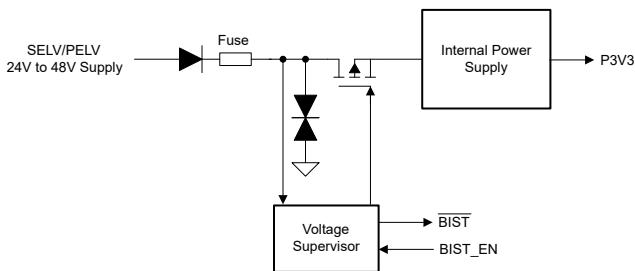
두 개의 전압 통제기를 병렬로 사용하면 과전압 또는 부족 전압 조건을 모니터링하기 위한 두 채널이 제공됩니다. 이러한 전압 모니터는 각각 시스템의 나머지 부분으로부터 전원 레일을 분리하는 자체 방법에 연결되어 있기 때문에, 한 전압 통제기가 고장 나더라도 공급 전압이 사양을 벗어날 경우 지정된 단계를 정확하고 안전하게 수행할 수 있어 설계에서 SIL 3의 높은 정격을 달성할 수 있습니다.

**그림 3**에 나와 있는 것과 같이 회로 구성의 기능 안전을 개선하는 또 다른 방법은 전압 감시 구현 방법의 다양성을 사용하는 것입니다. 전압 감시 장치 사이의 IEC61508 표준에 설명된 대로 일반적인 원인 고장의 경우를 생각해 보십시오. 두 가지 전압 통제기 기술을 사용하여 동일한 공급 레일을 모니터링할 경우 공통 모드에 있을 때 고장의 확률을 줄여줍니다.

예를 들어, 전압 임계값 값이 다른 두 개의 전압 통제기를 선택하면 다양성을 높일 수 있습니다. 다른 예로, **그림 3**에 나와 있는 것과 같은 회로 구성에서 전압 감시 기능 블록 중 하나에 TI의 TPS3762를 사용하고 다른 하나는 TI의 TPS37을 사용하면 추가적인 기능 다양성도 제공할 수 있습니다. 그 이유는 두 개의 서로 다른 설계를 가진 두 개의 다른 장치이기 때문입니다.

여기에서 한 가지 질문은 전압 모니터링 방법에 실패하거나 전압 모니터링 회로를 구성하는 부품이 제대로 작동하지 않을 경우 어떻게 해야 하는지 묻는 것입니다. 이는 전압 통제기 IC가 특히 유용한 또 다른 예입니다. 일부 전압 통제기 IC에는 BIST 기능이 포함되어 있습니다. 이러한 통제기는 사용자가 장치 자체 기능을 테스트하도록 요청할 수 있는 입력 핀도 있는 윈도우 전압 모니터입니다. 요청 시 전압 모니터는 내부 테스트를 수행하고 여전히 예상대로 작동하고 있음을 나타내는 신호를 제공합니다.

**그림 4**에서는 이러한 구현을 보여줍니다.



**그림 4.** BIST 기능을 갖춘 전압 통제기 IC를 사용한 전압 모니터링!

전압 모니터링 방법 자체에 대한 진단 범위를 제공하는 경우 BIST 기능이 있는 전압 통제기 IC가 수행하는 경우 시스템의 진단 범위를 99%까지 높일 수 있습니다. 이는 매우 높은 수준의 커버리지를 제공합니다. 이러한 높은 진단 범위를 통해 시스템이 적절한 하드웨어 내결합성을 가진 회로에서 구현될 때 SIL 3 또는 PL e 수준의 기능 안전에 도달할 수 있습니다. 이러한 통합된 기능이 있는 디바이스의 예는 TI의 TPS3762입니다.

전압 모니터링 디바이스를 사용할 때의 또 다른 이점은 고전압을 모니터링할 수 있다는 것입니다. 예를 들어 TPS3762는 최고 65V를 모니터링할 수 있어 넓은 입력 전압 범위를 가진 유사 장치 및 전원 레일에 직접 연결하고 모니터링 및 기타 진단을 제공할 수 있습니다. 예를 들어 일부 설계에서는 표준 IEC 60449-1에 정의된 전압 범위인 추가 저전압(ELV)가 필요합니다. 이제 ELV 정의는 IEC 62368 표준의 SELV 정의를 정의하기 위해 재사용되었습니다. 여기서 일부 전기 에너지원 수준은 전원 공급 장치의 출력에서 특정 전압보다 높은 전압을 허용하지 않습니다. 예를 들어, 전기 에너지 소스 레벨 ES1은 전원 공급 장치의 출력에서 60V보다 높은 것을 허용하지 않습니다.

이러한 점을 염두에 두고, 안전 여분의 저전압 전원 공급 장치를 위해, 안전한 최대 전압 레벨은 60V<sub>DC</sub> 최대값으로 설정되며, 안전한 전원 공급 장치는 안전 여분의 저전압 표준을 충족하지 못하기 전까지는 매우 짧은 기간 동안만 이 양을 초과할 수 있습니다. 60V<sub>DC</sub>는 안전 표준에 대한 매우 일반적인 최대 전압이며, 여기에는 안전 초저전압 및 보호 초저전압 등이 포함됩니다. 이러한 이유로 TPS3762와 같은 넓은 입력 전압 장치는 65V로 모니터링할 수 있는 최대 입력 전압을 가집니다.

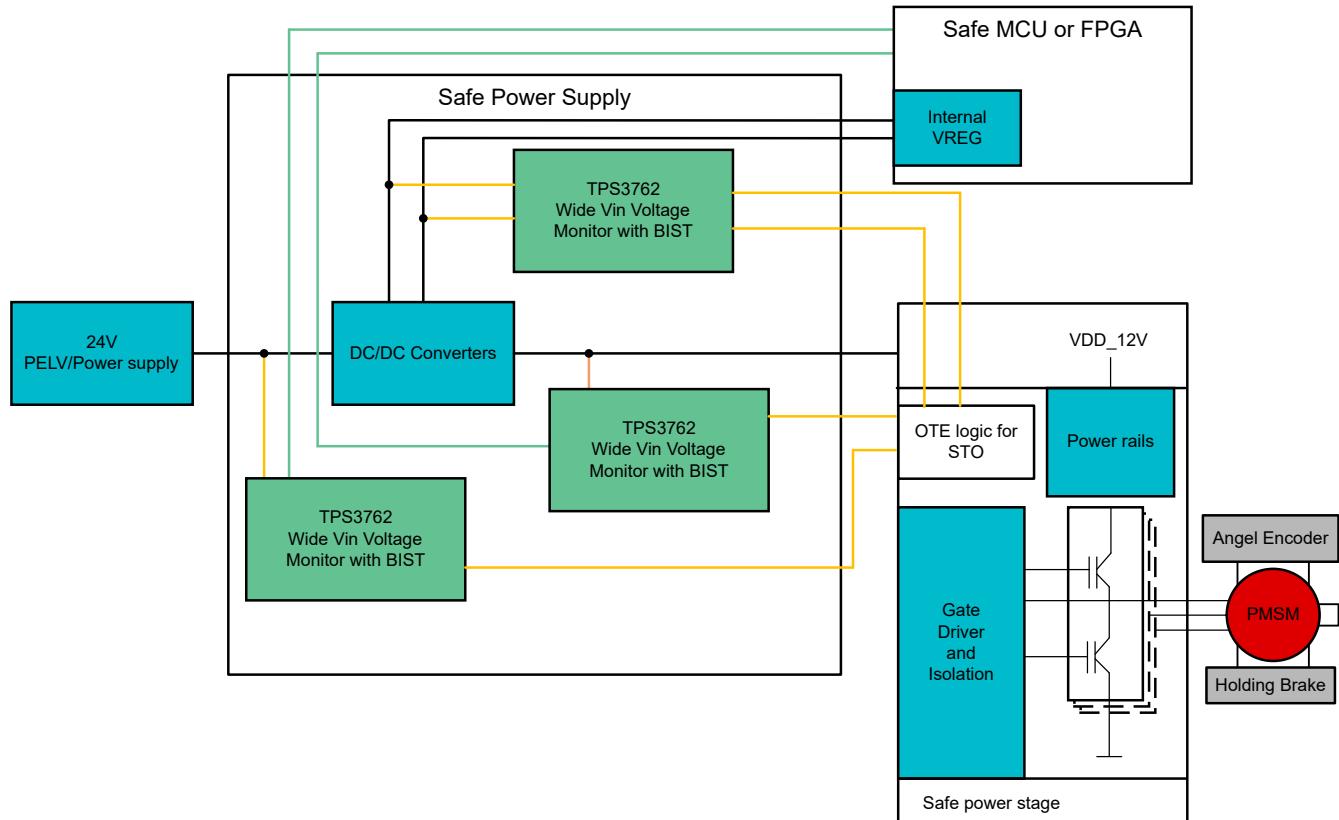
## 안전한 토크 차단 설계 예

모터 드라이브 단계는 많은 산업 공정에 필수적이며, 안전이 가장 중요한 다양한 환경에서 사용됩니다. 많은 로봇들은 사람과 나란히 작업할 때 모터를 사용합니다. 모터 구동 애플리케이션에서는 잠재적으로 위험한 상태가 발생할 경우 시스템을 종료하기 위해 적절한 조치를 취하는 것이 절대적으로 중요합니다. **표 1**에 나열된 것과 같은 상황은 갑작스러운 위험한 모터 작동으로 이어질 수 있습니다.

안전 모터 드라이브의 중요한 측면 중 하나는 안전 토크 차단 회로를 구현하는 것입니다. 모든 모터 드라이브에는 전

력 단계 회로 외에 게이트 드라이버와 절연될 수 있는 전력 단계가 있습니다. 전압 통제기 IC를 사용하여 게이트 드라이버 및 전력 단계의 전원 공급 장치 레일을 모니터링하는 것은 시스템의 기능 안전 등급을 결정하는 데 매우 유용합

니다. **그림 5**는 SIL 2 또는 PL d 정격 안전 토크 차단 시스템 블록 다이어그램의 예입니다.



**그림 5.** SIL 2 또는 PL d 정격 안전 토크 차단 시스템 블록 다이어그램.

**그림 5**에는 몇 가지 전압 모니터링 인스턴스가 있습니다. 24V 전원 공급 장치와 MCU 또는 필드 프로그래머블 게이트 어레이의 전원 단계에서 사용되는 다양한 절연 입력이 있습니다. 이러한 전압 모니터링 체계는 하드웨어 내결합성이 0입니다. 그러나 TPS3762 및 BIST 기능의 원도우 전압 모니터링에서 제공하는 높은 진단 범위 덕분에 SIL 2 또는 PL d 정격 시스템을 얻을 수 있습니다.

## 결론

기술이 발전할수록 우리는 이러한 발전이 인간의 삶에 어떤 영향을 미치는지에 대해 더욱 전략적으로 생각해야 합니다. 기계, 로봇 및 전자공학의 새로운 발전을 효과적으로 활용하는 법을 배우기 때문에 안전은 필수적입니다. 전원 공급 장치 설계의 기능적 안전성을 높이면 궁극적으로 더욱 인상적이고 강력한 모터 구동 애플리케이션을 만들 수 있습니다. 전압 통제기와 같은 고급 칩 덕분에 설계자는 시스템에 안전 결함이 있을 수 있는 시기를 안전하게 파악하고 안전을 위해 적절한 조치를 취할 수 있습니다.

기능 안전은 향후 몇 년 동안 점점 더 중요해질 것입니다. 전압 모니터링을 사용하여 모든 애플리케이션의 기능 안전을 이해하고 향상하면 더 안전한 세상을 만들 수 있습니다.

**중요 알림:** 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유자의 자산입니다.

© 2024 Texas Instruments Incorporated



KOKY060

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), 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 will 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](#) or other applicable terms available either on [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.

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

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated